LAS PLAYAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE

(PARTE MEXICANA)

INFLUENCIA DE LAS SALES EN AMBIENTES

ÁRIDO Y SEMIÁRIDO

Editores

Olivier Grünberger **Victor Manuel Reyes Gómez**

Jean-Louis Janeau

Homenaje a Michel Rieu

Los autores científicos de esta obra y los representantes del IRD y del INECOL desean rendir homenaje al **Dr. Michel Rieu,** quien fuera destacado investigador del IRD.

Michel Portais

Prefacio (Daniel Piñero/Carlos Montaña)

Directorio de autores

Elizabeth Aragón Piña
Mastozoóloga del INECOL
Centro Regional Durango, México.
aragone@fauna.edu.mx

Henri Barral
Geógrafo del IRD, Departamento M.A.A. (†), Francia.

Laurent Brouste
Geoquímico del Laboratorio de Hidrología y de Geoquímica Isotópica. Universidad de París XI, Francia.

Claude Dejoux
Ex-Director de Investigación del IRD, Francia.

Luc Descroix
Investigador del Departamento de Aguas Continentales del IRD, Francia.
Luc.descroix@inpg.fr

Héctor Gadsden Esparza
Herpetólogo del INECOL
Centro Regional Chihuahua, Centro De Investigación Sobre Sequía, México.
gadsden@sequia.edu.mx

Abel García Arévalo
Botánico del INECOL
Centro Regional Durango, México.
arevala@fauna.edu.mx

José Luis González Barrios
Edafólogo del CENID RASPA de Gómez Palacio, México.
glzbjl@raspa.inifap.conacyt.mx

Olivier Grünberger
Geoquímico - Land Department of Development, IRD-LDD, Analysis of soil division, Phaholyothin Road, Chatuchak,Bangkok 10900,Tailandia.
grunberg@ksc.th.com

Catherine Liot
Arqueóloga del IRD, Departamento S.U.D.
Universidad de Guadalajara, México.
cath_liot@hotmail.com

Eliminado: I

Lucina Hernández García
Mastozoóloga del INECOL
Centro Regional Durango, México.
lucina@sequia.edu.mx

Jean-Louis Janeau
Edafólogo - IWMI-IRD, P.O. Box 1025
Kasetsart University, Bangkok 10903, Tailandia.
j.janeau@cgiar.org

Christelle Marlin
Geoquímica del Laboratorio de Hidrología y Geoquímica Isotópicas,
Universidad de París XI, Francia.

Isidro Ochoa Chavarría
Especialista en Ciencias Forestales de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango, México.

María Nelly Páez Pérez
Especialista en Ciencias forestales de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango, México.
suaedaneg@hotmail.com

Alain Plenecassagne
IRD, Misión Técnica de Instrumentación Científica, Francia.

Victor Manuel Reyes Gómez
Hidro-edafólogo del INECOL
Centro Regional Chihuahua, Centro de Investigación Sobre Sequía, México.
reyes@sequia.edu.mex

Emmanuel Servat
Investigador del INRA de Avignon, Francia

María Eugenia Valdez Ramírez
Oceanógrafa del Programa de Acuacultura
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., BCS, México
gvaldez@cibnor.mx

Vincent Valles
Investigador del ENSAM-INRA de Montpellier, Francia

Adolfo Vital Rumebe
Ecólogo Vegetal
Instituto de Ecología: UNAM
avital@miranda.ecologia.unam.mx

Lista de Instituciones

◊ **Instituto de Ecología A. C. (INECOL)**

Km. 2.5 antigua carretera a Coatepec

AP 63, Xalapa 91000, Ver., México

◊ **Centro de Investigaciones Sobre Sequía (CEISS)-INECOL**

Km. 33.3 Carretera Chihuahua-Ojinaga

AP 28, CP 32900 Cd. Aldama, Chih., México

Tel : (52 614) 451 09 08; Fax: (52 614) 451 09 06

◊ **Centro Regional Durango -INECOL**

Km. 5 Carretera a Mazatlán

AP 6, CP 34000, Durango, Dgo., México

◊ **Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD)**

AP 57297
06501 - México D. F.
Tel : (52 5) 280 76 88 / 282 06 36
Fax : (52 5) 282 08 00

◊ **Institut de Recherche pour le Développement (IRD)**

213 rue La Fayette

75010 Paris, France

◊ **INIFAP**

A.P. 223-3 Gómez Palacio, Durango

CP 35078 México

◊ **ENSAM-INRA**

Laboratoire des Sciences du Sol

9 P. Viala

34060 Montpellier, France

◊ **INRA Avignon**

Station de Science du Sol

Domaine St. Paul BP 91

84143 Montfavet, France

◊ **Instituto de Ecología, UNAM**

A.P. 70-275, C.P. 04510

México, D.F

Agradecimientos

Los autores de esta publicación y los editores científicos desean agradecer a las instituciones que apoyaron estas investigaciones, en particular al *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) y al Instituto de Ecología, A. C. (INECOL), que hicieron posible este trabajo.

La Unidad de Investigación: *Etude des Hydrosystèmes Locaux* del Departamento de Aguas Continentales (*DEC*) del IRD aportó más de la mitad de los fondos para este proyecto. Agradecemos a sus responsables, los Drs. Michel Rieu y Christian Valentin, por la confianza que depositaron en nosotros.

Agradecemos especialmente al CONACYT por su apoyo a este trabajo y el financiamiento de los proyectos 1368-N-9206 y 1365-T-9206, así como al IRD, en particular al programa de la Acción Temática Programada ("*l'Action Thématique Programmée*"): Funcionamiento y Dinámica de las Coberturas Edafológicas.

Como bien sabemos, detrás de las instituciones están las personas, sin las cuales no hubiera sido posible este trabajo. Agradecemos de manera especial a todos aquellos que participaron, tanto en las tediosas campañas de muestreo como en las delicadas determinaciones analíticas, y cuyos nombres no aparecen en la lista de autores. Se trata de estudiantes motivados por el trabajo científico, de los habitantes de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y de los pobladores del ejido de Carrillo, siempre dispuestos a aportar su ayuda incondicional, incluso en periodos de descanso.

El trabajo aquí presentado se debe en gran medida a José Guadalupe Olivas Montañés quien -con entusiasmo renovado- hizo sucesivamente las veces de trabajador de campo, capataz, conductor, recolector de datos a caballo, mecánico, soldador, carpintero e incluso técnico de laboratorio de análisis de suelos y agua, y llevó a cabo con gran eficacia la captura de datos en PC.

Ghuilem Bourrié participó en los trabajos de campo sobre la zona de manchas y de polígonos. Sus conocimientos influyeron en el conjunto del estudio, que supervisó de manera totalmente desinteresada, por lo que deseamos expresarle nuestro sincero agradecimiento. Por otra parte, agradecemos muy especialmente a Jean-Yves Loyer el habernos acompañado en la misión de descripción de perfiles edafológicos de la zona de playa, donde compartió con nosotros su valiosa experiencia como edafólogo. La mayor parte de los análisis de cationes son resultado del esfuerzo de Alain Plenecassagne, a quien deseamos manifestar nuestro reconocimiento sincero.

Los editores científicos agradecen igualmente a quienes con sus críticas y sus pacientes relecturas contribuyeron, arduamente, a la calidad final de este trabajo, en especial Jean-Claude Brion y Jean Collinet.

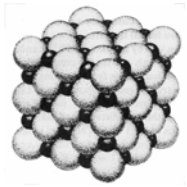
No quisiéramos olvidar expresar nuestro reconocimiento a los ex directores del INECOL y del IRD, importantes pilares del presente trabajo, realizado en el marco del convenio de cooperación entre estas dos instituciones. Nos referimos a Gonzalo Halfter, Sergio Guevara, Claude Dejoux y Henri Poupon.

Deseamos asimismo expresar nuestro agradecimiento sincero a Michel Portais, representante del IRD -por su ardua labor para finalizar este libro- a Daniel Piñero, Miguel Equihua y Carlos Montaña, quienes -como representantes académicos del INECOL- evaluaron esta obra y apoyaron el proceso de edición, así como a Thomas Mourier y Liliana Sánchez, del departamento de ediciones del IRD y del INECOL respectivamente, por su colaboración en el proceso de impresión final del libro.

Hacemos un reconocimiento especial a Annie Soubic de Carrillo, del IRD en México, por el excelente trabajo de traducción de varios capítulos de esta publicación (Francés-Español).

Deseamos igualmente manifestar nuestro agradecimiento a todas las personas que colaboraron en las síntesis efectuadas en el marco de esta obra.

Por último, quisiéramos agradecer a los diferentes organismos que financiaron la producción de los ejemplares de esta primera edición: al IRD de París y de México, al INECOL así como al CONACYT, que motivados por el contenido de la obra, nos apoyaron en la publicación final.



Contenido

Dedicatoria
Portais M.

Prefacio
Piñero D. y Montaña C.

Directorio de autores

Lista de Instituciones

Introducción

CAPÍTULO 1: EL ECOSISTEMA PLAYA

El concepto de playa
Grünberger O.

La playa de la Reserva
Grünberger O.

CAPÍTULO 2: LOS SUELOS, LOS ESTADOS DE SUPERFICIE Y LA HIDRODINÁMICA EN LA PLAYA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ

Los suelos de playa y de sebkra de la Reserva
Grünberger O.

Los estados de superficie de playa y de sebkra de la Reserva
Janeau J.-L. y Grünberger O.

Hidrodinámica superficial de los suelos de playa
Reyes-Gómez V. M.

Leyenda del mapa de los estados de superficie 1 : 50 000
Janeau J.-L. y Grünberger O.

CAPÍTULO 3: GEOQUÍMICA DE AGUAS EN LA PLAYA Y LA SEBKRA DE LA RESERVA

Geoquímica de lluvias, de agua de escurrimiento superficial y de infiltración de suelos
Grünberger O. y Janeau J.-L.

Cinética de mineralización de agua de escurrimiento sobre un suelo de playa y de sebkra
Reyes-Gómez V. M. y Grünberger O.

Estudio geoquímico e isotópico de los acuíferos de la Reserva
Brouste L. y Marlin C.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE LOS DIFERENTES AMBIENTES DE PLAYA

La estructura del suelo y de la vegetación sobre tres tipos de pastizal de playa
Grünberger O. y Ochoa-Chavarría I.

Los manchones de la Reserva

- La organización de los estados de superficie y su hidrodinámica superficial
  Grünberger O., Janeau J.-L. y Reyes-Gómez V.M.

- La organización del suelo
  Grünberger O., Janeau J.-L. y Reyes-Gómez V. M.

- El montículo: ejemplo de una interacción entre el estado de la superficie del suelo, la fauna y *Prosopis glandulosa*
  Janeau J.-L., Aragón-Piña E., Reyes-Gómez V. M. y García-Arévalo A.

Eliminado:

Los polígonos de *Suaeda sp.* en la playa
Grünberger O., Janeau J.-L. y Reyes-Gómez V. M.

CAPÍTULO 5: ALGUNOS EJEMPLOS DE COMUNIDADES BIOLÓGICAS DE PLAYA

Estructura espacial de un ensamble de lagartijas asociado a vegetación de playa baja
Gadsden H.

Utilización del espacio por una comunidad de roedores de playa
Aragón-Piña E.

Estudio preliminar de los macro-invertebrados acuáticos de la Reserva
Valdez-Ramirez M. E. y Dejoux C.

CAPÍTULO 6: LAS ACTIVIDADES HUMANAS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ

El ganado bovino en las zonas de playa de la Reserva

Hernández L. y Barral H.

Los sistemas de fomento de pastizales en la playa

Vital-Rumebe A., Alberteau K. y Grünberger O.

Las salinas de Carrillo: un ejido de producción de sal continental en el desierto de Chihuahua

Liot C. y Grünberger O.

Los cultivos en la playa. Evolución después del abandono

Vital-Rumebe A. y Grünberger O.

CAPÍTULO 7: EXTENSIÓN REGIONAL

Las playas y sebkras del Desierto Chihuahuense

Janeau J.-L., Grünberger O., Páez-Pérez N. y Reyes-Gómez V.M.

Hidrografía de las lagunas de Mayrán y de Viesca : endorreísmo y antropismo

Descroix L.

Manejos hidroagrícolas en las playas del Desierto Chihuahuense: influencia de la concentración salina sobre la calidad de los recursos hidro-edafológicos. Aplicación al estudio del perímetro irrigado de la Comarca Lagunera

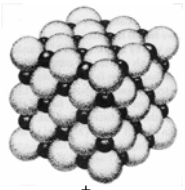
González-Barrios J. L., Valles V., Servat E. y Plenecassagne A.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

Bibliografía

Anexos

INTRODUCCIÓN



Disposición de los iones Na^+ y Cl^- en un cristal de NaCl

Introducción

☞ Las sales son, según el diccionario Larousse, « cuerpos de estructura iónica, resultantes de la acción de un ácido sobre una base o bien de la acción de un ácido sobre un metal ». En sentido figurado, "las sales son lo que le da sabor a un propósito, a un escrito, a una situación, o lo que aumenta significativamente su interés".

El Desierto Chihuahuense (Figura 1) es uno de los desiertos continentales más grandes de mérica del Norte. Ocupa una superficie de 355,000 km^2 y abarca parte de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango, en México, así como los estados de Texas, Arizona y Nuevo México, en los Estados Unidos. En México, la mayor parte de este desierto lleva el nombre de Bolsón de Mapimí. Se trata de una vasta depresión, principalmente endorreica, limitada al oeste por la Sierra Madre Occidental, al este por la Sierra Madre Oriental, y al norte por el Río Bravo. El Bolsón es utilizado principalmente por el hombre para la ganadería extensiva de bovinos. Se estimaban más de 3 millones de cabezas de ganado en 1980, como resultado de un aumento espectacular del número de cabezas registrado durante el siglo XX. Los cultivos irrigados y la explotación de salinas continentales constituyen otras dos actividades alternativas a la ganadería.

La mayor parte de los estudios sobre el desierto se refería a las zonas con mayor pendiente, consideradas como más diversificadas desde el punto de vista de los elementos del ecosistema, y menos monótonas desde el punto de vista de los tipos de suelos. Las planicies de fondo de las depresiones endorreicas, llamadas playas, habían hasta ahora sido objeto de pocos estudios específicos. Sin embargo, las playas del Desierto Chihuahuense constituyen un medio ambivalente. Debido a que son puntos bajos en el paisaje, estas planicies reciben las aguas de escurrimiento de las partes altas de las cuencas y son generalmente el receptáculo de cuerpos de agua temporales: las lagunas. Las playas, debido a sus pendientes escasas, a menudo dotadas de recursos forrajeros importantes, serían propicias para la ganadería y la agricultura, si su carácter inundable, y principalmente las fuertes concentraciones de sal en los suelos y los acuíferos, no se sumaran a las limitaciones climáticas del Desierto Chihuahuense.

El objeto de esta obra colectiva consiste por lo tanto, en presentar una síntesis de los conocimientos adquiridos sobre los medios tan particulares que constituyen las planicies endorreicas del Desierto Chihuahuense, conocidas también como "Playas" del norte de México. Dichos conocimientos representan un trabajo interdisciplinario que reúne a edafólogos, geoquímicos, botánicos, biólogos, hidrogeólogos, hidrólogos y geógrafos en torno a un mismo medio ambiente. Desde el punto de vista de los autores del libro, la presencia de sales en el suelo caracteriza un medio original donde su dinámica tiene incidencias sobre todos los aspectos del funcionamiento del ecosistema. El estudio de esta dinámica salina es por consiguiente el punto

central de este libro y las incidencias de esa dinámica en el medio son analizadas a través de los estados de superficie, así como de las adaptaciones de los animales, de los vegetales y de los humanos a las condiciones particulares de este medio. La existencia de actividades humanas adaptadas a la playa nos condujo a considerar las técnicas utilizadas y la pertinencia de su empleo en este tipo de medios.

Esta publicación constituye un recuento –necesariamente restringido en tiempo y en espacio- del estado en que se encuentra el medio. La mayor parte de los estudios finos fue realizada en la playa de la laguna de Las Palomas que se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Posteriormente, una extensión regional fue posible con base en los resultados obtenidos en la Reserva y con base en los resultados de 17 playas (número estimado como representativo de la parte mexicana del Desierto Chihuahuense) (Figura 1). La descripción de los estados de superficie permite la extensión de los resultados a las principales cuencas endorreicas del Norte de México, tema del último capítulo de este libro. Asimismo, se ponen en evidencia aplicaciones útiles para los usuarios del medio.

☞ En 1974, un grupo de científicos mexicanos reunidos en una asociación civil: el *Instituto de Ecología A.C.* impulsó la creación de una Reserva de la Biosfera con el apoyo del programa M.A.B. *(Man and Biosphere*) de la UNESCO, cuya misión consistía en la conservación de una porción representativa de los ecosistemas del Desierto Chihuahuense. Posteriormente, el Instituto de Ecología se convirtió en un Centro Público de Investigación Científica.
Las reservas del M.A.B. (*Man and Biosphere*) tienen un doble objetivo: la conservación y el estudio de los medios naturales particulares, con la participación de los habitantes. Desde su creación y después de una primera fase de inventario entre 1974 y 1986, las investigaciones en la Reserva se orientan hacia el estudio interdisciplinario de medios específicos o de actividades de preservación de especies en vías de extinción.

En 1994, los responsables de la Reserva de la Biosfera expresaron el deseo de llevar a cabo una reflexión sobre el futuro de las reservas, con el fin de establecer un plan de manejo definiendo la Reserva de la Biosfera de Mapimí como estructura operacional. Parte de esta obra, pretende aportar los elementos de referencia para la definición de ese plan de gestión y, más específicamente, de las recomendaciones para la utilización de esos medios tan particulares.

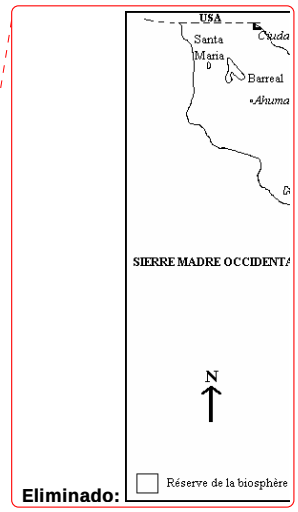
A partir de 1998, el plan de manejo de la Reserva de la Biosfera fue propuesto por parte del INECOL. Dicho plan contempló varios de los resultados que se presentan en esta obra.

El DESIERTO CHIHUAHUENSE (MÉXICO)

ESTUDIO DE LA PLAYA DE LA LAGUNA DE LAS PALOMAS ↓

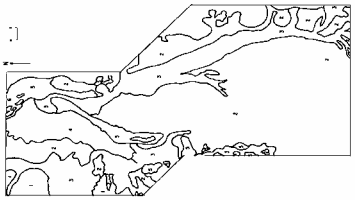
EXTENSIÓN REGIONAL

ESTUDIO DE LAS 17 PLAYAS ↓



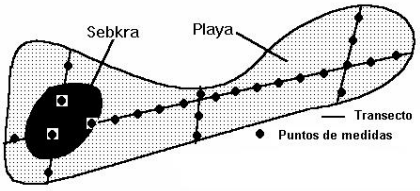
Eliminado:

LA PLAYA DE LA RESERVA
Capítulos 1 al 6



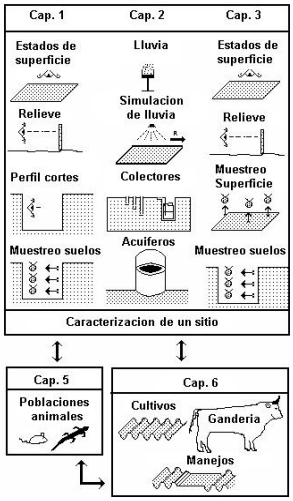
Un mapa permitió establecer las principales subunidades geomorfológicas que permiten la definición de los sitios experimentales estudiados.

LAS PLAYAS DEL DESIERTO
Capítulo 7



Transectos representativos fueron realizados en cada playa estudiada. La playa Mayrán fue objeto de estudios específicos.

LAGUNA DE PALOMAS



TODAS LAS PLAYAS ESTUDIADAS ↓

LA PLAYA MAYRÁN ↓

Figura 1. Marco del estudio y relación entre los capítulos del libro.

Plan de la publicación

Esta publicación reúne distintos trabajos, cuyas características particulares fueron conservadas por voluntad expresa de los editores, haciendo posible la lectura de cada una de las contribuciones, por separado. Su coherencia se debe a una selección estricta de las participaciones que se refieren únicamente a las playas del desierto Chihuahuense. Los diferentes trabajos fueron ordenados de conformidad con un plan tendiente a reforzar la coherencia y la sencillez de la exposición. Al inicio de esta publicación, una definición común del contexto del estudio permite precisar rápidamente la terminología y exime a los editores de la obligación de recordar las características generales del medio en cada una de sus contribuciones. Al inicio de cada capítulo, una pequeña introducción les permite asimismo revelar el vínculo temático que une a estas últimas. Las conclusiones generales, retoman las conclusiones parciales de los artículos dentro de un espíritu de síntesis global de esta publicación. De igual manera, la bibliografía fue agrupada, al final, para evitar la repetición de las numerosas referencias comunes.

En el primer capítulo:

El contexto del estudio fue definido basándose en una revisión bibliográfica que nos permitió precisar la terminología y los marcos climático, geológico, geomorfológico, edafológico y de la vegetación, definidos a escala de la Reserva de la Biosfera considerada como una porción representativa del ecosistema del Desierto Chihuahuense.

En el segundo capítulo:

Se presentan los resultados obtenidos a escala de la playa y de la sebkra de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, en lo que se refiere tanto a los suelos, como a los estados de superficie y a sus propiedades hidrodinámicas.

- En lo que toca a la descripción de los suelos, los resultados sirvieron para completar las interpretaciones realizadas por González-Barrios (1986, 1992) y Delhoume (1988, 1992).

- Los estados de superficie de la playa de la Reserva dan lugar a un párrafo separado, debido a que corresponden a comentarios sobre un mapa original 1: 50000 anexo a esta publicación.

> ☞ Un estado de superficie designa, en un instante dado, un conjunto homogéneo descrito por la cobertura vegetal, la superficie del suelo y las reorganizaciones edafológicas superficiales así como sus transformaciones, bajo el efecto de factores meteorológicos, fáunicos o antrópicos. « El término *estado de superficie* puede designar: una sola superficie elemental, la yuxtaposición de varias, o un sistema de superficies elementales, es decir un conjunto, en el cual operan interacciones » (Casenave y Valentin, 1989).

- El balance hidrológico superficial de la playa y de la sebkra es estudiado por simulación de lluvias en conexión con los principales estados de superficie observados.

☞ El concepto de estados de superficie permite la descripción detallada del medio y de los procesos en curso en la superficie del suelo. Asimismo, es posible establecer las modalidades de interacción entre el clima, la flora, la fauna y el suelo. En 1989, se llevó a cabo un estudio de los estados de superficie sobre la parte alta de una toposecuencia representativa de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (Janeau *et al.*, 1992), que reveló un gran número de similitudes con los estados de superficie de la zona del Sahel. Fue por lo tanto posible utilizar el mismo método para el estudio de la hidrodinámica superficial, adaptándolo a las características específicas de las playas de Mapimí.

En el tercer capítulo:

Son agrupados los resultados que describen la geoquímica de las aguas en la playa y la sebkra de la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

- El marco geoquímico de superficie es definido por los resultados de los análisis efectuados sobre los muestreos de agua de lluvia, de agua de escurrimiento y de agua gravimétrica de los suelos. Estos resultados permiten precisar las cualidades medias de las aguas y deducir ciertas características del balance químico superficial.

- En complemento, el estudio de la cinética de adquisición de la mineralización por las aguas de escurrimiento, con ayuda del mini-simulador de lluvias alimentado con agua desmineralizada, permitió definir los fenómenos dinámicos superficiales que se producen sobre los diferentes estados de superficie encontrados.

☞ Los ciclos de los contenidos en elementos mayores se establecen esencialmente por vía acuosa, incluso en medio semiárido, aun cuando -como se expone más adelante- el transporte eólico tenga un papel importante en el aporte de materiales. La influencia de esos ciclos sobre el medio, se produce en la superficie del suelo, lo que conduce a estudiar en estrecha relación el suelo y su estado de superficie.

- Al final de este capítulo se concluye con el estudio geoquímico e isotópico de los acuíferos, que permite esclarecer en qué condiciones se efectúa la alimentación hídrica del acuífero subyacente en la playa y en la sebkra de la Reserva.

En el cuarto capítulo:

La variabilidad geoquímica de los suelos salinos sobre distancias cortas es estudiada, debido a que se expresa, en superficie, por diferentes organizaciones de vegetación. De hecho, aun cuando la playa y la sebkra de la Reserva muestran una organización a escala del paisaje, algunos medios de playa presentan heterogeneidades más fuertes a corta distancia.

- Tres tipos de pastizales de playa son examinados desde el punto de vista de su vegetación y de sus propiedades geoquímicas, a través de un sistema de muestreo a escalas variables.

☞ La dinámica de sales está muy a menudo vinculada con la distribución espacial de la cobertura vegetal. Esta distribución influye en la hidrodinámica superficial y regula, a su vez, los contenidos de sales adquiridos por los horizontes superficiales. De esta manera, a lo largo de todo el estudio, el tipo o estado de superficie particular juega un papel revelador de una dinámica salina particular.

- Uno de los tres tipos de pastizales presenta una organización de vegetación en forma de manchones, que ha sido objeto de un estudio más detallado en tres partes: descripción de la organización en el espacio de sus estados de superficie y las consecuencias hidrodinámicas resultantes, organización del suelo e interacciones con la fauna y la flora que se establecen sobre pequeños montículos.

- Las concentraciones poligonales de vegetación en la playa habían sido objeto de una descripción por Delhoume (1988). Los elementos nuevos que son presentados dan una tonalidad particular a los modos de funcionamiento de este medio.

En el quinto capítulo:

Las principales comunidades biológicas de playa y sebkra dan lugar a estudios particulares que ponen de relieve las estrategias animales de adaptación al medio:

- Las comunidades de lagartijas presentan un modo particular de adaptación al medio de vegetación tipo manchón, que se traduce por la presencia confirmada, en mayor o menor grado, de especies particulares y de áreas de actividades diferentes.

- La importancia de la actividad de los roedores en el medio nos llevó a caracterizar las especies y su importancia relativa en relación con los otros medios de la Reserva.

- Un inventario hidrobiológico preliminar nos permitió establecer que una vida adaptada a las fuertes variaciones de salinidad se desarrolla en la sebkra de la Laguna de Las Palomas.

En el sexto capítulo:

El examen de las actividades humanas que pueden realizarse en el ecosistema de playa de la Reserva permite abordar los temas siguientes:

- La cría de bovinos, principal actividad a escala regional. Los autores intentan diagnosticar las potencialidades del medio playa, en la Reserva.

- La explotación de las salinas continentales, que constituye una alternativa a la ganadería, es realizada en el poblado de Carrillo, en las cercanías de la sebkra de la Reserva. La explotación y sus desventajas son examinadas en este segmento.

- Los sistemas de manejo de agua para el fomento del uso de recursos forrajeros (hidropastoreos), frecuentes en la playa de la reserva de la biosfera de Mapimí, pretenden, a través de métodos diversos, aumentar la productividad forrajera de los pastizales. La evaluación

de su impacto permite establecer el diagnóstico del origen de los fracasos de los diferentes métodos empleados y proponer ciertas mejoras.

- Los cultivos irrigados o pluviales de tipo "oportunista" se practican ocasionalmente como alternativa en la playa de la Reserva. La evaluación de su impacto en el medio conduce a la construcción del esquema de rehabilitación natural que se aplica en este tipo de zonas.

> ☞ La utilización del concepto de estado de superficie se reveló como una excelente herramienta de diagnóstico ecológico, tanto para el estudio de la rehabilitación de cultivos antiguos como para la optimización del manejo de sistemas de pastoreo caducos.

En el séptimo capítulo:

Se presenta un análisis global de los resultados obtenidos en la parte mexicana del Desierto Chihuahuense. Tres diferentes grupos de resultados globales son utilizados para el entendimiento del funcionamiento de las playas:

- Los diferentes estados de superficie encontrados en relación con las cualidades químicas de las capas superficiales de los suelos, que permiten hacer una clasificación que conduce a una tipología de las playas y sebkras del desierto Chihuahuense.

- Un apartado para examinar dos ejemplos de la evolución hidrográfica de las playas para la construcción de grandes redes de irrigación. Casos de las lagunas de Mayrán y de Viesca.
- Finalmente, se presenta un ejemplo particular de la explotación agrícola intensiva, con irrigación sobre largos periodos, para demostrar que las características de los suelos de las playas evolucionan en el tiempo bajo el efecto de dichas prácticas agrícolas.

Las conclusiones:

Éstas permiten elaborar una síntesis de las relaciones de los estados de superficie y las cualidades químicas de los suelos superficiales. En este capítulo, se concluye sobre la importancia de la dinámica salina superficial en las planicies endorreicas del desierto Chihuahuense, confirmada por las repetidas incidencias sobre el funcionamiento del medio y sobre el impacto en las actividades humanas. Los consejos, para el plan del manejo de la Reserva permiten concretizar el conocimiento que puede ser aplicado a este tipo de medio, siempre y cuando se tome en cuenta la variabilidad observada en todas las escalas.

Lógicas de escalas

El reagrupamiento de las contribuciones es resultado de las consideraciones temáticas y de las escalas que se pueden resumir en la Tabla 1. Los capítulos 1, 2 y 3 son producto de investigaciones a escala de la playa de la Reserva de la Biosfera, en tanto que los capítulos 4, 5 y 6 son más bien a escala de un medio particular de esa misma playa (Figura 1, Tabla 1). En el

capítulo 7 se analiza la escala del desierto Chihuahuense y se abordan todos los temas, con excepción del relacionado con las poblaciones animales.

La variabilidad de las escalas utilizadas da lugar a algunas observaciones. Las medidas son generalmente puntuales y sólo una extrapolación permite considerar espacios de estudio más amplios como: una determinada asociación suelo – vegetación, una playa o un conjunto de playas. Resulta por lo tanto normal encontrar, en una parte dedicada a una determinada unidad de superficie, consideraciones sobre las subunidades que la componen.

Tabla 1. Enlace de los temas de investigación y de las escalas de estudio.

Objeto de estudio→ Superficies aprox. → Temas ↓	Subunidades constitutivas de la playa de la Reserva (100 m^2)	El "sistema playa" de la Reserva de la biosfera. (150 km^2)	Las playas del desierto Chihuahuense. (355 000 km^2)
Contexto		Cap. 1*	Cap. 7º
Suelos	Cap. 4º	Cap. 2º	Cap. 7º
Estados de superficie	Cap. 4º	Cap. 2º	Cap. 7º
Balance hídrico	Cap. 4º	Cap. 2º	Cap. 7º
Geoquímica	Cap. 4º	Cap. 3º	Cap. 7º
Actividades de animales	Cap. 5º		-
Actividades humanas	Cap. 6º		Cap. 7º

1 incluye también el contexto mundial de las playas.*

PRIMER CAPITULO

EL ECOSISTEMA PLAYA

1519, el viejo mundo encuentra al nuevo mundo

Las playas constituyen medios originales que han impulsado a diversos autores a tratar de llevar a cabo una clasificación sintética basada en la generalización de modelos regionales. Sin embargo, subsisten ligeras distorsiones en la terminología, mismas que es menester precisar en el marco de este libro. Si bien es cierto que, desde 1974, se han realizado múltiples trabajos en la Reserva de la Biosfera, la mayoría de éstos se refieren a la fauna y a la flora. Los autores se esforzaron asimismo en describir de manera detallada el medio físico, que sirve de tela de fondo para los estudios, biológicos específicamente. La información referida en este capítulo constituye una evocación del contexto natural para la totalidad de los artículos de este libro, en la medida en que el clima, los rasgos de la geología, la geomorfología, las características hidrológicas y la edafología son comunes a la mayor parte del Desierto Chihuahuense.

Los editores científicos

El concepto de playa

Grünberger O.

Introducción - definiciones

Las cuencas endorreicas en medio árido han sido objeto de diversos trabajos por parte de geomorfólogos, geólogos, edafólogos y ecólogos (Hammer, 1986). Debido a lo anterior, la terminología utilizada por las diferentes disciplinas no siempre coincide (Tabla 2). Para el geomorfólogo, una planicie endorreica, punto bajo del paisaje en un medio más o menos árido, merecerá llamarse playa (Cooke, Warren y Goudie, 1993; Evenari, 1985; Demangeot, 1981). El lago salino terminal, capaz de provocar una precipitación de evaporitas, captará toda la atención del geólogo especializado en estas últimas. Lo llamará sebkra "salt lake" o salar, y su estudio será incluido en la rúbrica correspondiente a las salmueras (*brines*) y a las evaporitas (Braitsch, 1971; Perrodon, 1972; Ballivian y Risacher, 1976; Risacher, 1978; Risacher y Fritz, 1995; Vivian y Spencer, 1984). Para el geólogo estructuralista un buen número de playas es el resultado de la subsidencia de un grabben. Para el geólogo cuaternarista y el sedimentólogo, los sedimentos de la sebkra son un sitio privilegiado de reconstitución de los paleomedios. Para el edafólogo, el término "suelos salinos" o "*salt affected soils*" (Szabolcs, 1989), significará que son suelos halomorfos porque poseen una salinización local que puede ser producto de ascensos capilares.

Más allá de estas distinciones emanadas de diferentes enfoques del medio, el término geomorfológico de playa parece ser el más utilizado, sobre todo en el continente americano. Es probable que se imponga paulatinamente en los demás continentes para describir "*a base level plain in desert drainage basin*"[1] (Cooke, Warren y Goudie, 1993; Evenari, 1985; Demangeot, 1981). Este libro adopta esta definición más amplia, debido a que es la que corresponde mejor a la variedad de situaciones encontradas. Sin embargo, es preciso tener en mente que ciertas definiciones del término playa son más estrictas, como por ejemplo, la del diccionario de *Science du Sol* (Lozet y Mathieu, 1990), que no se refiere ni al carácter árido del clima ni a la naturaleza endorreica de la cuenca.

☞ **Playa** : Palabra de origen castellano que designa un área donde se esparcen aluviones sobre una superficie plana en la parte baja de un glacis o de un pie de monte con el que se une. Su centro es a menudo ocupado por una sebkra en la que se depositan eflorescencias salinas (y/o) rosas de arena (Lozet y Mathieu, 1990).

[1] Una planicie de nivel bajo de una cuenca hidrológica desértica.

Se genera entonces una distinción entre la playa (*sensu stricto*) y la sebkha (sebkra, sebkhra, etc.) que designa la parte sumergida episódicamente. En tanto que, por el contrario, el término de sebkra es ocasionalmente considerado (en Europa) como equivalente del término playa (en sentido amplio).

La ventaja del término playa (en sentido amplio) reside en su neutralidad desde el punto de vista de las cualidades anexas al elemento geomorfológico. Una playa puede tener partes con eflorescencias salinas o no; puede presentar un lago permanente o no; puede tener una cobertura vegetal o no, etc. La gama de términos utilizados para designar una playa se refiere a menudo a una cualidad accesoria que hace la expresión ambigua en sentido general.

No existe clasificación clara de las playas y sus diferentes denominaciones sólo traducen parcialmente las condiciones de su génesis. No obstante, la amplia gama de tipos de playas, resultado de la existencia de procesos diferentes, da lugar a una diversidad real (Shaw y Thomas, 1989).

Tabla 2. Principales términos utilizados para las cuencas endorreicas en medio semiárido.

Términos empleados en sentido general de Playa (con cierta ambigüedad),	
Playa lake	en Australia, China, América del Norte,
Pan	en Africa Austral, Australia[2],
Saline or salt lake	en América del Norte,
Dried Lake	en Australia,
Sebkha, Sabkha, Sebkra, ...	en Africa del Norte, Mamlahah (Arabia), kavir (Iran), salar (Peru), mier (Africa austral)...

Características específicas (términos considerados en sentido estricto)

1) Pueden ser costeras: sebkha (Arabia), sabkhah (Arabia),
2) Superficie de arcillas o limos: takir (Asia), khabra (Arabia), qu (Jordania), pan (USA)
3) Playa con superficie salina o salmuera permanente: salt pan (Africa Astral o USA), salina, salt lake (USA), kavir (Iran), salar (China), tsaka (Mongolia)
4) Porción de playa con inundación temporal: pan, salt pan (USA), laguna (Mexico), sebkhra (Africa del Norte), lagoon (raro).
5) Porción de playa con una cobertura herbácea: grassed pan (Kalahari),
6) Nivel del lago mantenido por un acuífero: chott (Africa del Norte)

extraído de Shaw y Thomas (1989), modificado

Fuentes de variabilidad

Las fuentes de variabilidad son expresadas como resultado de los procesos genéticos, del modo de expresión del endorreísmo y de las secuencias geoquímicas observadas.

[2]Depresión lodosa cuando no hay agua, después de periodos secos (se parece al término de *playa lake* : lago temporal: que se transforma en zona lodosa o playa por evaporación).

Procesos genéticos

La primera fuente de variabilidad tiene como origen los procesos genéticos que permiten el endorreísmo, es decir la situación del punto más bajo en relación con la parte más alta de la cuenca (parteaguas).

- Los agentes "estructurales", como las fases tectónicas de distensión (en hortz y graben) o de compresión (erección de cadenas de montañas), son los procesos más difundidos para explicar la formación y el mantenimiento de playas de grandes dimensiones. Accidentalmente, el punto bajo relativo se forma a raíz de un evento volcánico (Caldera) o de un impacto de meteorito, lo que produce generalmente una unidad de menores dimensiones.
- Los agentes erosivos, tales como la erosión eólica, la disolución de rocas solubles, la eluviación, e incluso las extracciones de agua por bombeo, son capaces de dar origen al nacimiento de playas de dimensiones relativamente modestas.
- Los agentes de depósitos, tales como la acumulación de dunas, la formación de "tombolos" y, excepcionalmente, las corrientes de lava dan ocasionalmente origen a presas que permiten la instalación de playas.

Desafortunadamente, la terminología utilizada no considera en forma alguna los procesos de formación. En desagravio de los autores, cabe señalar que la importancia relativa de los procesos genéticos es a menudo difícil de establecer, sobre todo para los agentes erosivos, cuya importancia relativa es difícilmente apreciable, en relación con los demás agentes.

Expresión del endorreísmo

La segunda fuente de variabilidad es la expresión del endorreísmo en función de las características de la cuenca hidrológica, la relación de las aguas subterráneas y de las aguas de superficie, y la salinidad del medio. Esta variabilidad que, por su parte, es adecuadamente traducida en la terminología, describe una gama que va del lago permanente hasta la depresión lodosa y del lago de salmuera hasta la sebkra (Figura 2).

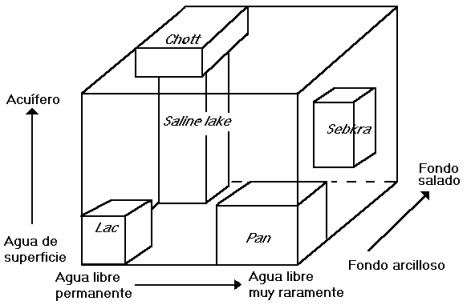


Figura 2. Aproximación de clasificación de las playas de acuerdo con los criterios más comúnmente utilizados, en su sentido estricto. Se considera que, en ciertos casos, los términos lago y saline lake no deben pertenecer al conjunto de las playas.

Esta variabilidad ha sido objeto de discusiones entre varios autores, que pretenden agrupar las distintas etapas evolutivas de una misma región en un mismo ciclo, como Bowler (1986) que para cuencas australianas pone en evidencia la influencia climatológica (traducida por salinidades crecientes). Este autor, concluye que esa dinámica salina en el tiempo, se debió a funcionamientos diferentes, ocasionados por la relación entre infiltración de las aguas de superficie y la evaporación de las aguas subterráneas en la superficie del fondo de la cuenca.

A las fases definidas por Bowler (1986), en este libro se anexan expresiones de la terminología específica a ciertas situaciones. Bowler (1986) utiliza un índice de sequía, que refleja a través de cálculos, la situación hidrológica de la playa en relación con una situación de equilibrio teórico en el cual se mantendría un lago permanente (Figura 3). Sin embargo, esta observación no podría encubrir el hecho de que, en un medio estrictamente endorreico, es decir en donde las aguas subterráneas no tienen salida, el incremento global de los contenidos de sal de la cuenca es indudable. En regla general, se considera que a mayor cantidad de agua de superficie, en relación con las aguas subterráneas, menor salinidad en la superficie del medio. No obstante, esta salinidad no se presenta necesariamente en las capas superficiales, debido a que puede diluirse con el aporte de sedimentos y/o ser lavada de manera transitoria hacia la parte baja.

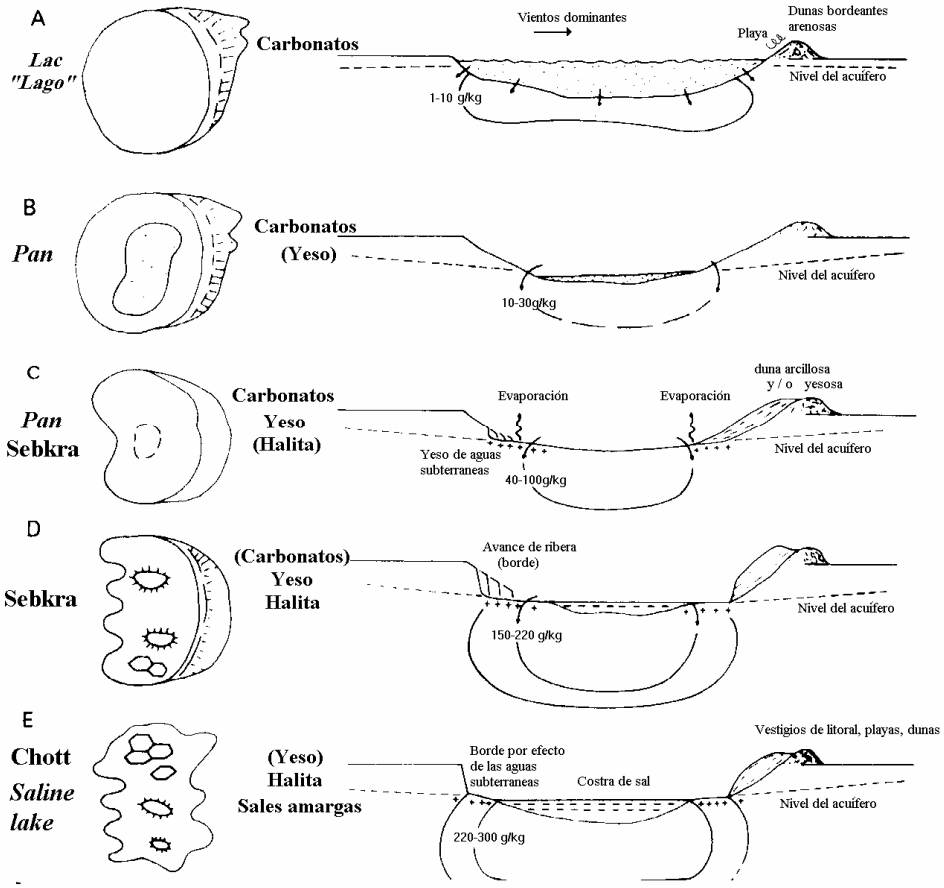


Figura 3. Ejemplo de clasificación hidrológica -tomando en cuenta un índice climatológico- que se traduce en cambios de morfología y de la interacción entre aguas de superficie y aguas subterráneas (modificado de Bowler, 1986).

Secuencias geoquímicas

Una tercera fuente de variabilidad está constituida por diferentes secuencias geoquímicas de las sales que se expresan en la cuenca (Tabla 3). La terminología, con excepción de unos cuantos casos como el término "alkali lake", no refleja esta variedad. Hermman (1973), Eugster y Hardie (1978), Sonnenfeld (1984) definen los cinco principales tipos de salmueras con la cual está vinculada la presencia de ciertos minerales. El catión dominante es, en la mayoría de los casos referidos por estos autores, el ión sodio (Cheverry, 1974; Droubi, 1976; Maglione, 1976; Perret, 1982; Katz y Kolodny, 1988; Zins Paulas, 1988). Los aniones expresan mayor variabilidad con frecuencias más equilibradas entre los polos clorurados, sulfatados y carbonatados (Figura 4). Evidentemente, este elemento de variabilidad actúa tan sólo si el fondo de la cuenca presenta sales. Esto puede producirse en un clima no árido –en este caso, el *saline lake* no es una playa - lo que conduce a una cierta forma de ambigüedad en las conversaciones entre geólogos

(geoquímicos) y geomorfólogos (para quienes el *saline lake* es a menudo un equivalente de playa).

Tabla 3. Principales tipos de salmueras y sus minerales asociados (Fuente, Eugster y Hardie (1978)).

Tipo de salmueras	Nombre de los minerales	Formulas químicas de los minerales
Ca-Mg-Na-(K)-Cl Cloruro cálcico	Antarcitita – Bischofita, Carnalita Halita - Sylvita Taqui- hidrita	$CaCl_2$. $6H_2O$ - $MgCl_2.6H_2O$, $KCl.MgCl_2.6H_2O$ NaCl - KCl $CaCl_2.2MgCl_2.12H_2O$
Na-(Ca)-SO_4-Cl Sulfato-clorurado	Yeso Glauberita Halita	$CaSO_4 2H_2O$ $CaSO_4.Na_2SO_4$
Mg-Na-(Ca)-SO_4-Cl Sulfato-clorurado magnésico	Biscolfita,Yeso, Halita, Glauberita Bloëdita Epsomita - Hexahidrica Kieserita Mirabilita-Tenardita	 $Na_2SO_4.MgSO_4.2H_2O$ $MgSO_4.7H_2O$-$MgSO_4.6H_2O$ $MgSO_4.H_2O$ $Na_2SO_4.10H_2O$-Na_2SO_4
Na-CO_3-Cl Carbonato-clorurado	Halita Nacolita - Natron, Termonatrita Trona	 $NaHCO_3$ - $Na_2CO_3.10H_2O$ $Na_2CO_3.H_2O$ $NaHCO_3.Na_2CO_3.2H_2O$.
Na-CO_3-SO_4-Cl Carbonato-sulfatado	Burkeita Halita, Mirabilita, Nacolita, Natron, Tenardita, Termonatrita	$Na_2CO_3.2Na_2SO_4$

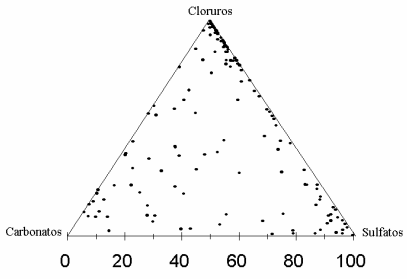


Figura 4. Reporte de los análisis de 140 *saline lakes* del mundo en un diagrama triangular (proporción en masa de los aniones), de acuerdo con los resultados compilados por Eugster y Hardie (1978).

Incidencias sobre los suelos

En las playas se desarrolla un tipo de suelos con características que se desprenden de la definición de las playas. Sin embargo, no existe una terminología específicamente relacionada con el término playa. Una simple referencia a la definición de playa permite enumerar las características siguientes. Se trata de suelos:

- de medios desérticos o semiáridos,
- formados por materiales aluviales finos (limos y arcillas, esencialmente), lo que explica que en ciertos casos presenten tendencias vérticas.
- Son suelos poco evolucionados debido a su contexto climático, pero igualmente debido a aportes recientes, impuestos por su posición relativa dentro de la cuenca hidrológica.

Están sometidos a la influencia de los procesos siguientes:

- acción del viento: erosión y/o acumulación eólica;
- acción del agua: depósitos, erosión en el manto, u ocasionalmente "en el frente";
- presencia de un manto freático: salinización, sodificación, hidromorfismo, encostramientos (calcáreo, yeso, sales solubles);
- inundación temporal: alcalinización, disoluciones, fuertes variaciones de humedad.

Debido a su situación, estos suelos contienen proporciones de sal generalmente elevadas, lo que permite, en la mayoría de los casos clasificarlos dentro de la categoría de "*salt affected soils*" descritos por Szabolcs (1989) o Pessakarakli (1991) o de "suelos yesosos", Herrero Isern (1991). Por lo tanto, no resulta sorprendente observar la fuerte coincidencia entre el mapa de los "suelos afectados por la sal" y el de las planicies de base de las cuencas endorreicas áridas.

El mapa de los "*salt affected soils*" (Figura 5) es ampliamente restrictivo en relación con los de las playas, debido a que se concede una importancia desmedida a las parcelas irrigadas, en detrimento de los suelos naturales de playas que son asimismo, a menudo, sódicos y/o sálicos[3] (Loyer, 1991). La definición de los *salt affected soils* es, sin embargo, suficientemente amplia para poder incluir los subgrupos de la Tabla 4.

Figura 5. Distribución mundial de los suelos salados (término en inglés: *salt-affected soils*) (Tomado de Szabolcs, 1989).

Tabla 4. Principales tipos de "*salt affected soils*" (modificado de Szabolcs, 1989)

[3] Sálico : se dice de suelos cuya conductividad eléctrica a nivel de saturación es superior (en un determinado momento del año y en los treinta primeros centímetros de suelo) a 15 dS m^{-1} para un pH 8.5, o superior a 4dS m^{-1} para un pH 8.5 (Lozet y Mathieu, 1990).

	Iones participantes	Tipo "Salt affected soil"	Contexto climático y geológico
A	Na^+, Cl^- y SO_4^{2-}	Suelos salinos	Arido-semiárido. Rocas sedimentarias presentes.
B	Na^+ (de los silicatos), HCO_3^-	Suelos alcalinos	Semiárido, semi húmedo, húmedo Rocas magmáticas dominantes
C	Mg^{2+}.	Suelos magnésicos	Semiárido, semi-húmedo
D	Ca^{2+}, (sobre todo SO_4^{2-})	Suelos yesíferos	Semiárido Rocas sedimentarias presentes
E	Fe^{2+} y Al^{3+} (sobre todo SO_4^{2-})	Suelos sulfato ácidos	Costas, grandes lagos, sedimentos sulfurados

La clasificación de los suelos, en su mayoría, retoma elementos de la clasificación de las playas según el tipo de salinidad que se desarrolla (ver Tabla 3). Cabe señalar que los grupos de *salt affected soils*, con excepción del (E), se ubican en contextos que les permiten formar parte de los suelos de playa. Los grupos A y D son de los medios áridos y semiáridos más exclusivos, en tanto que los grupos B y C son suelos que pueden encontrarse en medio húmedo. De igual manera, los grupos A y D dan lugar a múltiples intermediarios, en tanto que los demás grupos se individualizan mejor.

Conclusiones

El término de playa es el que se impone para describir, en sentido general, una planicie endorreica en medio semiárido. Para la parte anegadiza, es posible emplear el término de sebkra (*sensu stricto*), o el nombre local (en México) de laguna. La evolución de una playa se lleva a cabo según un esquema que traduce una evolución temporal, o espacial, en función de las condiciones climáticas. La clasificación de las playas no da lugar a ningún consenso general, debido a la gran tentación de pretender generar modelos globales a partir de observaciones regionales. Cada autor tiende, en efecto, a privilegiar denominaciones locales, generalmente más específicas, que traducen algunos criterios principales: como el equilibrio entre agua de superficie y agua de acuífero, la permanencia de una superficie de agua y la presencia o ausencia de sales solubles en la superficie del suelo. Estos criterios pueden ser sustituidos en un eventual esquema de evolución.

La clasificación química sería más estricta, pero construida a partir de los términos últimos de la evolución por concentración de las salmueras (tipo *saline lakes*). Se inserta difícilmente dentro de un esquema completo de evolución geomorfológica. Sin embargo, es posible utilizar secuencias de precipitaciones salinas con el fin de reflejar un esquema como el de Bowler (1986): calcita – yeso – halita – sales amargas, pero la secuencia tan sólo es válida para un mapa geoquímico determinado, lo que resulta nocivo para la generalización del modelo.

Características esenciales de la Reserva de la Biosfera

Grünberger O.

El clima

Aspectos generales

El "Desierto Chihuahuense" no es, de acuerdo con ciertos autores, un "verdadero" desierto, sino más bien un "semidesierto tropical, templado", debido a la altitud. El clima es descrito por Cornet, (1986) como "un clima tropical árido continental de altitud media con lluvias de verano e inviernos frescos" (Tabla 5). Se alternan dos regímenes climáticos dominantes durante el año que son alterados, de manera irregular, por mecanismos atmosféricos secundarios.

Tabla 5. Resultados estadísticos de las observaciones efectuadas en la estación climática de la reserva durante el período 1979-1994.

Parámetros medidos	Lluvia	Temperaturas diarias			Evaporación
Principales estadísticas de las medidas de la estación reserva (1979-1994).	diarias (mm j^{-1})	máximas (ºC)	mínimas (ºC)	medias (ºC)	Tanque (mm j^{-1})
Medias diarias	0.74	28.3	12.2	20.2	7.77
Desviaciones estándar	3.5	6.5	6.8	6.3	3.9
Mínima observada	0.0	2.0	-9.0	-2.0	0.0
Máxima observada	68.0	42.0	32.0	34.8	3.9
10% de las obs. < a:	0.1	19.3	-2.5	11.2	2.9
20% de las obs. < a:	0.4	22.5	5.3	14.0	4.2
50% de las obs. < a:	2.3	29.1	12.9	21.0	7.4
obs.=observaciones					
Número de observaciones,	5844 j-813 j*	5844 j	5844 j	5844 j	4086 j
* días de lluvia					

De octubre a mayo, un flujo zonal de viento del oeste -vinculado con presiones subtropicales elevadas- puede ser alterado por invasiones de frentes continentales fríos, que producen heladas y lloviznas (Hill, 1969), o por la formación de zonas de presiones bajas en el Pacífico Oriental que, al desplazarse hacia el interior del continente, producen lluvias más importantes.

De junio a septiembre, un flujo de aire tropical con dirección noreste – suroeste, vinculado con los alisios pero atenuado por los relieves, puede ser alterado por las depresiones tropicales ciclónicas del Golfo de México o del Pacífico, produciendo los eventos pluviales más importantes. Hasta ahora, las características climáticas eran establecidas en base a observaciones de la estación climática de Ceballos, ubicada a 42 km del centro de la Reserva, durante el período

1956-1987 (Delhoume, 1992b, 1995). El laboratorio de la reserva de Mapimí funciona desde marzo de 1978. Estos dieciséis años de crónica han permitido definir las características intrínsecas (Tabla 5 y Tabla 6).

Tabla 6. Resultados anuales de los levantamientos de datos efectuados en la estación climática del Laboratorio del Desierto durante el período 1979-1994.

Valor anual	Precipitaciones	Evaporación	Temperaturas
Años calendario (1979-1994) (Lab. Del desierto de Mapimí)	(mm a^{-1})	Tanque (mm a^{-1})	(ºC)
1979	268.9	-	20.5
1980	273.5	-	21.2
1981	311.9	-	20.6
1982	254.1	-	21.1
1983	202.8	3170.9	20.3
1984	273.7	2712.1	20.1
1985	328.3	2586.1	20.4
1986	402.4	2480.9	20.2
1987	325.8	2571.5	19.3
1988	204.9	-	20.1
1989	168.3	3049.6	20.5
1990	325.1	2795.6	20.1
1991	372.7	2736.7	19.6
1992	214.4	2878.8	19.4
1993	238.4	3121.5	19.9
1994	149.1	3256.1	20.7
Media interanual	269.64	2850.89	20.25
Desviación estándar	69.58	252.37	0.53
Coeficiente de variación	0.26	0.09	0.03

Escalas anuales e interanuales

Se registró un promedio anual de 269 mm durante el período estudiado. La evaporación en un tanque de tipo A es de 2850 mm por año. En un lapso de 16 años, llovió durante 813 días, es decir un promedio de 50.8 días por año. La evaporación es, en promedio, más de diez veces superior a las precipitaciones, lo que explica el carácter árido del clima. Los totales anuales de las precipitaciones oscilan entre 149 mm (1994) y 402 mm (1986). Sin embargo, estos resultados basados en los límites del calendario reflejan mal las variaciones reales de los aportes pluviales sobre 365 días. Los totales móviles de las lluvias, en un lapso de doce meses, revelan que la alturas de lluvia acumuladas sobre 365 días consecutivos oscilan entre un mínimo de 60.3 mm (durante el período julio de 1988 - julio de 1989) y un máximo de 495.8 mm (para el período mayo de 1991 – mayo de 1992). La evaporación varía en función inversa de la pluviometría, de un valor de 3256 mm en 1994 a 2480 mm en 1986. Las temperaturas medias varían poco. Una desviación de tan sólo 1.9º C separa los años extremos de 1980 (21.2º C) y 1987 (19.3ºC). En la serie de la estación de Ceballos, que es más larga (31 años registrados), es aparentemente posible distinguir períodos secos de 7 a 8 años (Delhoume, 1992b).

Contraste estacional

El contraste estacional es importante. Durante los meses de verano (junio-julio-agosto-septiembre) se acumula en promedio el 64.6% de las lluvias del año. El mes de julio es, en promedio, el más caliente (26.7º C) y el mes de enero el más frío (11.5º C). La temperatura más baja es de –9º C, registrada dos veces en enero y en diciembre. La temperatura más elevada es de 42º C, registrada tan sólo un día del mes de mayo.

Distribución espacial

La distribución espacial de las precipitaciones es muy irregular y esta irregularidad se observa incluso en las precipitaciones pluviométricas estacionales acumuladas. Esto se debe a los tipos de precipitaciones a menudo con características de tempestad. Delhoume (1992b) observó para la temporada de lluvias 1988 diferencias relativas superiores a 300% entre pluviototalizadores separados por una distancia de 5 km y de 179% para una distancia inferior a los 2 km. A pesar de este carácter tempestuoso de las precipitaciones, las alturas diarias de lluvia inferiores a 10 mm representan el 40.9% del volumen total de las precipitaciones, en tanto que las alturas diarias superiores a 40 mm representan menos del 5% del total.

Comparación con otros climas

La comparación del clima del desierto de Chihuahua con el clima saheliano (Tabla 7), en sentido estricto, se ve justificada por la similitud entre los promedios interanuales, comprendidos entre 200 y 400 mm, así como por la presencia de una estación seca durante 8 a 9 meses.

Tabla 7. Comparación entre el clima d la Reserva de la Biosfera de Mapimí y tres estaciones africanas.

Desiertos	**Sahara**	**Chihuahua**	**Sahara**	**Kalahari**
País	**Senegal**	***México***	**Tchad**	**Botswana**
Estaciones	**Podor**	***Lab. Del desierto***	**Bol**	**Tsabong**
Altura anual (mm a^{-1})	222	*269*	330	278
Temperatura	29.3ºC	***20.2ºC***	28ºC	**≈19.1ºC**
Evaporación en Tanque Bac (mm a^{-1})	3546	*2850*	3231	-
Las máximas mensuales de lluvias ocurren en los meses de:	Agosto y septiembre	*Junio y agosto*	Julio y agosto	Diciembre y enero
Latitud	16º39N	*26º40N*	13º27N	26º03 S
Invierno calificado como:	caliente	***fresco***	caliente	**fresco**

Basándose en estas precisiones, observamos que los promedios de las temperaturas, así como la evaporación medida en tanque, son generalmente más elevados bajo clima saheliano, en donde los inviernos son generalmente calientes. El clima del Desierto Chihuahuense guarda mayor similitud con el clima del desierto de Kalahari[4] en donde los inviernos (del hemisferio sur) son igualmente secos y frescos y las precipitaciones del mismo orden de grandor (Cuny, 1961).

[4] El desierto de Kalahari comprende partes del norte de África del Sur, del sur de Botswana y del este de Namibia.

Paleoclimas

En lo que se refiere a los paleoclimas, los mejores registros provienen del centro de México. Sin embargo, Van-Devender y Spaulding (1979) señalan que hay una convergencia con los niveles lacustres del suroeste de los Estados Unidos, en donde el número de niveles altos alcanza un máximo de entre 24 ka BP y 22 ka BP, y se estabiliza posteriormente entre 20 ka y 10 ka, para decrecer más tarde hasta alcanzar un mínimo de 5 ka BP (Figura 6). Las pequeñas fluctuaciones que se producen después no cuestionan el nivel esencialmente árido del clima.

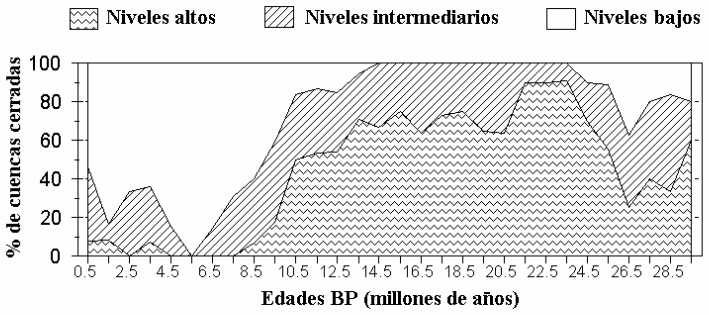


Figura 6. Nivel de los lagos en el suroeste de los Estados Unidos. Datos extraídos de Smith y Street-Perrot (1983).

La geología

La geología de la Reserva fue descrita por Bartolino (1988). El contexto geomorfológico regional es el de un altiplano ubicado entre dos cadenas montañosas, la Sierra Madre Occidental, en la que dominan las rocas volcánicas terciarias, y la Sierra Madre Oriental, en la que dominan las calcáreas y los esquistos cretáceos.
Desde el punto de vista tectónico (Peterson, 1985 *in* Bartolino, 1988), la Reserva está situada en el "geosinclinal mexicano", limitado por la plataforma de "Aldama" y la "isla de la plataforma de Coahuila". El área de estudio no presenta afloramientos de rocas posteriores al límite Cretáceo-Terciario.

Historia geológica de la zona de estudio

Las rocas cretácicas al sur y al este del área de estudio revelan una etapa marina de caliza y lutitas (Cetenal-INEGI, 1976), en tanto que la presencia de un "pre-flysch"[5] en el Cretáceo Superior indica el inicio de la regresión marina que va a afectar toda la región. Un confinamiento

[5] Flysch : Formación sedimentaria terrígena, compuesta por un apilamiento de turbiditas, similares a los depósitos actuales de los deltas submarinos profundos.

del medio se produce después de la orogénesis Laramide (Eoceno Antiguo y Medio) por los movimientos horizontales y los derrames volcánicos. Una cuenca endorreica se forma, en la que se acumulan hasta el Mioceno, sedimentos fluviolacustres y corrientes de basalto, de andesitas y emisiones de riolitas. Durante el Plioceno, el movimiento de varias capas hacia el este, originan la falla conocida como Cerro Bola, y con ello se delimita entonces un grabben o relleno. Posteriormente, la erosión diferencial pone de relieve las partes más resistentes, lechos de conglomerados y rocas volcánicas, que van a formar los puntos elevados del paisaje que culminan en los puntos bajos creados por la actividad tectónica (Tabla 8).

Tabla 8. Estratigrafía, fases y polos geoquímicos de los afloramientos de la zona de estudio (modificado y completado de Bartolino, 1988).

Estratigrafía	Formación (espesor máximo)	Facies	Polos Geoquímicos
Cuaternario	Depósitos eólicos (20 m)	Arenas yesosas	Disolución del $CaSO_4$
		Arenas volcanicas	Hidrólisis de los minerales silicatados
	Pie de montes y aluviones de cuencas (20 m)	Silts con arcillas Arenas	Disolución de $CaSO_4$, $CaCO_3$ Hidrólisis de los minerales silicatados
Transición Terciario-Cuaternario	Formación de Mohovano (30 m)	Basaltos, gravas, Arenas.	Hidrolisis de los minerales silicatados
Terciario	Formación de Las Quiotentas (1 km)	Arenisca, lutitas y marnas	Disolución NaCl,$CaSO_4$,$CaCO_3$ Hidrólisis de los minerales silicatados
		Conglomerados con matriz calcárea	Disolución $CaCO_3$, Hidrolisis de los minerales silicatados
		Basaltos, andesitas, riolitas	Hidrolisis de los minerales silicatados
Limite Terciario-Cretácico	Lechos de La Soledad (120 m)	Cuarsitas, areniscas, silts, arkosas	Hidrólisis de los minerales silicatados

Estructuras geológicas

La mayor parte de los afloramientos está constituida por depósitos cuaternarios que recubren, bajo una franja más o menos gruesa, una muy importante serie terciaria que aparece en relieve, en lo que se refiere a los puntos más resistentes a la erosión, o bien en el corte de los arroyos[6], en lo que se refiere a los puntos más sensibles a la erosión.

[6] Arroyo : Término local que describe un río de curso (flujo) intermitente.

El buzamiento general de esta serie está orientado hacia el este, aun cuando, localmente, surge una estructura anticlinal (Cerro Amarillo). Esta formación merece el calificativo de vulcano-sedimentaria, en la medida en que se alternan rocas volcánicas, conglomerados, asperones, lutitas y margas, sin poder establecer con facilidad continuidades espaciales por capas. La falla de Cerro Bola, que bordea la cuenca de hundimiento tiene una orientación sur-norte.

Polos geoquímicos[4].

Los polos geoquímicos provienen de la disolución de carbonatos, de yeso y de halita, presentes durante el terciario en un medio confinado. La hidrólisis de los minerales silicatados afecta las facies volcánicas o los conglomerados. Debido a la discontinuidad de los afloramientos vinculada con el contexto vulcano-sedimentario, los polos geoquímicos se diferencian poco en función de las formaciones. Cabe señalar que la fuente primaria de yeso y de cloruro de sodio se sitúa muy probablemente en la formación de Quiotentas, aun cuando se hayan reconocido, mucho más al norte, evaporitas del período Pérmico, mediante sondeo profundo en la parte este del Desierto de Chihuahua (Lefond, 1969).

Conclusión

La reserva de Mapimí tiene como sustrato subyacente una importante serie terciaria volcano-sedimentaria que contiene evaporitas. Esto representa una diferencia esencial de contexto geológico con el Sahel, en donde sobre un basamento precámbrico (magmáticos, grauwackas, esquistos arcillosos e intrusiones volcánicas) y en una serie primaria (cuarcitas, arcillitas, arcosas, esquistos), descansa sobre el Continental Terminal (arcillas ferrosas, de arenas finas, de asperones).

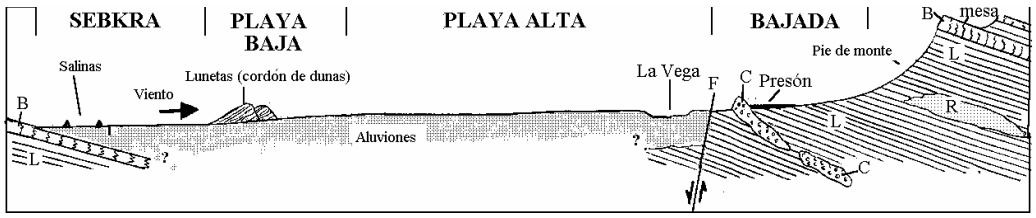
Geomorfología

Con el fin de describir de la manera más simple posible el medio, desde el punto de vista geomorfológico se adopta la noción de toposecuencia[8] (Figura 7). Los puntos altos de la toposecuencia están formados por relieves volcánicos, se habla de mesa cuando el aspecto horizontal de las capas es el que prevalece. El buzamiento generalizado de las capas hacia el este provoca que las vertientes occidentales sean generalmente más abruptas. En esas partes altas, cuando la pendiente es superior a 15%, se habla de *relieve*. Para pendientes de 3 a 15%, se utiliza el término de piedemonte. De 1 a 3% de pendiente, se trata de bajada (o glacis) y, finalmente, en el caso de pendientes inferiores a 1%, se habla de playa. Debido a que la pendiente influye en la disponibilidad de agua, la susceptibilidad a la erosión, a la acumulación de sales, o por el contrario a la lixiviación a escala del paisaje, permiten distinguir unidades geomorfológicas a lo largo de la toposecuencia con cierta homogeneidad desde el punto de vista

[4]Los polos geoquímicos son definidos, para las aguas naturales, por el agrupamiento de ciertas etapas de mineralización en función de una causa genética. Se habla entonces de polo de superficie o de polo carbonatado cálcico...

[8] Serie de elementos organizados en función de la altitud: para el edafólogo, serie de tipos de suelos; para el ecólogo, serie de mosaicos vegetales; para el geomorfólogo, serie de elementos del paisaje.

de los suelos y de los mosaicos vegetales[9]. El vocabulario geomorfológico presenta asimismo la ventaja de ser retomado por las diferentes disciplinas de las ciencias naturales. En el marco de este estudio, resulta más fácil dividir la zona plana en playa baja y playa alta. La primera corresponde a la zona de sumergimiento temporal del manto freático, con pendientes ente 0.1 y 1% (situación geográfica: cercanías del fondo de laguna y de la desembocadura del cauce principal); la playa alta: zona de estancamiento temporal de agua de escurrimiento, con pendientes medias similares a la playa baja (0.1 a 1%) (Demangeot, 1981; Shaw *et al.*, 1989) (Figura 7). La sebkra lleva en México el nombre de laguna. Se utiliza para designar el punto bajo de la toposecuencia, en donde se acumulan las aguas (Fondo de laguna).



B: basalto, L: lutita,: C: conglomerado, F: falla de Cerro Bolla, R: riolita.

Figura 7. Esquema que ilustra las unidades geomorfológicas utilizadas, así como su situación geológica.

Hidrología

Más de la mitad de la reserva forma parte de la cuenca hidrológica de la Laguna[10] de Las Palomas. Este lago temporal, de 38.8 km^2 de extensión, es alimentado esencialmente por un arroyo[11], La Vega, de dirección clara norte-sur. Se estima que la superficie de la cuenca "cercana" a la laguna mide 8484 km^2, y aunque La Vega es la continuación de otro arroyo, La India, drena una cuenca "lejana" que mide 11 146 km^2. El llenado de la laguna es episódico. En 1991 se observaron alturas del nivel del agua del orden de 1 m. Las fotografías aéreas de 1971 revelan una situación similar a la de 1991 y se observa, en 1959, una profundidad del orden de los 4 m. Esto permite suponer que, con base a los totales anuales de las precipitaciones, el llenado se produce a partir de una altura anual de cerca de 370 mm, lo que representaría una frecuencia de llenado de uno de cada cinco años.

La hidrometría de la Reserva no es tan conocida ya que no se dispone de mediciones de los caudales de los principales arroyos, es decir La India y La Vega. Debemos señalar que la experimentación en estas zonas de relieves poco marcados y de flujo escaso, resulta compleja (Drake y Bryant, 1994). La cuenca de la Laguna de las Palomas representa en el mapa a escala 1: 250 000, una superficie de 19 630 km^2. Sin embargo, debido a que las lluvias varían a escala de 1

---

[9] Siempre y cuando el substrato siga siendo el mismo.

[10] El término « *laguna* », es utilizado para designar los lagos temporales que se encuentran en los puntos más bajos de las cuencas endorreicas. El equivalente norteamericano es "*lagoon*", en tanto que "*lagune*", en francés, es generalmente reservado para los cuerpos de agua costeros.

[11] En México, el término « arroyo » designa los ríos temporales.

kilómetro, la cuenca tan sólo funciona en su totalidad durante eventos pluviales ocurridos en grandes extensiones, que son excepcionales (frentes). Además los arroyos no tienen siempre lechos bien definidos, por ejemplo La India termina en una planicie de inundación que debe llenarse antes de verterse en la Vega. En este caso, la cuenca depende asimismo de la intensidad de la lluvia. De una manera empírica, sabemos que varios días de lluvias generalizadas son necesarios para que La Vega fluya. De igual manera, debido a las importantes evaporaciones, a menudo los flujos no alcanzan los puntos bajos de las cuencas. Finalmente, la importante superficie (38.8 km^2) y las escasas pendientes de los márgenes de la Laguna de las Palomas no permiten obtener datos precisos en relación con los volúmenes indispensables para un balance hídrico del arroyo.
Dado que a escala de la cuenca vertiente de la Laguna de las Palomas, se cuenta con escasas mediciones hidrométricas cercanas al laboratorio, diversas cuencas pequeñas y parcelas experimentales fueron objeto de mediciones durante la temporada de lluvias de 1987 a 1992 (Delhoume, 1992c, 1995; Asseline, 1992). El conjunto de estas mediciones, resumidas en la tabla siguiente describe un escurrimiento constante de la parte alta a la parte baja de las vertientes; no obstante, no debemos olvidar que las mediciones fueron realizadas a escala de parcelas cerradas y no describen la organización del escurrimiento global (Tabla 9). Por ejemplo, en la cuenca de El General de una superficie de 11.5 km^2 , tan sólo el 3% de las precipitaciones llegan al presón de la parte baja de la cuenca (Delhoume, 1997). Este déficit de escurrimiento entre las escalas puntuales y globales se debe probablemente a la organización espacial de los mosaicos de vegetación con posibilidades de captar agua (cf. p. 43) (Tarin, 1992; Reyes Gómez, 1996).

☞Cabe señalar la importancia de esta graduación en el escurrimiento, que se incrementa en el caso de las pendientes escasas para todos los parámetros que analizaremos posteriormente, organizaciones superficiales, vegetación y salinidad.

Para la playa, debido a las pendientes escasas, los seguimientos de parcelas presentan grandes dificultades. Sin embargo, mediciones de mini simulaciones efectuadas por Reyes Gómez (1995) indican coeficientes elevados de escurrimiento siempre superiores a 50%.

Tabla 9. Coeficientes de escurrimiento obtenidos en parcelas y microcuencas experimentales, de las mediciones durante 1987-1989 (Viramontes-Pereida, 1992)

Unidades morfológicas	% de Escurrimiento
Relieve	1.5
Pie de monte	21.4
Bajada superior	21.7
Bajada inferior	43.1

Vegetación

La vegetación de las zonas endorreicas del Norte de México presenta un gran número de características comunes en los medios naturales áridos y desérticos del mundo, pero algunas son específicas del medio estudiado (Demangeot, 1981; Gould y Shaw, 1992; Rzedowski, 1994). En la Tabla 10, se presenta una síntesis global de la distribución de especies en la zona de reserva, extraída del estudio de Montaña (1988). En el anexo 2, se presenta una lista de las especies vegetales reportadas en todo el libro, donde se incluyen los binomios latinos, sus autores y

algunos cambios relacionados a la nomenclatura, por lo que por facilidad de lectura, dentro del texto se emplearán solamente los nombres comunes y los binomios latinos.

Las principales especies vegetales de la reserva

La lista florística provisional de la reserva incluye 313 términos, entre los que destacan las siguientes familias: *Gramineae* (62 especies), *Compositae* (38 especies) y *Cactaceae* (30 especies) (Ruiz de Esparza, 1988). Las especies dominantes se organizan en función de las unidades geomorfológicas (ver Tab. 10). En México, se distingue el matorral, en el cual dominan los arbustos (formación abierta) con, ocasionalmente la presencia de árboles; el pastizal, en el que el estrato herbáceo es dominante. Estas dos denominaciones sustituyen el término de estepa[12]. Los siguientes 4 estratos se mantienen bien diferenciados: muscináceo, herbáceo, arbustivo y arbóreo. Como está indicado en la tabla 10, las especies vegetales se distribuyen principalmente en función de los términos de la toposecuencia.

Tabla 10. Distribución de las especies dominantes por unidad geomorfológica en la reserva

Unidades geomorfológicas→ Especies dominantes ↓	**Mesa**	**Relieve**	**Pie de monte**	**Bajada**	**Playa**	**Duna**
Prosopis glandulosa			+	++	++	+
Larrea tridentada	++	+	++	++	+	++
Hilaria mutica*				++	++	+
Fouquiera splendens	+++	+++	+++	+		+
Acacia constricta			+			+++
Flourensia cernua			+	++		+++
Cordia parvifolia			+++	++		+
Atriplex acanthocarpa				+	+++	
Acacia greggii						+++
Opuntia rastrera	+++			++		++
Dalea scoparia						+++
Yucca elata						+++

\+ poco frecuente, ++ frecuente, +++ muy frecuente.

**El nombre científico actualizado es Pleuaophis mutica Buckley (Arévalo García, 2002), en esta obra seguiremos adoptando el antiguo nombre.*

La contracción de la vegetación

En la playa y la bajada, la vegetación está generalmente agrupada, separada por zonas de suelo desnudo. En el interior de esos "islotes" de formas y superficies muy diversas, se presenta una organización vegetal cuya descripción y funcionamiento ya fueron estudiados por diversos autores. La organización espacial de la vegetación tienen generalmente una directriz de distribución en el paisaje, que permite un aprovechamiento más eficaz del agua, reflejado en la interface suelo-vegetación (zona de escurrimiento-infiltración). Diversas formas de organización vegetal fueron señaladas por Delhoume (1988, 1995); Delhoume *et al*. (1992b), Mauchamp y

[12] Estepa : formación discontinua de vegetales xerófilos, a menudo herbáceos, de las regiones tropicales y de las regiones de clima continental semiáridos.

Janeau (1993) y Montaña (1988), entre las que destacan el matorral atigrado o mogotes[5], las formaciones poligonales y la zona de matas.

La vegetación atigrada (mogotes)

A escala de 100 m, los mogotes (o matorral atigrado) son ya bien conocidos debido a que han sido estudiados por un gran número de autores, tanto desde el punto de vista de la vegetación (Mauchamp y Janeau, 1993), como desde el punto de vista de la hidrodinámica (Cornet *et al*., 1992; Tarin, 1992) y del suelo (Delhoume, 1992b). Se trata de bandas de vegetación, perpendiculares a la pendiente, ubicadas en la bajada. Estas bandas se alternan con bandas de suelos denudados, o peladero, que les sirven de impluvio[6]. Una organización interna de la vegetación proviene de la distribución desigual del agua en la banda. El mezquite desempeña en este caso una función crucial[7], al lado de *Hilaria mutica* y *Flourensia cernua*. El matorral atigrado es también conocido en África y en Australia bajo climas similares, aun cuando los arcos de vegetación de la reserva desconciertan por su tamaño más reducido (Leprun, 1989).

Las organizaciones poligonales

En ciertas zonas de la playa, se distingue en las fotografías aéreas franjas de vegetación que constituyen polígonos (Delhoume, 1988). Se trata de franjas monespecíficas de arbustos *Suaeda nigrescens*. Estas alineaciones, con un promedio de 20 m de largo se desarrollan en un "yermosuelo yesoso, sobre aluviones arcillosos, halomorfos con fases vérticas que detallaremos en el capítulo 4. En la zona de franjas de vegetación se distingue una depresión, que, de acuerdo con Delhoume (1988) representa "zonas privilegiadas de concentración y acumulación de agua de lluvia". La formación de los polígonos se atribuye, por una parte, a los fenómenos de retiro y alternancias de depósitos así como a disoluciones de yeso y de sales y, por otra parte, a las "variaciones de volumen de los minerales hidratados durante la desecación", (Delhoume, 1988).

Las matas

La matas son reconocidas como las más pequeñas unidades de contracción de vegetación, *Sporobolus airoides* e *Hilaria mutica* se adaptan particularmente bien a este tipo de formación. Los estudios de Delhoume (1992c, 1995) revelan la importancia dominante en la infiltración de esta concentración de la vegetación. Las mediciones de humedad, realizadas en forma vertical con respecto a las matas de *Hilaria mtuica*, indican que el agua de las precipitaciones penetra de manera más profunda por debajo de las matas.

Las principales especies vegetales de playa y sebkra

Cuatro especies vegetales están particularmente representadas en la playa y la sebkra, dos pastos forrajeros, un arbusto halófito, una arbórea muy frecuente en zonas de playa y sebkra.

---

[5] Término local de referencia a la formación de este tipo de vegetación.

[6] Zona sin cubierta vegetal considerada como una zona de captación de agua de lluvia.

[7] Sin embargo, se han encontrado «mogotes» sin arbustos en la playa de Laguna de la Leche, en el norte de la Reserva. Este hecho demuestra que la organización de la vegetación en bandas no es exclusiva de la bajada y que los arbustos no son indispensables en este tipo de organización.

Sporobolus aeroides

Sporobolus airoides (Torr.) Torr. (Zacatón alcalino) es la gramínea perenne predilecta de los bovinos en cría extensiva. Nunca dominante en la bajada, en la que está ocasionalmente presente, constituye a veces en la playa una pradera monoespecífica.

> ☞Ocupa preferentemente las áreas de inundación durante las lluvias fuertes. Su curva de potencial osmótico indica una evolución muy acelerada después de la lluvia. Éste alcanza 70 bares en 30 días (Besnard, 1992). Esta planta halófita se establece en suelos con extracto saturado de conductividad comprendida entre 8 y 32 dS m^{-1} (González-Barrios, 1986).

Hilaria mutica

Hilaria mutica (Buck1) Benth. (*Tobossa grass*) es una gramínea perenne preferida en segundo lugar por los bovinos, debido a que contiene nódulos calcáreos microscópicos capaces de desgastar los dientes de los rumiantes. Su curva de potencial (Besnard, 1992) revela una evolución más lenta después de la lluvia. Alcanza –60 bares en 50 días. Está presente en la bajada y en la playa. Constituye a menudo la parte esencial de la cobertura del suelo.

Sueda nigrescens y S. suffrutecens

Sueda nigrescens I.M. Johnst. *Var. Glabra* I.M. Johnst es una planta halófita de la familia de las *Chenopodiaceae*. Este arbusto no es consumido por el ganado. Es en ocasiones dominante en la playa. Se establece en suelos con extractos de saturación con conductividad de 16 a 64 dS m^{-1}. La especie s*uffrutecens* se encuentra en el lecho mayor de La Vega.

Prosopis glandulosa

Prosopis glandulosa Torr. (mezquite) es de la familia de las *Leguminosae (Mimosoideae)*. Se trata de un arbusto espinoso, de tamaño muy diferente en función de sus condiciones de crecimiento. Cerca de los pequeños presones y de los arroyos temporales alcanza frecuentemente varios metros de altura.

> ☞En la región, raramente se usa para postes de alambrado en ranchos[8] y su madera se usa para calentar la vivienda y para la cocina. El ganado consume sus vainas y hojas (Barral, 1988) durante la primavera. Prolifera del pie de monte a la playa y constituye un importante recurso para las aves, los reptiles y los roedores. Sus raíces son reconocidas por su capacidad de buscar agua a grandes profundidades. Además de las gramíneas citadas anteriormente, puede estar asociado a algunos vegetales no consumidos o muy poco consumidos por el ganado: *Flourensia cernua, Koeberlinia spinosa, Larrea tridentata, Acacia greggii, Acacia constricta*.

Además de estas cuatro especies principales, por mucho las más frecuentes, existen otras especies, aunque en menor grado:

Larrea tridatata, arbusto poco apetitoso, desprovisto de espinas, planta perenne y, sin embargo, presente incluso en las zonas más áridas.

Atriplex acanthocarpa y Atriplex canescens, que son especies arbustivas forrajeras.

---

[8] En México *rancho* (*ranch* en inglés de Norteamérica) designa una explotación agrícola de ganadería extensiva. En el Desierto Chihuahuense, se trata generalmente de unidades de producción de más de 20 000 ha (200 km^2).

☞En cantidades menores, se encuentran -alrededor de la sebkra, en el fondo y en las cercanías de los bordos temporales- dos especies: *Allenrolfea occidentalis*, adaptada a un índice de yeso importante y *Sesuvium verrucosum*, ambas adaptadas a salinidades muy elevadas (32 a 128 $dS.m^{-1}$) (González Barrios, 1986). En las dunas yesosas, la vegetación es hasta cierto grado específica y está compuesta por *Yuca sp., Opuntia sp., Haplopappus heterophyllus, Larrea tridentata*. Localmente, se han descubierto pequeñas cantidades de *Lycium berlandieri* y de *Panicum obtusum*, debido a que se adaptan difícilmente al medio salino. A nivel del estrato muscinal, la asociación de algas con el suelo se encuentra en un gran número de sitios poco salinos en el seno de las zonas desnudas de inmersión temporal y sobre las dunas (algas cianofíceas y crisófitas principalemente).

Edafología de la reserva

Un mapa edafológico de la reserva fue realizado por Breimer (1988) basado en las unidades morfológicas. Posteriormente, los trabajos realizado por Delhoume (1988, 1992b, 1995), Viramontes (1991), Reyes Gómez (1998), Tarin (1992) enriquecieron los conocimientos relacionados con los suelos de la reserva. Por otra parte, González-Barrios (1986, 1992) efectuó estudios específicamente relacionados con la playa.

☞Cabe señalar que estos autores se refieren a clasificaciones diversas, cuyos términos registraron cambios significativos en el tiempo. La utilización de las unidades pedológicas del mapa mundial de suelos FAO-UNESCO de 1970 y 1988 es la más difundida, con adiciones ocasionales de elementos de la clasificación francesa (CFS, de 1990), así como de la clasificación americana (*Soil Survey S Staff,* 1994). En lo que se refiere a las correspondencias y las evoluciones de las diferentes nomenclaturas, habrá de referirse al Anexo 2 de esta publicación.

"Los tipos de suelos de la reserva se diferencian esencialmente por el tipo de material en el que se desarrollan y por el modo de depositación de dicho material" (Delhoume, 1988). Esta observación permite prácticamente asociar a cada elemento de la geomorfología un tipo de suelo, de donde se desprende el término toposecuencia representativa utilizada en este trabajo. Sin embargo, de manera general, los suelos revelan ciertas características zonales. Se trata, en todos los casos, de suelos poco evolucionados. Los contenidos de materia orgánica son de escasos a muy escasos (entre 2 y 0.1%) y tienden a disminuir de la superficie hacia la profundidad. El yeso está frecuentemente presente en todos los suelos en los cuales se encuentra (entre 4.8 y 69%). Asimismo, la calcita está siempre presente (entre 5.2 y 36.7%). Debido a la presencia constante de calcita, los valores del pH_{agua} se mantienen en torno a 8.2.

- En las zonas de relieve y de piedemonte, los Litosoles[9] están situados sobre rocas duras y los Regosoles[10] se desarrollan en los coluviones de pendientes. La salinidad es muy baja

[9] Litosol: - para la FAO de 1970 : suelo limitado en profundidad por una capa coherente dura y continua a menos de 10 cm de profundidad.

- para la CFS de 1990: suelo mineral bruto de desierto de los desiertos calientes.

[10] Regosol: - para la FAO de 1970: suelo formado sobre materiales no consolidados, con excepción de los depósitos aluviales recientes, y que no contienen horizontes diagnosticados fuera de un horizonte ócrico.

y los extractos de pastas saturadas presentan conductividades eléctricas (CE_s) muy inferiores a 1 dS m^{-1}. Estos suelos contienen una fuerte proporción de elementos gruesos.

☞Los Litosoles desaparecieron de la clasificación FAO (ver anexo 2) y han sido parcialmente sustituidos por los leptosoles.

- En la bajada y la playa los Yermosoles[11] dominan. Se distinguen por la presencia de un horizonte en superficie, duro y macizo en estado seco (ócrico).

☞Los Yermosoles desaparecieron de la clasificación FAO (ver anexo 2) y son parcialmente sustituidos por la denominación Gypsisoles (yermosoles yesosos). Sin embargo, el término es utilizado por todos los autores que han trabajo en la zona.

- En la bajada, la salinidad es un poco más fuerte (CE_s ~ 1 dS m^{-1}). Una diferenciación local de los suelos se produce en las zonas en donde los flujos superficiales se ven alterados y atrapados en sus recorridos. Se forman Argids[12] y la fracción arcillosa está esencialmente conformada por esmectitas. El horizonte de arcilla resulta de la transformación de la arcilla preexistente de la roca madre en arcilla de tipo montmorilonita (Delhoume, 1995).
- En la playa, la salinidad es mucho más elevada (CE_s>2.5 dS.m^{-1}). Las fracciones finas dominan, pero los suelos conservan siempre una fuerte proporción de limos, con excepción de los que se desarrollan en arenas eólicas. Sin embargo, en función del modo de depósito y de la salinidad, se describen asimismo:

Vertisoles crómicos en las planicies de flujo.

☞el término Vertisol es retomado en las tres principales clasificaciones y corresponde a suelos arcillosos que presentan importantes fenómenos de contracción-expansión (propiedades vérticas), observado por la presencia de una importante red de fisuras hasta profundidades que varían en función de la clasificación seleccionada.

Solonchaks cuando existe un manto salino de escasa profundidad.

☞para la FAO 1989, son suelos que presentan, en determinado momento del año, una conductividad eléctrica superior a un cierto valor: 15 dS m^{-1}, si pH<8.5; 8 dS m^{-1} si el pH>8.5.

- para la CFS de 1990: suelo mineral bruto, no climático, de erosión sobre roca blanda, loess, o arenas procedentes de dunas, por ejemplo.

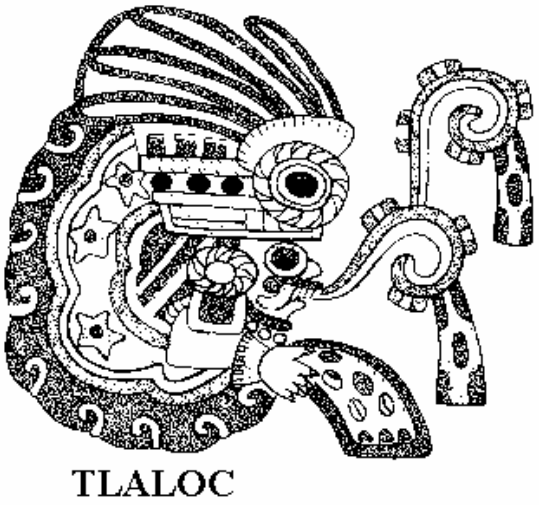
[11] De yermo (castellano): desierto. Un Yermosol se diagnostica debido a la presencia del horizonte ócrico y de un horizonte B cámbrico, arcilloso, cálcico o yesoso (FAO, 1970).

[12] Suborden de los Aridisoles que presentan un horizonte arcilloso o nátrico (este último con una CIC de más de 15%). Los grandes grupos que pertenecen a este suborden son los *durargids*, *los haplargids*, los *nadurargids*, los *natrargids* y los *paleargids* (USDA, 1998). Este término es utilizado por Delhoume, 1995.

El término similar de Solontchak es utilizado por la clasificación CRF de 1970 con un sentido ligeramente diferente.

SEGUNDO CAPITULO

LOS SUELOS, SUS ESTADOS DE SUPERFICIE Y LA HIDRODINAMICA SUPERFICIAL EN LA PLAYA Y LA SEBKRA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMI.

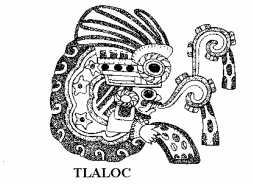


TLALOC

Dios azteca de la lluvia.

Mientras que los suelos de playa de la reserva son testigos de la historia de una paleolaguna que está grabada en los primeros horizontes del suelo, los estados de superficie son el resultado de un funcionamiento hidrodinámico actual. La combinación de la historia y del funcionamiento actual se traducen por una organización a escala de las unidades de paisaje que constituyen la playa y la sebkra.

Los editores


TLALOC

Los suelos de playa

Grünberger O.

Introduccón

Los suelos de playa y sebkra de la Reserva fueron objeto de un estudio específico realizado por González-Barrios (1986), en el que 153 perfiles extraídos con barrena le permitieron trazar mapas de salinidades a diferentes profundidades, así como especificar, en parte la influencia de la salinidad en la vegetación. De igual manera, en el mismo estudio fueron descritos de manera detallada y analizados por horizontes, 16 perfiles pedológicos. Delhoume (1986, 1992) efectuó estudios en la playa más específicos relacionados con unidades particulares de asociación suelo-vegetación, así como en la transición bajada-playa.

Resultados de J. L. González-Barrios (1986)

Estos estudios, aunados a nuestros resultados, nos permiten pensar que los suelos de la playa de la Laguna de las Palomas son producto de la transformación de diversos materiales estrechamente vinculados con la historia de dicha laguna. Por lo tanto, los suelos se desarrollan en un contexto de playa y de sebkra sobre depósitos aluviales o eólicos, transformados, en mayor o menor grado, de manera secundaria por diferentes procesos: erosión eólica, ascenso capilar del nivel freático y disolución de materiales solubles.

Se trata de suelos jóvenes poco evolucionados. Sus características promedio y extremas (Tabla 11) permiten descubrir ciertas características constantes. Si bien es cierto que, de manera general, el limo domina, los resultados de textura son muy variables[13] e ignoramos si esta variación es atribuible al método de análisis. Cabe señalar una importante capacidad de intercambio máximo, sin embargo inferior a la cantidad de iones que pueden estar presentes en el extracto de pasta saturada[14] para la misma masa de suelo. La calcita y el yeso están siempre presentes con proporciones superiores a 4.9% y el contenido de calcita es uno de los parámetros más estables, con el $pH_{(H20)}$ de los extractos saturados cuyo promedio es de 8.4. Los índices máximos de salinidad son alcanzados con porcentajes equilibrados de iones de sodio y cloruros, sin embargo en promedio los contenidos de sulfatos son ligeramente superiores a los de cloruros, en tanto que las proporciones de iones sodio son mucho más elevadas que las proporciones de iones calcio. Los carbonatos, el potasio y el magnesio son especies menores, en términos de concentraciones medias, lo que no implica que en los suelos de escasa salinidad su importancia

[13] Las mediciones de texturas por sedimentación de las partículas finas son sometidas, en los suelos salinos, a un alto grado de imprecisión debido a fenómenos de floculación de arcillas. Éste es el caso del método aquí utilizado (conocido como método de Bouyoucos). Los lavados del suelo, en caso de poner fin a la salinización, suelen no tener efecto en la sodificación de la muestra.

[14] La pasta saturada se establece para estos suelos en una proporción de agua cercana a 1:1.

relativa no sea significativa como lo demuestra el máximo relativo de carbonato de 35.4%. Finalmente, cabe señalar que los coeficientes de variación que caracterizan la salinidad del extracto de pasta saturada presentan un valor cercano de 1.

Tabla 11. Media, desviación estándar, mínimo y máximo de los análisis de suelos y de extractos de pastas saturadas obtenidas por González Barrios (1986) en la playa de la Laguna de las Palomas.

Variables estadísticas→ **Parámetros medidos↓**	**Media**	**C.V.**	**Mínimo**	**Máximo**
Analisis de suelos				
Arcilla (%)	22.8	**0.9**	**2.00**	**83.0**
Limo (%)	52.2	**0.4**	**2.00**	**87.0**
Arena (%)	23.8	**0.6**	**1.00**	**63.0**
CIC (meq/100gr.)	20.1	**0.2**	4.50	**26.3**
Calcita (%)	22.0	**0.2**	**7.00**	**33.0**
Yeso (%)	20.9	**0.5**	**4.90**	**67.7**
Análisis de los extractos (pasta saturada)				
CE_S (dS cm^{-1})	20.62	**1.0**	**0.50**	121.1
Total de los meq l^{-1}	503.01	**1.0**	12.98	3455.95
pH (H_20)	8.41	**0.1**	**7.20**	9.50
Ión calcio (%meq.)	10.5	**0.9**	**1.10**	45.10
Ión magnesio (%meq.)	4.1	0.7	**0.60**	**19.60**
Ión sodio (%meq.)	35.3	0.3	**1.50**	**50.10**
Ión potasio (%meq.)	0.3	1.9	0.02	**3.40**
Ión bicarbonato (%meq.)	3.1	2.0	0.10	**35.40**
Ión cloruro (%meq.)	21.0	0.7	0.10	**61.50**
Ión sulfato (%meq.)	25.6	0.6	0.10	**47.80**

En negrillas, los resultados más significativos

☞ Esta tabla es presentada a título indicativo en la medida en que tan sólo son consideradas ciertas informaciones relacionadas con los mínimos, los máximos y los coeficientes de variación. No se debe olvidar que los valores promedio están muy influenciados por los extremos.

La salinidad no está distribuida de manera uniforme en el paisaje y las variaciones reportadas por González Barrios (1991) indican un gradiente general de salinidad en las cercanías del lago temporal, para los horizontes más profundos del suelo. En efecto, los extractos de pastas saturadas presentan una conductividad eléctrica superior a 15 dS m^{-1} en la parte baja (noroeste) de la playa (González Barrios, 1986) (Figura 8). La sebkra presenta las salinidades más elevadas, tanto en superficie (después de la temporada de lluvia) como en profundidad con conductividades eléctricas de los extractos de pasta saturadas que pueden ser superiores a 60 dS m^{-1}, debido a la ascensión por capilaridad y evaporación del agua de un acuífero salino de escasa profundidad, cuyo nivel piezométrico está cercano del fondo de la sebkra.

Gonzalez Barrios (1986) clasifica estos suelos en cuatro grupos principales, ordenados en función de una toposecuencia.

1. Suelos de transición bajada - playa con conductividades del extracto de pastas saturadas inferiores a **10 dS m^{-1}** para todo el perfil con un ligero aumento en profundidad.
2. Suelos de playa, en donde la proporción de iones sulfato es más importante que la de los iones cloruro en el extracto de pastas saturadas, las conductividades del extracto son

superiores a **10 dS m^{-1}** en profundidad y los perfiles presentan generalmente una desalinización relativa en superficie.

3. Suelos en los cuales los iones cloruro dominan a los iones sulfato en superficie del perfil en tanto que, en profundidad, los iones sulfato son dominantes. Las conductividades de los extractos de pastas saturadas son superiores a **15 dS m^{-1}** en profundidad.
4. Suelos de sebkra y de sus inmediaciones, en donde domina el ión cloruro en todo el perfil y las conductividades son superiores a **50 dS.m^{-1}**.

Los suelos de los grupos 3 y 4 forman un conjunto que delimita una zona de orientación norte-oeste/sureste.

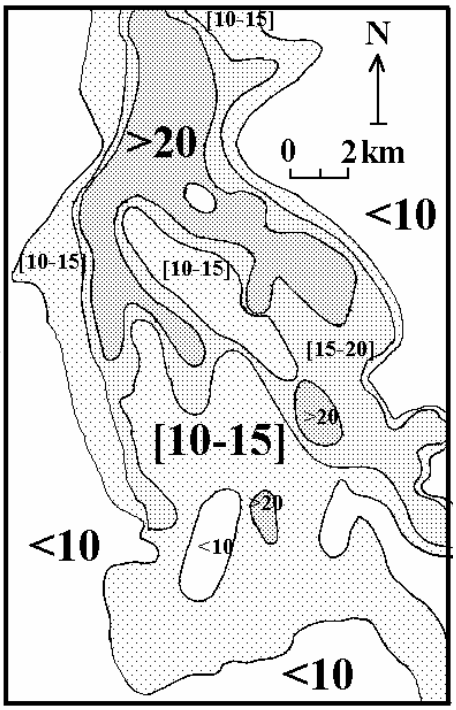


Figura 8. Distribución de la salinidad en los horizontes profundos de la playa y de la sebkra. Conductividades en dS m^{-1} de los extractos de pastas saturadas de los horizontes profundos (80-150 cm). Datos extraídos de Barrios (1986).

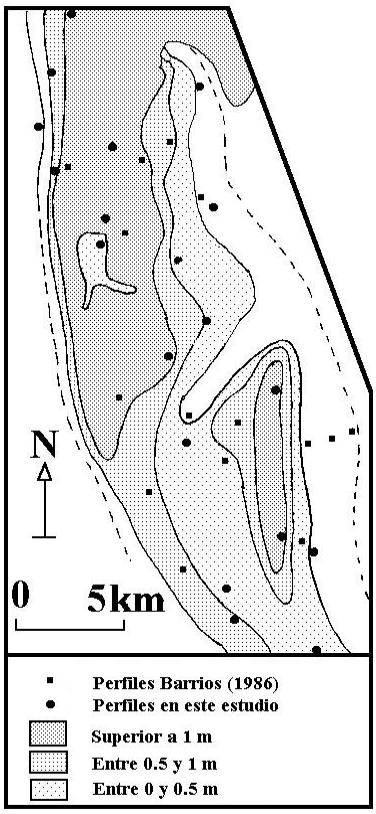


Figura 9. Bosquejo de la distribución de los espesores (en cm) de los horizontes de 0 a 150 cm que contienen más de 20% de yeso.

☞ La extrapolación entre los puntos de las figuras está basada en la topografía y los estados de superficie.

Complementos y nuevas interpretaciones

Un horizonte más rico en yeso está presente prácticamente en toda la zona (Figura 9). Excede el metro de espesor en la sebkra y sus inmediaciones debido a la presencia de las crestas de yeso de las dunas. Este horizonte no está presente en el lecho del cauce principal (La Vega) ni en el del afluente Los Tildios debido a su disolución (y/o de su erosión) provocada por las aguas circulantes. Se observa un espesor importante de este horizonte más rico en yeso en la parte sureste de la zona de estudio. En la mayoría de los casos, el horizonte está comprendido entre 20 y 70 cm de espesor.

La paleo-laguna

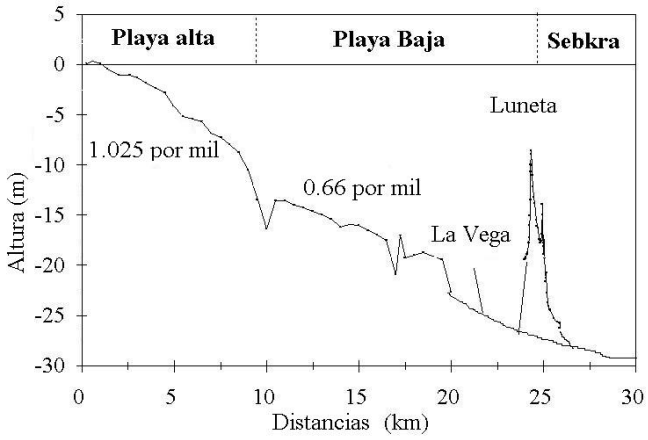


Figura 10. Corte topográfico de la playa y la sebkra de la reserva de la biosfera sobre un eje paralelo al cauce principal (La Vega). El corte pone de relieve la ruptura de pendiente entre playa alta y playa baja, situada a un nivel suficiente para atravesar el cordón de dunas.

Un corte topográfico paralelo al curso de la vega revela una ruptura de pendiente muy clara. Al sur, la pendiente promedio es de 0.1% en tanto que, más abajo, es de 0.06% (Figura 10). La Véga parte, a nivel de su desembocadura en la laguna, el cordón de pequeñas dunas anteriormente descrito. Cabe señalar que para que La Véga cortara las dunas, fue necesario un nivel de agua superior a 10 metros, dado el carácter continuo del cordón de dunas.

Este sobre nivel de agua necesario sobre el perfil coincide, aproximadamente, a la altitud de la ruptura de pendiente que separa la playa alta de la playa baja. Esta ruptura coincide asimismo con un cambio de salinidad en los horizontes profundos. El corte del cordón de dunas por el eje principal de escurrimientos es atribuido al Wisconsin Pluvial (22 000 – 11 000 B.P.); y aun cuando la laguna tenía una extensión mayor al cordón, se presentó dicha ruptura (Delhoume, 1988).

Sin embargo, las rupturas de pendientes (Figura 10) conducen más bien a optar preferentemente por una interpretación basada en variaciones de la subsidencia del graven. Si la subsidencia ha variado, en cuanto a lugar y velocidad, en el curso de la historia de la laguna, una serie de cambios en la subsidencia puede explicar la disposición actual, como se indica en la Figura 11, sin excluir la muy probable intervención de cambios del clima.

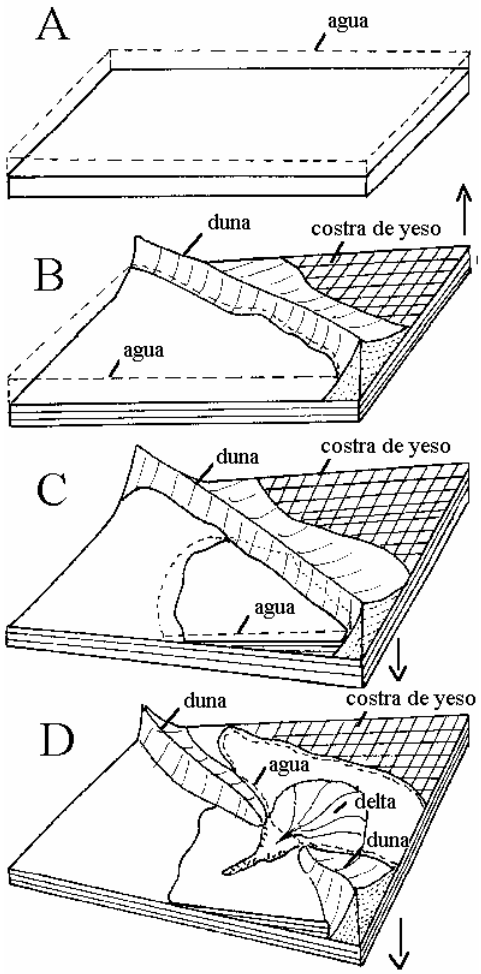


Figura 11. Diagrama hipotético sobre el estado actual provocado por la subsidencia del graven.

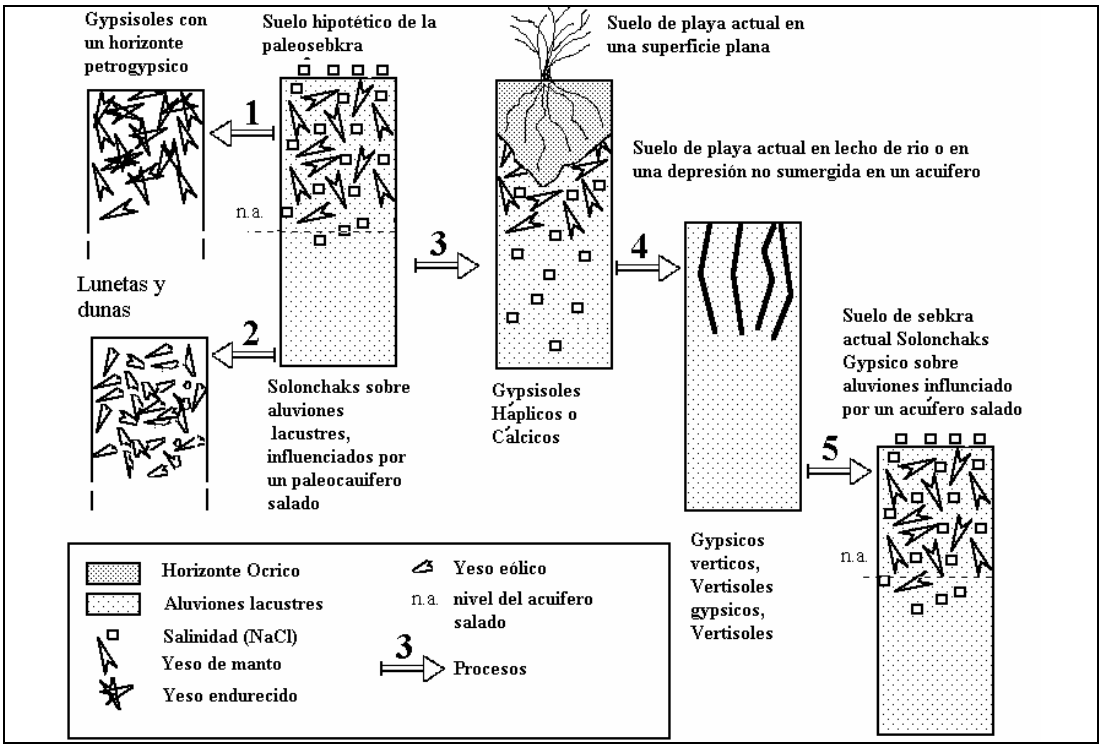
Fase A: lago generalizado (¿último periodo pluvial?)
Fase B: subsidencia más marcada en la parte sureste.
Presencia de una costra o capa endurecida de yeso, después del ascenso del manto;
formación de un cordón de dunas por vientos dominantes del noroeste;
Depósitos de sedimentos tabulares en el fondo de la laguna.
Fase C: subsidencia más marcada en la parte noreste.
Desplazamiento de la sebkra hacia el norte, limitado por el cordón de dunas.
Nuevos depósitos tabulares en discordancia estratigráfica en los antiguos depósitos.
Aumento progresivo de la altura máxima de agua a lo largo de las dunas.
Fase D: subsidencia más marcada en la parte noreste.
La altura máxima de agua sobrepasa el nivel mínimo del cordón de dunas; la sebkra se instala en el lado oeste de las dunas.
La erosión parte parcialmente los últimos sedimentos y un delta se forma al interior de la sebkra.
La ruptura de pendiente se ubica entre las dos últimas fases.

Los suelos están, por lo tanto, profundamente, marcados por la historia de una paleo-sebkra de una extensión anterior probablemente más importante, aun cuando la hipótesis de un desplazamiento progresivo del sur hacia el norte a favor de un movimiento relativo del graben pueda plantearse. Esta paleo-sebkra dejó como testigo, además de sus depósitos aluviales, un

sistema de dunas, de costras[15] de yeso y el enriquecimiento de yeso de los suelos a consecuencia del ascenso capilar en los horizontes poco profundos. Desde el confinamiento de la sebkra en el norte, se produce una fase de disolución de estos testigos, debido a la ruptura del cordón de dunas por el cauce principal y del levantamiento relativo de las partes anteriormente situadas en los puntos bajos.

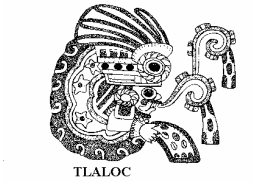
- En el fondo de la sebkra, la presencia de un acuífero salino de escasa profundidad determina la formación de solonchacks gypsicos (SSS, 1994) que representan, debido a su alta salinidad y su alto contenido de yeso de reciente formación, lo que debían ser los sedimentos dejados por la paleo-sebkra (Figura 12).
- En el lecho de La Vega y de sus afluentes, los horizontes superficiales enriquecidos de yeso fueron destruidos por disolución, erosión o abundantemente recubiertos por nuevos depósitos. En ausencia de un acuífero de escasa profundidad, ya no se produce salinización por evaporación en los superficiales. Estos suelos son Vertisoles crómicos o gypsicos(SSS, 1994) cerca de la sebkra actual.
- Los suelos, que no están situados en ejes de drenaje, pero que también fueron sometidos a una disolución parcial de sus horizontes superficiales con elevadas tasas de yeso. Los horizontes superficiales que al origen, probablemente contenían más de 20% de yeso, están ubicados ahora entre 30 y 60 cm de profundidad. Los horizontes superficiales con escasos contenidos de yeso son los horizontes funcionales del suelo que permiten el desarrollo de la vegetación si la salinidad lo permite. Como lo veremos más adelante, el devenir de este horizonte de yeso induce profundas diferencias en la vida de la vegetación. Se trata mayoritariamente de suelos de yeso (SSS, 1994) con, en la mayoría de los casos, una salinidad inferior en superficie.
- Los suelos que se desarrollaron en materiales de duna, presentan una muy escasa evolución; en ciertos casos, forman, por removilización del yeso, una costra que cubre la cima de las dunas. Se trata esencialmente de Gypsisoles (FAO,1994) con horizonte petrogypsico. La salinidad debida a la proximidad de un paleo-acuífero salino subyacente adopta el mismo trayecto, sin embargo, con un cierto avance debido a la facilidad de movilización de las sales muy solubles. La paleo-sebkra dejó una salinidad de fondo importante que diferencia muy claramente los suelos de playa de los de bajada. Sin embargo, en la playa, se produjo una desalinización que afecta, en primer lugar, los ejes de escurrimiento de La Vega, y, en segundo término, los horizontes superficiales de los suelos y, finalmente, los horizontes más profundos.

[15] Costra (en este caso): Horizonte pedológico continuo y endurecido, que difiere de la noción de costra superficial empleada en la terminología de los estados de superficie (ver párrafo relacionado con los estados de superficie).



Leyenda de los procesos:
En las zonas sin aporte de sedimentos, el paleo-solonchak evoluciona originando costras de yeso endurecidas.
El viento recoge, en temporada seca, en la superficie de la paleo-sebkra, el producto del ascenso capilar del acuífero salino; sus limos y arenas se acumulan en las pequeñas dunas y lunetas.
Una vez que el solonchak no está ya bajo la influencia del paleo-acuífero, un horizonte superficial se construye por disolución en detrimento del yeso y de las sales más solubles. La vegetación puede entonces instalarse, la salinidad en profundidad sigue presente.
En las zonas drenadas adecuadamente y/o aquéllas que se ven beneficiados con un aporte de sedimentos, el nivel de yeso y la salinidad desaparecen. Surgen propiedades vérticas.
En la sebkra actual, por ascenso capilar del acuífero salino se produce un solonchak actual.

Figura 12. Esquema que resume los procesos pedogenéticos capaces de explicar los diferentes tipos de suelos observados.



Los estados de superficie de playa y de sebkra su distribución en la reserva de la biosfera

Janeau J.-L., Grünberger O.

Introducción

En zona semiárida, la descripción de los estados de superficie presenta un gran interés ya que aporta información sobre la mayoría de los procesos fundamentales que se verifican en la superficie del suelo, tales como escurrimiento, erosión, depósito sedimentario y dinámica vegetal del medio.

La parte baja de la cuenca de la Laguna de las Palomas fue seleccionada como marco para el estudio de los estados de superficie sódicos y salinos. La superficie cubierta es de 367.5 km^2 e incluye las subunidades siguientes:

Una sebkra, de 38.8 km^2, constituida por una zona de inundación sin vegetación;

Una playa baja[16] de 102.6 km^2 que presenta una muy escasa pendiente dotada de un microrrelieve que permite asociaciones de vegetación particulares o, por el contrario, una vegetación monoespecífica;

Una playa alta de 215.7 km^2 que presenta una pendiente ligeramente más pronunciada que provoca flujos más organizados y la presencia local de macrodepresiones;

Una pequeña duna de yeso y arena de 7.3 km^2;

Una serie de cimas de antiguas dunas de yeso y arena de 3.1 km^2.

El estudio morfológico visual de los estados de superficie se llevó a cabo en más de 1000 puntos de observación distribuidos en 47 transectos (17 de 0.2 km, 2 de 2 km, 4 de 18 km, 24 de 0.1 a 0.5 km), en 15 estaciones experimentales (11 de 100 m^2 y 4 de 10 000 m^2). Se obtuvo información suplementaria de diversas descripciones de parcelas instaladas por simulación de lluvias.

Definiciones y métodos

Como se definió en la introducción, un estado de superficie particular se describe por su composición en tres tipos de elementos distintos: vegetación, superficie del suelo y reorganizaciones superficiales. La descripción del estado de superficie traduce por lo tanto las importancias relativas y la organización de estos tipos de superficies que se ve complementada por el análisis del relieve. El relieve general es naturalmente considerado pero es sobre todo el micro-relieve –inducido por los componentes del suelo, la actividad fáunica, la erosión, las

[16] La distinción playa baja - playa alta fue definida tanto para los estados de superficie como para la profundidad, por un gradiente de salinidad que tiene como límite la cota topográfica 110 m. Este límite marca un cambio importante en cobertura y, sobre todo, en una disminución del número de especies encontradas.

condiciones climáticas y la actividad antrópica– el que se describe de manera más detallada ya que es capaz de modificar de forma considerable el escurrimiento.

La cobertura vegetal

El análisis de la cobertura vegetal en el estado de superficie se lleva a cabo por estimación cuantitativa del área ocupada por cada especie. Se trata por lo tanto de determinar las plantas y de caracterizar su ocupación relativa al suelo. Es evidentemente una cuantificación visual, puntual en el tiempo que, además, se efectúa en un período variable del año. Por lo tanto, no se toman generalmente en cuenta las especies no perennes, tales como las especies anuales, por ejemplo. Para la descripción de las características específicas de cada especie de playas, nos referiremos a la descripción que aparece en la parte dedicada a la vegetación en el capítulo 1.

La superficie del suelo

La superficie agrupa los parámetros no incluidos en la rúbrica "cobertura vegetal" o "reorganizaciones superficiales". Es posible distinguir:

La descripción de las piedras y rocas cuando ninguna reorganización superficial es visible. Se puede tratar de una roca masiva que aflora o de acumulaciones de arenas (estratificación granulométrica de las arenas);

El efecto de la mesofauna, especialmente de las termitas (plaqueado de cosecha) y de las hormigas (filas y hormigueros), así como de los pequeños mamíferos (roedores);

El efecto de las actividades antrópicas, como el trabajo del suelo, por ejemplo el franjeado o el paso de placas para nivelar, los caminos, los desechos, etc.

Las reorganizaciones de superficie

Las reorganizaciones superficiales son a menudo llamadas costras.

☞ Puede haber ambigüedad entre el término costra de superficie y el primer horizonte del suelo con mayor o menor grado de endurecimiento, llamado encostramiento (Halitim *et al.*, 1987) o "hard pan" en inglés. Cuando las costras presentan características particulares de cimentación, se utiliza otra tipología. Es así como las costras de yeso son llamadas "crestas de yeso" (*deb deb* formada *per ascensum*, en Túnez), las costras ricas en carbonatos son llamadas "calcrestas" y las cimentadas por el sílice, "silcrestas". El término costra es, en esta publicación, utilizado como sinónimo de "reorganizaciones superficiales de algunos milímetros a algunos centímetros de espesor", aun cuando algunas de las características de induración corresponden a un horizonte subyacente.

Una clasificación -inspirada en la tipología establecida en 1989 por Casenave y Valentin en zona sudano-saheliana- de estas costras de superficie**,** en función de sus características morfológicas, fue adaptada a nuestro terreno de estudio. De esta manera, si bien es cierto que fue posible reconocer costras de superficie idénticas a las del Sahel, también fue posible identificar otros tipos. La clasificación de las reorganizaciones de superficie es una clasificación "genética". Es decir que la identificación de los procesos y de los factores de formación de las costras es la que permite su clasificación. Diversos autores (Le Bissonnais, 1988, 89; Le Souder, 1990; Mc Intyre, 1958; Casenave y Valentin, 1989) describieron con precisión los principales mecanismos de formación de las costras de superficie. Tan sólo llevaremos a cabo aquí un breve recuento, con las abreviaturas correspondientes, utilizadas en el texto y las tablas de este estudio.

Definición, procesos y factores de las reorganizaciones superficiales

La acción del viento provoca la deflación y la corrosión, que son los dos modos de desprendimiento de las partículas del suelo. Una vez que éstas son arrancadas del suelo, pueden

ser transportadas por suspensión, saltación o reptación y se depositarán, en función de una selección granulométrica, formando una costra de depósitos eólicos.

La movilización de las partículas por humectación genera tres procesos: el estallido, la dispersión y la fisura de los bloques de suelo endurecido (como el tepetate). Su relativa importancia varía considerablemente en función del tipo de humectación, el tamaño y la naturaleza de los materiales.

El impacto de las gotas de lluvia provoca la desintegración y la fragmentación de los bloques. Se produce por lo tanto un acarreo, por salto, posteriormente un depósito y, finalmente, un asentamiento.

Estos dos factores producen la costra de erosión (ERO) y la costra estructural (ST), entendiéndose por "estructural", dentro de este contexto, "caída *in situ* de la estructura". Las cifras vinculadas con el código ST determinan el número de capas sobre la costra estructural.

El escurrimiento genera un desprendimiento mecánico, de mayor o menor intensidad, en función de su velocidad y turbulencia. El acarreo generado por el escurrimiento es de dos tipos: transporte de materiales en suspensión y transporte por acarreo en fondo de corriente. Produce depósitos que, con excepción de los que son sometidos a flujos turbulentos (Mücher y De Ploey, 1977), generan una selección granulométrica bien marcada. La costra obtenida, llamada costra de escurrimiento (siglas en francés RUI), corresponde a un depósito bajo flujo laminar.

La sedimentación se produce si una porción de agua cargada de sedimentos cubre la superficie del suelo. Los depósitos constituyen una costra de decantación (DEC), con una variable posible si esta DEC recubre una superficie no reorganizada con anterioridad (DEC N.R.).

El ascenso del manto: produce por evaporación costras de sales más o menos endurecidas y fugaces, en función de las inundaciones y de la acción del viento. Se distingue las costras de eflorescencias salinas, CS. Igualmente, se observan costras salinas de yeso, CGS (siglas en francés) y costras de yeso, CG.

La alternancia humectación-desecación de los materiales: la contracción genera una disminución del volumen de ciertos componentes del suelo (especialmente, las arcillas y la materia orgánica) (Tessier, 1978; Bruand, 1986; Braudeau, 1987) provocando, de esta manera, fisuras. El endurecimiento aumenta con la desecación y genera una costra de desecación (DES).

Resultados

Repartición de la cubierta vegetal

Independientemente del índice de cobertura de cada especie, la mayor densidad de familias ocupa la zona de playa alta (Tabla 12), en donde la salinidad en superficie (0-35 cm) es todavía relativamente escasa, 4 a 8 dS cm^{-1} en promedio. El orden de frecuencia de las especies encontradas en el conjunto de la playa y de la sebkra es el siguiente: *Suaeda sp., Prosopis glandulosa, Sporobolus airoides, Hilaria mutica, Opuntia sp.* y cactáceas, *Atriplex sp., Salsola kali, Haplopappus heterophyllus, Yucca sp., Larrea tridentata.* Las cuatro primeras especies acumulan un índice de presencia de 69.1%.

Tabla 12. Tasa de presencia de las principales especies vegetales en las unidades geomorfológicas, expresada en %.

Unidades geomorfológicas → / **Especies vegetales↓**	**Borde de sebkra**	**Playa baja**	**Playa alta**	**Luneta**	**Totales**
Sporobolus airoides (H)	-	4.6	8.6	1.0	**14.2**
Hilaria mutica (H)	-	1.9	11.5	-	**13.4**
Atriplex sp. (LB)	-	-	7.7	-	**7.7**
Suaeda sp. (LB)	2.9	1.9	17.3	1.0	**23.1**
Yucca sp.	-	-	-	1.9	**1.9**
Opuntia sp. y cactáceas	-	1.0	4.8	2.9	**8.7**
Haplopappus heterophyllus	-	-	-	4.8	**4.8**
Salsola kali	-	3.9	2.0	-	**5.9**
Prosopis glandulosa (LB)	-	2.9	14.5	1.0	**18.4**
Larrea tridentata (LB)	-	-	-	1.9	**1.9**
Totales	**2.9**	**16.2**	**66.4**	**14.5**	**100**

H : Herbácea ; LB : Leñosa baja.

Observaciones micromorfológicas de las costras

A partir de observaciones visuales, 37 muestras fueron seleccionadas. Después de impregnación con resina al vacío, un corte de la inclusión, pulido y un cepillado fino, con abrasivos de carburo de silicio, permitieron la observación de las costras más visibles de nuestra zona de estudio. Estas observaciones, con microscopio, revelan los componentes y la porosidad de las costras que condicionan la infiltrabilidad de éstas.

☞ La descripción de los diagramas de las figuras siguientes no corresponden a una decripción de laminas delgadas, según la terminología de Brewer (1964), sino más bien una representación simplificada del tipo de porosidad.

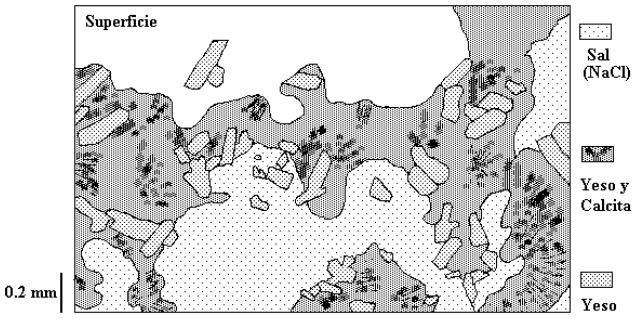


Figura 13. Esquema de la estructura superficial de las costras de afloramientos salinos y de fuerte concentración en cristales de yeso.

En el corte de la figura (Figura 13), que proviene de una muestra de borde de duna, un gran número de cristales pequeños de sales constituye la "matriz" de esta costra salina. Cúmulos de yeso y cacita en forma de agujas representan el 30% del conjunto y varios granos de yeso, bajo forma de microgranos son adheridos a la matriz de NaCl. Estos microgranos son comunes en las dunas de yeso (Hachicha *et al.*, 1987).

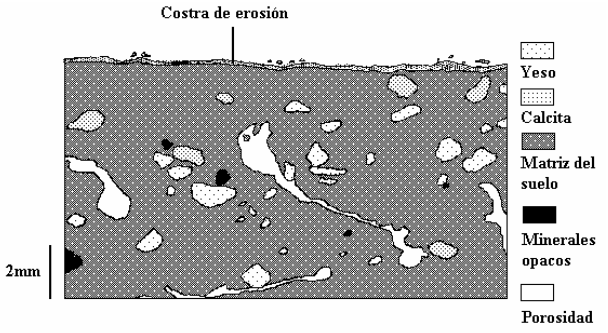


Figura 14. Diagrama esquematico de una costra de erosión sobre un Gypsisol.

Las costras de erosión (Figura 14) son de escaso espesor y de porosidad fácilmente visibles al microscopio (Valentin *et al.*, 1987). Esta lámina, obtenida a partir de un suelo de yeso de playa, permite observar una fina película arcillo-limonosa continua que limita fuertemente toda infiltración. Ciertos óxidos (minerales opacos) y cristales de yeso están presentes en una matriz de porosidad escasa.

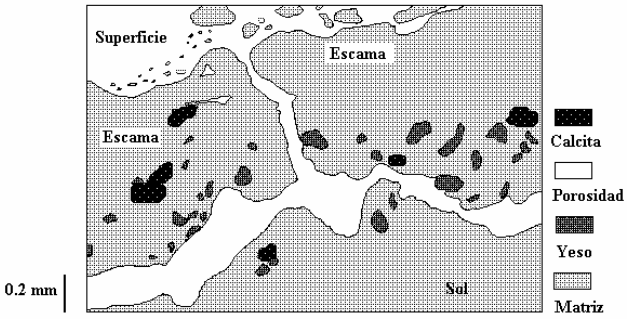


Figura 15. Diagrama de una costra de decantación sobre un Solonchak.

En el caso de costras de decantación, la película superficial está formada de escamas (Figura 15). Se observa una porosidad fisular paralela a la superficie del suelo; corresponde al escurrimiento laminar observado en el terreno. La porosidad vertical es un punto de ruptura entre 2 escamas. Algunos granos de yeso asociados con acumulos de calcita están diseminados en la matriz carbonatada.

En conclusión, los cortes muestran que las costras encontradas son comparables a las del Sahel, en cuanto a los elementos esenciales se refiere. Sin embargo, la presencia mucho más frecuente de costras salinas, con proporción de yeso más importante, es capaz de modificar ciertas características hidrodinámicas.

Estudio de la distribución de las reorganizaciones superficiales

Los estados de superficie se organizan en función de las unidades geomorfológicas siguientes:

Sobre las dunas, dominan dos tipos de costras superficiales procedentes de depósitos eólicos.

- Las costras de yeso y arena, en las que el yeso procede esencialmente de la sebkra. No obstante, un poco de arena de andesita poligénica -debido a que fue remodelada por el agua entre el momento en que fue arrancada de la roca madre y su acarreo por el viento- está presente y es visible debido a su tono más claro.
- Las costras de yeso y arena asociadas a bioderma son idénticas a las precedentes pero la costra está consolidada, debido a la presencia de algas y o liquenes presentes sobre todo en las depresiones de deflación en el corazón de las dunas pero igualmente en las bajadas.

En la sebkra, las reorganizaciones superficiales son provocadas por los mecanismos de depósitos sedimentarios y de ascenso capilar.

- Una costra de decantación, con polígonos de alta porosidad fisural, se sitúa en el fondo de la sebkra. En función del período del año y del nivel del acuífero subyacente, esta costra se transforma en una costra de sal durante la estación seca. Esta transformación se produce sobre todo en la parte más baja de la sebkra, que podría denominarse el “kewir de las Palomas”.

- Una placa de yeso (o cresta de yeso) de más de 50 cm se ubica en el borde oeste de la sebkra. Cristales de yeso aparentes, pero discontinuos, aparecen en la superficie.

Aun cuando las placas no pertenecen a las organizaciones superficiales, son descritas como soporte de la organización superficial.

En las playas baja y alta, la vegetación permite distinguir las dos unidades, en el plano de la cobertura pero sobre todo en el número de especies y su disposición espacial.

Las organizaciones superficiales reflejan una posible acción clara de los fenómenos de erosión, de desagregación de la estructura y de decantación.

- Una costra de erosión es visible en las zonas de erosión regresiva; está asociada a microbloques más o menos disecados (estructura particular).
- Una costra estructural está presente con dos microhorizontes constituidos por una película plásmica de porosidad vesicular discontinua y arenas libres en superficie.

Cuando la pendiente es muy escasa, se produce una alternancia de costras de erosión y de costras de decantación asociadas con costras estructurales de uno, dos o tres microhorizontes.

El glacis inferior o bajada constituye el límite geomorfológico de nuestro estudio.

La placa de yeso endurecido está igualmente presente en el límite de la bajada en la parte noroeste de la zona de estudio.

- Una costra estructural con dos micro-horizontes y constituida por una película plásmica de porosidad vesicular discontinua incluye arenas libres en superficie.
- Una costra estructural de tres micro-horizontes está constituida por una película plásmica de porosidad vesicular discontinua, por arenas finas blanqueadas y por arenas gruesas libres y/o de pequeñas gravillas en superficie.

Montículos de arena con yeso se constituyen bajo el viento de una mata o de un matorral.

Comparación de las características hidrodinámicas con el Sahel.

Las experimentaciones realizadas por Reyes-Gómez (1998) han permitido comparar los coeficientes de infiltración obtenidos en el Sahel (Cazenave y Valentin, 1989) con los de la parte baja o laguna de la cuenca de Las Palomas (Tabla 13), en cuanto a ciertas reorganizaciones superficiales comunes a ambas zonas de estudio.

Tabla 13. Comparación de los coeficientes de infiltración entre las costras encontradas en México y en el Sahel (Africa).

Toposecuencia→	**Playa alta**		**Duna yesosa**		**Playa baja**		**Sebkra**
Costras→ Coeficientes ↓	**ST 3**	**ERO**	**CG**	**DEC**	**DEC**	**DEC N.R.**	**CGS**
Ki Sahel	15-25	15-20	-	20-35	20-35	45-55	-
Ki Norte de México	21	16.3	70.6	28.3	34.2	44.7	65.3

Ki : coeficiente de infiltración en % sobre suelo seco; ST3 : costra estructural 3; ERO : costra de erosión; CG : costra gruesa yesosa; DEC : costra de decantación; DEC sobre un horizontes N.R : no organizado; CGS: costra salina de yeso.

Se puede observar que los coeficientes de infiltración son similares. En consecuencia, el método utilizado para caracterizar los estados de superficie es confiable para las zonas áridas y semiáridas en ambos continentes.

Geoquímica de los estados de superficie del suelo

El endorreísmo de las cuencas genera una fuerte salinidad y hace necesario el estudio geoquímico de las reorganizaciones superficiales. Éste se realiza de manera paralela y permite caracterizar las cualidades físico-químicas de las costras (Tabla 14) y la dinámica salina actual de la superficie.

En la playa y la sebkra de la reserva de la biosfera de Mapimí, los índices de las reorganizaciones varían mucho para los parámetros que expresan la salinidad, tales como la C.E., los iones sodio y cloruros. Los coeficientes de variación de estos parámetros son los más importantes y son muy superiores a los que se registran en los suelos. El pH es el parámetro más estable y parece estar regulado por la presencia de carbonatos de calcio, en la medida que el valor promedio es muy similar al valor de equilibrio durante la disolución con apertura sobre el CO_2 atmosférico.

Las cantidades de carbonatos disponibles durante la disolución se ven fuertemente limitadas por la saturación con respecto a la calcita, que se alcanza rápidamente. Los valores son por lo tanto relativamente estables. La humedad es muy baja y varía poco aun cuando se trate del fondo de la sebkra (máximo 13.5%). En el grupo de parámetros intermedios, se encuentran contenidos de yeso, así como contenidos de iones calcio, potasio y magnesio.

Tabla 14. Promedio, coeficiente de variación, mínima y máxima, de los análisis de las organizaciones superficiales en la playa y la sebkra de la Laguna de Las Palomas.

Valores estadísticos → Parámetros↓	**Media**	**C.V.**	**Máximo**	**Mínimo**
C.E.(µS.cm^{-1})	7 877	1.89	56 600	185
%55ºC	1.69	0.47	5.09	0.48
% 55ºC à 105ºC	4.14	0.74	13.46	1.44
% yeso estimado	15.6		50.85	5.40
PH	8.30	0.04	9.11	7.40
Na^+ (meq.l^{-1})	85.18	2.11	653.04	0.10
Cl^- (meq.l^{-1})	13.10	2.54	185.90	0.17
Ca^{2+}(meq.l^{-1})	14.18	1.26	80.61	0.68
HCO_3^- (meq.l^{-1})	1.60	0.44	3.37	0.11
Mg^{2+}(meq.l^{-1})	1.33	1.69	10.30	0.18
K^+(meq.l^{-1})	0.37	0.86	1.67	0.11

C.E.: conductividad eléctrica del extracto al 1:16 en µS.cm^{-1}. Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Cl^-, HCO_3^- contenidos en meq del extracto al 1:16 (multiplicados por 16 se estima el número de meq l^{-1} disponibles durante la disolución por kg de suelo seco). % 55ºC: contenido de agua ponderal del suelo a temperatura de 55ºC. %C a 105ºC: pérdida de agua ponderable del suelo entre 55ºC y 105ºC, reportado a 26.46%, da una estimación del contenido relativo de yeso. C.V. Coeficiente de variación.

Los límites de conductividad en función de los principales estados de superficie se muestran en la Tabla 15. Resumen los principales límites que la salinidad de superficie impone al medio. Se cuenta por lo tanto, para la playa y la sebkra de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, con un referencial capaz de permitir, sin medición, una primera estimación del orden de importancia de la conductividad del extracto 1:16, es decir una aproximación de la salinidad superficial del suelo.

La tabla da lugar a las observaciones siguientes: la aparición de costras salinas corresponde a la desagregación de las costras de decantación o estructural a través del desarrollo de los cristales de sal (16 910 µS cm^{-1}) y finalmente, las reorganizaciones superficiales son menos sensibles a la salinidad que la vegetación. Las especies vegetales presentan límites interesantes para la determinación de la salinidad.

Tabla 15. Límites impuestos por la salinidad a los diferentes estados de superficie dominantes de la playa y la sebkra de la Laguna de Las Palomas.

Escala de las conductividades del extracto 1:16 de la costra superficial. µS cm^{-1}	**Limites de presencia de los diferentes estados de superficie.**
185	La conductividad más baja del extracto 1:16º.
574	limite superior de *Hilaria Mutica*
2 070	limite superior de las Cactáceas
2 680	limite superior de *Sporobolus airoides*
2 930	limite superior de *Prosopis glandulosa*
13 550	limite superior de costras estructurales
16 910	Aparición de costras salinas
35 100	Límite superior de *Suaeda sp.*
	Límite superior de los polígonos y de las costras de decantación.
56 500	Conductividad más alta del extracto 1:16 (ausencia de vegetación)

Por ejemplo, *Hilaria sp*. está limitada a las conductividades inferiores a 574 μS cm^{-1}, en tanto que *Sporobolus sp.* es un poco más tolerante a la salinidad y *Suaeda sp.* está realmente adaptada a un alto índice de salinidad.

En lo que se refiere al pH, una escala puede igualmente ser establecida (Tabla 16), en donde *Hilaria* se distingue, como para la conductividad eléctrica, por una zona de pH muy restringida. Si ciertos pH parecen excluidos, para ciertos estados de superficie por el contrario un pH de equilibrio con la calcita y la atmósfera (8.25) es compatible con todos los estados de superficie.

Tabla 16. Límites impuestos por el pH sobre los estados de superficie dominantes de la laya y la sebkra de La Laguna de Las Palomas.

Escalas de pH	Limites de estados de superficie.
7.4	pH más bajo
7.7	Límite inferior en costras estructurales
7.9	Límite inferior en *Sporobolus sp.*
8.0	Límite inferior de *Prosopis* e *Hilaria*
8.8	Límite superior de *Hilaria sp.*
8.9	Límite superior para costras salinas
9.1	pH más alto

Hilaria mutica, principal gramínea utilizada por el ganado no se adapta a un medio en el que la concentración de yeso sobrepasa el 20% en superficie, pero por el contrario, un contenido medio de yeso de 15% es compatible con todos los estados de superficie dominantes (Tabla 17).

En conclusión, la geoquímica de los estados de superficie no está vinculada con los estados de superficie y traduce ciertas limitaciones del medio. La salinidad juega el papel más determinante, después del contenido en yeso y el pH. Sin embargo, de manera general, las costras superficiales son menos sensibles a las variaciones geoquímicas que las especies vegetales.

Tabla 17. Límites impuestos por el contenido de yeso a los estados de superficie dominantes de la playa y la sebkra de La Laguna de las Palomas.

Escala de los contenidos en yeso	Límites en los estados de superficie
5.4%	Contenido más bajo en yeso
19.8%	Límite superior para *Hilaria mutica*
26.5%	Límite superior en *Prosopis glandulosa*
33.8%	Límite superior para *Sporobolus sp* y costras estructurales
42.2%	Límite superior para costras salinas y de decantación
50.5%	Contenido más alto en yeso

Conclusiones

La fuerte salinidad y las escasas precipitaciones generan tres principales asociaciones de vegetación – reorganizaciones superficiales.

Superficie asociada a una costra de decantación dominante. Representada por vegetación halófita, con cobertura aérea superior a 40% (unidad nº 6 del mapa anexo). Las principales herbáceas son: *Hilaria mutica* (dominante), *Sporobolus airoides*, localmente existen las arbustivas: *Suaeda nigrescens* y *Suaeda suffrutescens, Prosopis glandulos.* Las arbustivas bajas predominates son*: Atriplex acanthocarpa*, *Atriplex canescens* (especie arbustiva forrajera), *Haplopappus heterophyllus*. El relieve y el microrrelieve son inducidos por la vegetación, pero su tamaño sigue siendo relativamente pequeño. Localizada en la playa baja, es la unidad más importante del medio, en donde las condiciones salino-sódicas y las características hidrodinámicas superficiales son similares. Estamos en presencia de una vegetación con distribución aleatoria obtenida por vía animal Beardsley (1992); Brown y Heske (1990); Hernández (1994), eólica y / o hídrica.

Superficie de costra de erosión eólica e hídrica, localmente con costra de decantación asociada a una vegetación dispuesta en manchones y montículos o en polígonos (unidad nº 5 del mapa). Las principales gramíneas son *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides*. Las arbustivas bajas son *Prosopis glandulosa* y *Suaeda nigrescens.* El relieve y el microrrelieve son marcados. Las manchas de vegetación están ubicadas en depresiones, lo que permite una acumulación de agua y limita la evaporación directa de la superficie y, por consiguiente, el ascenso de sales. La unidad se encuentra en zona de playa baja. En algunos sitios, la vegetación está distribuida en polígonos o en manchas y montículos, lo que refleja una adaptación importante al medio semiárido y salino-sódico. Estas distribuciones particulares son estudiadas en la parte correspondiente de este libro (Capítulos 4.2 y 4.3).

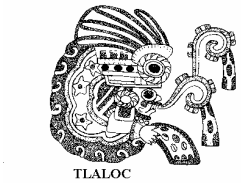
Superficie de microrrelieve pronunciado y con costra de decantación de inter-matas. Vegetación herbácea monoespecífica de cobertura aérea superior a 80% (unidad nº 13 del mapa). La vegetación está principalmente constituida por gramíneas: *Hilaria mutica* o *Sporobolus airoides*. El relieve y el microrrelieve son de 15 a 30 cm, debido a las matas. El agua de lluvia y de escurrimiento es fácilmente recolectable. Esta unidad se encuentra en el delta interior del río no permanente llamado Arroyo de la India, sobre el río arriba de la laguna de Las Palomas y sobre la depresión del río llamado La Vega. La vegetación se distribuye en función del grado de salinidad, formando praderas muy apreciadas por el ganado. Esta unidad se ve beneficiada por una sobrecarga hídrica vinculada con su posición geo-topográfica (en las cercanías de las depresiones y del río).

La parte baja de la cuenca de Las Palomas está compuesta por una playa semiárida cubierta por una estepa de vegetación halófita subinerme y con hojas frondosas. Los tipos de reorganizaciones superficiales son escasos y, por otra parte, las costras de erosión y de decantación dominan. Esta cuenca endorreica tiene una sebkra prácticamente denudada, en la que son mayoritarias las costras de eflorescencias salinas. Los bordes de dunas son ricos en costras salinas de yeso y las dunas son, a su vez, depósitos de arenas de yeso.

Dos interacciones muy particulares favorecen la vida en el seno de este medio vulnerable. Se trata de alternancias de zonas desnudas y manchas de vegetación asociadas con montículos de suelo y polígonos de vegetación. Estas dos adaptaciones tienen un principio de funcionamiento

idéntico a nivel de los estados de superficie. Una costra de erosión prácticamente impermeable permite la recepción y el flujo del agua de lluvia hacia zonas de acumulación de agua en donde se observa la concentración de vegetales y la actividad fáunica asociadas con costras de decantación ricas en partículas finas.

Finalmente, la comparación entre los estados de superficie encontrados y los que fueron estudiados en el Sahel permite concluir que la metodología utilizada para estas zonas semiáridas del Norte de México es confiable.



Hidrodinámica superficial de los suelos de playa.

Reyes Gómez V. M.

Introducción

Los suelos de playa se rigen por una dinámica superficial de agua muy particular que puede ser caracterizada fácilmente con la ayuda de un mini simulador de lluvia. El objetivo del presente trabajo es proponer un esquema del comportamiento hidrodinámico de los suelos de playas en relación con las reorganizaciones superficiales y la vegetación.

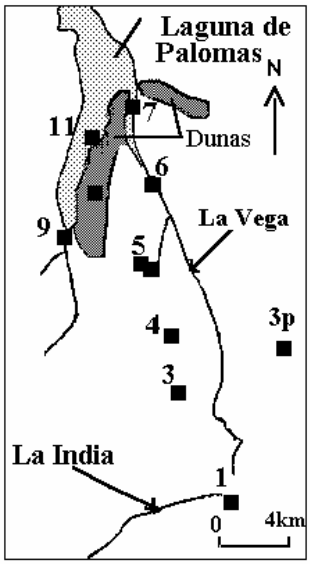


Figura 16. Localización de las parcelas de simulación de lluvia.

Los sitios de estudio seleccionados fueron las 11 estaciones que corresponden a las estaciones de referencia (Figura 16) señaladas sobre el mapa anexo. Los resultados adquiridos sobre las 11 estaciones complementan a aquellos obtenidos por Reyes Gómez (1995) sobre estaciones de bajada y de transición bajada-playa, esto para fines de comparación con los otros ecosistemas, permitiendo así establecer un esquema general de la repartición de parámetros de hidrodinámica.

Tomando en cuenta los métodos clásicos del seguimiento de eventos naturales, sobre cuencas y parcelas experimentales delimitadas, la mini simulación de lluvias presenta la ventaja de ser controlada por el experimentador sin depender de los eventos naturales de lluvia que son particularmente impredecibles en zonas áridas. De hecho, los eventos lluviosos más importantes corresponden a lluvias muy violentas, lo que provoca que el escurrimiento sea muy difícil de medir dentro del ecosistema playas, debido a las débiles pendientes. Además, la mini simulación de lluvia permite observaciones a escala del metro cuadrado, escala que va de acuerdo con la escala de la unidad elemental de estado de superficie del suelo, lo que no correspondería al caso de una parcela delimitada con un tamaño mayor.

La hidrodinámica del ecosistema de los manchones de vegetación es analizado en el capitulo correspondiente a esta formación particular (Cap. 4).

Antecedentes

La evolución de las técnicas de simulación de lluvias, desde los grandes equipos que funcionan con la ayuda de reservas de agua de 30 a 50 m^3 (Swanson, 1965; Roose, 1974; Collinet, 1979; Collinet 1988), hasta el mini-simulador que funciona con reservas móviles de 0.6 m^3 ha permitido entender mejor la relación que existe entre las organizaciones superficiales del suelo y el origen del escurrimiento (Asseline y Valentin, 1978, Cazenave y Valentin, 1989). La hidrodinámica de las partes elevadas de la reserva de la biosfera de Mapimí ha sido caracterizada por Viramontes (1991) mediante un seguimiento en parcelas de erosión y en pequeñas sub-cuencas. El autor observa al respecto infiltraciones que representan el 98% de las precipitaciones sobre los relieves volcánicos, mientras que sobre la zona de bajadas superiores la infiltración se reduce sensiblemente (79% a 57% de la altura de lluvias). Sobre las bajadas inferiores, donde dominan las formaciones vegetales de tipo *mogote*[17] Tarin (1992) determina la influencia de la vegetación sobre la infiltración y el escurrimiento. Utilizando la mini simulación de lluvia, él observa que en las zonas "desnudas" (*peladero*), la infiltración representa el 18% de la lluvia mientras que dentro de la zona de vegetación densa la infiltración es del orden del 82%. En las zonas de bajada inferior y de playa, Desconnets (1992) y Reyes-Gómez (1995) muestran que se requieren lluvias con una intensidad mínima de 10 mm h^{-1} para poder producir escurrimiento, y que para intensidades superiores a los 40 mm h^{-1}, más del 50% de la lluvia escurre. Finalmente, observando el efecto de la saturación de las capas superficiales del suelo, ellos determinan que sobre un suelo en estado húmedo, el escurrimiento se reduce hasta en un 25% para lluvias de intensidad inferior a los 15 mm h^{-1} y de en un 8% para intensidades superiores de 40 mm h^{-1}.

Método

Cuantificación de los estados de superficie en la playa

Para cada estación, a la escala de una hectárea, 1000 puntos de medidas fueron determinados según el método de cuadriculado sistemático, a fin de conocer la representatividad desde el punto de vista de los estados de superficie de la parcela de simulación. A esta escala, los estados de superficie más representados son las zonas de peladero, salvo en las estaciones 1, 9 y 5m donde la vegetación cubre superficies importantes (15-25%). En las zonas sin vegetación, dominan las organizaciones superficiales de tipo costras estructurales, de decantación con yeso consolidado y de costras salinas. En las zonas donde el escurrimiento es interrumpido, la costra de decantación domina. Sobre las dunas de yeso de la parte oriental de la laguna, la organización superficial más importante es una costra de yeso consolidado asociado a bioderma[18], mientras que dentro del cauce de arroyos intermitentes y la sebkra, domina una costra de decantación más o menos erosionada o asociada a sales que le dan un aspecto esponjoso.

Para cada estación, la parcela de 1 m^2, es descrita por 400 observaciones puntuales de los estados de superficie, lo que permite de apreciar las superficies relativas de los diferentes estados de superficie.

---

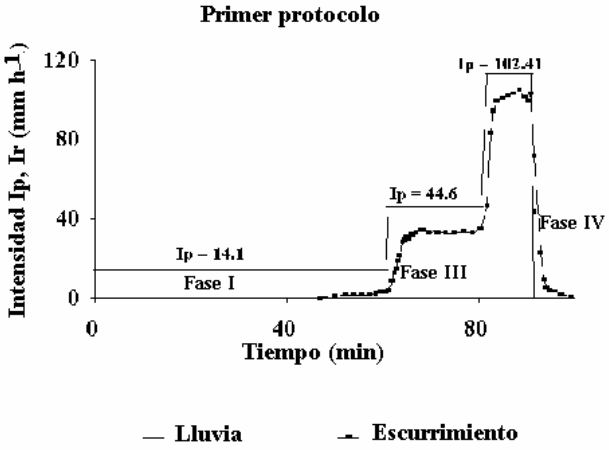
[17]Mogote es le nombre local para un elemento de arcos de vegetación "brousse tigrée"

[18] Complejo de algas (y a veces líquenes) asociado a la superficie del suelo (a granos de arena y arcilla).

☞ El levantamiento se hace por el método de punto cuadrante (una observación cada 5 cm) .

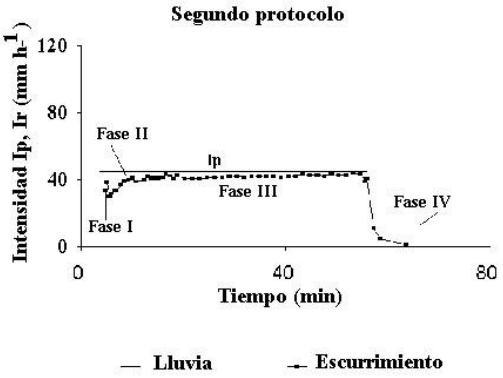
Mini simulación de lluvia.

Las lluvias fueron creadas por un mini simulador con aspersor, de tipo EID-330 Deltalab. Las parcelas de 1 m^2 están distribuidas en las estaciones experimentales de playa basándose sobre los datos de representatividad del estado de superficie. Dos tipos de lluvia experimentales fueron aplicados.



- El primer tipo consiste en una lluvia de 90 minutos a intensidades crecientes. Se aplica : durante 60 min. una intensidad 14 mm h^{-1}, luego durante 20 min. una intensidad de 44 mm h^{-1}, y al final durante los últimos 10 min. una intensidad de 100 mm h^{-1} (Figura 17).

Figura 17. Hidrograma del primer tipo de lluvia aplicado en cada parcela. Fases de escurrimiento.



- Durante el segundo experimento, se aplican intensidades de lluvia igual al doble de la media de las intensidades de infiltración obtenidas durante el primer experimento, dejando el tiempo necesario para tener 60 min. a régimen permanente (Figura 18).

Figura 18. Hidrograma del segundo tipo de lluvia aplicado en cada parcela. Fases de escurrimiento.

En general, la duración de las fases constantes de lluvia del primer experimento son suficientemente largas para que se instale el régimen permanente que permite caracterizar ciertos parámetros de hidrodinámica. Para el segundo caso, el régimen permanente se mantiene durante 60 min., tiempo que al principio estaba previsto para el estudio del balance salino para episodios

largos (ver Cap. 3), este tiempo es suficiente para la caracterización hidrodinámica. En conclusión, las fases necesarias en la caracterización hidrodinámica del suelo se lograron establecer para los dos tipos de lluvia (infiltración máxima o fase I, transición o fase II, régimen permanente de escurrimiento o fase III, de vaciado o fase IV).

Parámetros de hidrodinámica

Les variables medidas durante la experiencia fueron el volumen de escurrimiento y el tiempo. El régimen permanente se considera instalado una vez que 10 medidas consecutivas del volumen presentan variaciones inferiores al 12% de la lluvia. Los coeficientes de escurrimiento e infiltración están definidos como sigue :

$$L_i = Pu - L_r$$
$$Pu = I_p.Td$$
$$Pe = I_p.T2$$
$$Pi = Pu - P_e$$

$$K_i = \frac{L_i}{Pu}.100$$

$$K_{re} = \frac{[L_r + D_r]}{Pe}.100$$

$$K_{ru} = \frac{[L_r + D_r]}{Pu}.100$$

Donde Ki : coeficiente de infiltración (%); Kru: coeficiente de escurrimiento útil (%); Kre : coeficiente de escurrimiento eficaz (%); Li : lamina de agua infiltrada (mm); Lr : lamina de agua escurrida (mm); Ip : intensidad de lluvia (mm h^{-1}); Pu : lamina de lluvia aplicada (mm); Pe : lamina de lluvia eficaz (mm); Pi : lluvia de imbibición (mm); Dr : retención superficial recuperable (mm); Td : duración de la lluvia (h), T2 : duración de la fase de imbibición (h). El uso de Dr esta restringido a los casos donde la parcela representa un fuerte volumen de almacenamiento superficial lo que no fue requerio en las parcelas seleccionadas.

☞ Se recuerda que el método clásico para representar un diagrama X-Y de los puntos representativos de los valores formados por las intensidades de escurrimiento permanente y las intensidades de lluvia aplicadas durante la experimentación, difícilmente puede aplicarse en el marco del protocolo seleccionado para este estudio. Este método se ve limitado por la imposición del experimento sobre el balance salino superficial (ver Cap. 3) .

Para una parcela dada, no hay más que tres datos disponibles a régimen permanente de esta relación (reduciéndose a dos cuando la intensidad de infiltración rebasa el valor de la intensidad de lluvia del primer segmento) lo que hace muy impreciso el cálculo de los segmentos de rectas construidas con las parejas de valores. Por consecuencia la extrapolación en el valor de la intensidad de la lluvia que desencadena el escurrimiento es imposible así como la estimación de la pendiente de tal segmento de recta.

Resultados

Los estados de superficie de las parcelas.

Tanto los registros efectuados a escala de la parcela (1m²) (Figura 19), como aquellos efectuados sobre 1 hectárea muestran que el suelo desnudo domina sobre la cobertura de vegetación. No existe vegetación en las estaciones 11 (Sebkra), 5p (estación 5 sobre suelo desnudo) y 7, (lecho de la Vega). Las estaciones 1 y 9 (pastizal de *Sporobolus sp.*) presentan cubiertas vegetales de 21.5 y 32.8%.

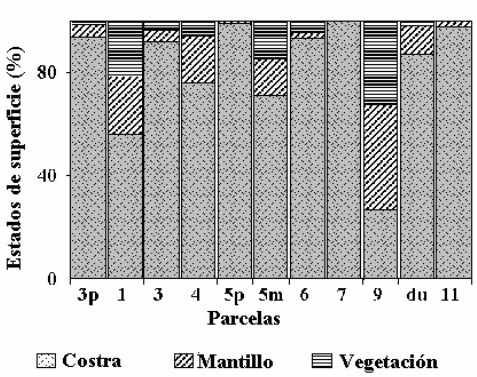


Figura 19. Importancia de los restos vegetales (mantillo) en los estados de superficie de las parcelas de simulación de lluvia. 1,2,3...numero de la parcela, 5p : estación 5, suelo desnudo, 5m : estación 5, manchas de vegetación.

Sobre la parcela 5m (estación 5, manchas de vegetación) la cobertura basal de vegetación es de 14.5%. Las parcelas 3, 4, 6, y du (dunas) presentan entre 1, 10 y 5.75% de cobertura vegetal.

Los restos vegetales (mantillo) de las parcelas 1 y 9 cubren 22.3 y 40.3% de la superficie del suelo, 10% en la parcela 4, 18% en la parcela 5m y menos del 5% en las parcelas 3, 6 y 3p (bajada inferior).

Las reorganizaciones superficiales encontradas en las parcelas (Figura 20) son de tipo decantación (**DEC**) en zona de pastizal, entre las matas de las parcelas 1, 5m y 9, en las zonas sin vegetación (desnudas) de las estaciones 6 y 7 donde la superficie es carcomida por la sal.

Las costras estructurales (**St**) se encuentran en las zonas de suelo desnudo de las parcelas 3p, 3, 4, y 5p.

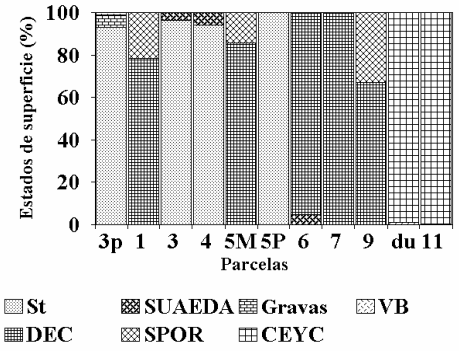


Figura 20. Organizaciones superficiales y cobertura vegetal en el suelo de las parcelas de simulación de lluvia. 1,2,3...número de la parcela, 5p : estación, suelo desnudo, 5m : estación 5, mancha de vegetación.

En la parcela 3 la costra estructural esta asociada a bioderma (50% de la superficie), de igual forma en las parcelas 4, 5m y 9 (10% de la superficie). Sobre las dunas las costras son de tipo yeso consolidado **(CEYC)** y el bioderma cubre el 83% de la parcela.

En la parcela 11, sobre la sebkra, las costras son de tipo salinas, y presentan yeso consolidado (25%) o sal asociada al yeso (75%). En la bajada (3p), debido a la proximidad con los relieves, las costras están asociadas con elementos gruesos (gravas).
Desde el punto de vista de la vegetación, las cubiertas basales dominantes están compuestas de *Sporobolus sp.* **(SPOR**) en las parcelas 1, 9 y 5m con recubrimientos del 21.5%, 14.25% y 37.75%. *Suaeda sp* **(SUAEDA)** está presente en las parcelas 3, 4 y 6 y cubre áreas relativas entre 3 y 7.5%.

Coeficientes de infiltración y de escurrimiento de las parcelas

Los resultados obtenidos se basan en los criterios de cálculos utilizados por Cazenave y Valentin (1989). En lo que concierne a la determinación del coeficiente de infiltración, a sido efectuado sobre un suelo inicialmente seco.

Primer experimento

Los coeficientes de infiltración determinados para cada una de las parcelas basándose en el primer experimento se indican en las Figura 21, 22 y 23. Las figuras muestran que en todas las estaciones se produce escurrimiento con lluvias de intensidad superior a los 44.56 mm h^{-1}, salvo sobre la parcela 9 donde, aún con intensidades de lluvia de 102 mm h^{-1}, ningún escurrimiento se produce. La parcela 9 es una zona de pastizal de *Sporobolus airoides*, cerca de la sebkra, donde la descripción del perfil del suelo revela numerosos frentes de desecamiento hasta los 40 cm de profundidad, lo que, adicionado al efecto de la importancia de la cobertura y del mantillo, favorece la infiltración cuando comienza la lluvia (las fisuras se cierran con la humectación).

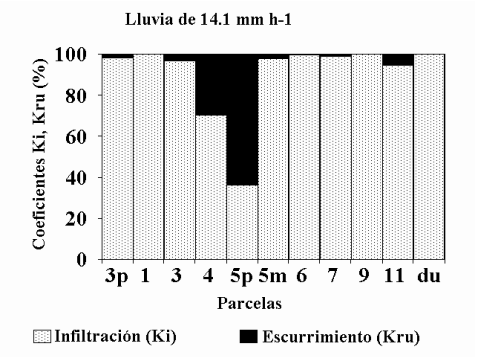


Figura 21. Coeficientes de infiltración y del escurrimiento de las parcelas. (Régimen permanente de la lluvia de 14.5 mm h^{-1}).

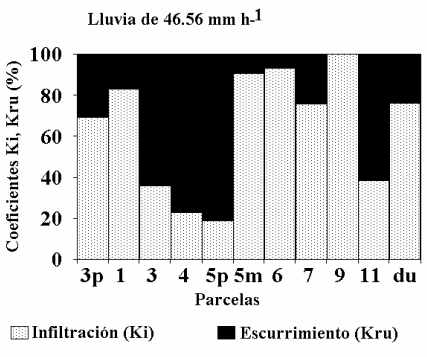


Figura 22. Coeficientes de infiltración y del escurrimiento de las parcelas (Régimen permanente de la lluvia de 44.5 mm h^{-1}).

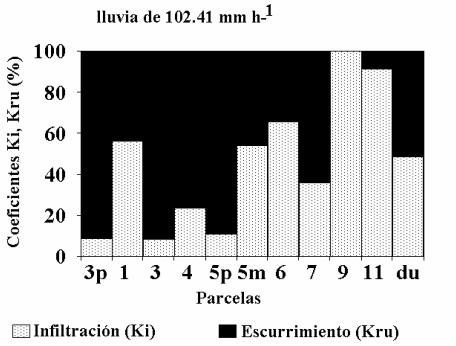


Figura 23. Coeficientes de infiltración y del escurrimiento de las parcelas (Régimen permanente de la lluvia de 102 mm h^{-1})

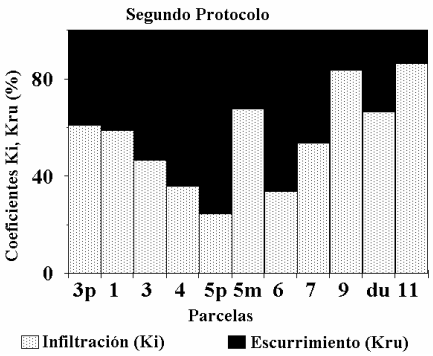


Figura 24. Coeficientes de infiltración y del escurrimiento de las parcelas (Segundo protocolo).

En las parcelas 1 (pastizal de *Sporobolus sp.*) y 6 (lecho del curso de agua intermitente), el escurrimiento aparece después de una hora de lluvia de intensidad de 14.4 mm h^{-1}. Este comportamiento hidrodinámico es muy próximo al de las parcelas 7, 5m, 3 y 3p; de la misma manera, sobre las parcela 4 y 5p como se ilustra en la Figura 24. A este nivel de análisis, las relaciones entre los estados de superficie y el comportamiento hidrodinámico pueden ser observadas.

Segundo experimento

La experimentación con intensidades constantes es realizada de tal manera que el régimen permanente se mantenga durante largos periodos de tiempo. La intensidad de lluvia fue fijada en función del primer protocolo. En estas condiciones (Figura 24), el suelo de la parcela 9 es el que obtiene las infiltraciones más importantes, seguido de las parcelas 1 y 5m debido a su cobertura relativa de vegetación. Sin embargo los resultados del segundo protocolo, no pueden ser comparados debido a que las intensidades de lluvia son diferentes entre parcelas.

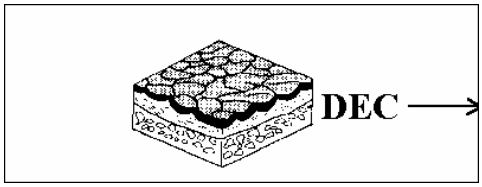
Comportamientos en función de los estados de superficie.

En los parágrafos siguientes, los estados de superficie dominantes en la playa son agrupados para intentar diferenciar sus aptitudes para la infiltración y al escurrimiento. Solo, el primer experimento es usado para caracterizar su comportamiento, debido que ese protocolo representa bien el tipo de lluvia mas común en la zona de estudio (Cap. 1).

Costras de decantación

Las costras de decantación son las costras con mayor distribución en la playa (ver articulo precedente). Las costras de este tipo se forman en las zonas de pastizal (entre las matas de vegetación), en las depresiones, los lechos del curso de agua y la sebkra. Estas costras presentan coeficientes de escurrimientos relativamente moderados, que incluso pueden ser nulos (como en la parcela 9), y no exceden nunca el 60% aún para intensidades de lluvia superiores a los 100 mm h^{-1}. Para intensidades del orden de los 14 mm h^{-1}, las parcelas no producen escurrimiento y el

total de lluvias produce un beneficio al suelo (Figura 25). En el lecho de ríos, en las cercanías de la sebkra, las costras de decantación, presentan una ligera variante debido a la fuerte salinidad. Cuando no hay vegetación ni mantillo la aptitud de infiltración es poca (Figura 26 y Figura 27) y, por consecuencia, se observa un escurrimiento más importante.



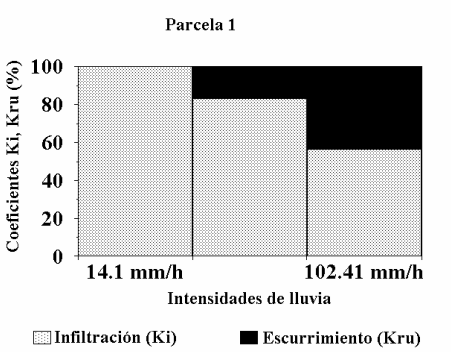


Figura 25. Coeficientes de infiltración y de escurrimiento de la parcela 1.

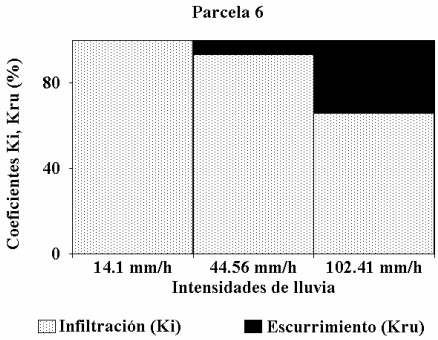


Figura 26. Coeficientes de infiltración y de escurrimiento de la parcela 6.

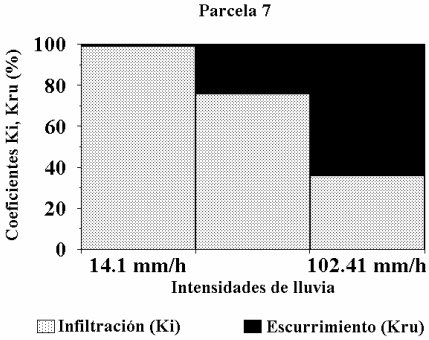
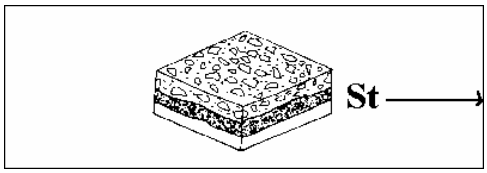


Figura 27. Coeficientes de infiltración y de escurrimiento de la parcela 7.

Costras estructurales

Este tipo de organización superficial se encuentra en las zonas desnudas de la playa alta, en las estaciones 3, 4, 5p, y en zona de bajada inferior (3p) (Figura 28 y 29). Las costras de estos sitios se distribuyen en las zonas muy planas (pendientes menores de 0.5%). Según Cazenave y Valentin (1989), las costras estructurales del Sahel pueden presentar coeficientes de infiltración del 44 al 55% sobre un suelo seco, pudiendo llegar justo al 70% cuando las costras se asocian a la vegetación. La hidrodinámica superficial obtenida para estas costras muestran que estas zonas son muy propicias a un fuerte escurrimiento acentuado por la intensidad de las precipitaciones. En el ejemplo de la Figura 28, un escurrimiento importante se observa a partir de las lluvias de baja intensidad, mientras que en la parcela 3, el escurrimiento representa menos del 2%. En

general los coeficientes de escurrimiento aumentan con la intensidad de lluvia, excepto en la parcela 4 (Figura 30).



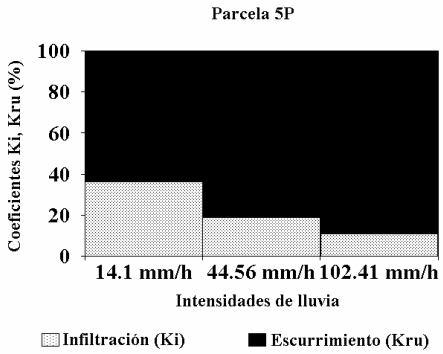


Figura 28. Coeficientes de infiltración y escurrimiento de la parcela 5p.

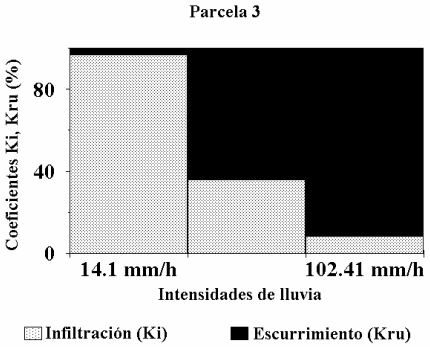


Figura 29. Coeficientes de infiltración y de escurrimiento de la parcela 3.

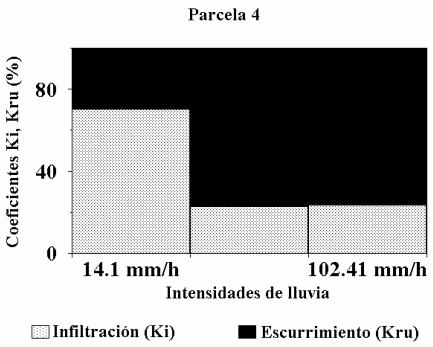


Figura 30. Coeficientes de infiltración y escurrimiento de la parcela 4.

Organizaciones superficiales yesosas (eólica consolidada y costras salinas).

Las superficies salinas de la parcela 11, presentan las características de un borde de sebkra, donde el yeso de ascenso capilar esta ligado a la sal (ver articulos precedentes del mismo capitulo). Este tipo de costras salinas reposan sobre depósitos lacustres y son disueltas con las primeras lluvias (ver Cap. 3). De hecho, las propiedades hidrodinámicas observadas corresponden a los microhorizontes subyacentes a partir de que la lluvia excede los 14 mm h^{-1}. Esto es similar para las costras de yeso eólico consolidado que se puede desagregar a intensidades superiores a los 40 mm h^{-1} que se prolongan por más de 30 minutos. La parcela 11 representa las aptitudes de infiltración del fondo de laguna. En esta zona (Figura 31), para lluvias de intensidad baja el coeficiente de infiltración es de 95%, mientras que para intensidades elevadas la infiltración se reduce más de un 50%.

Las costras de yeso eólico consolidado, se asocian frecuentemente a algas Cianoficeas (*Scycotenema sp.*) (Cazenave et Valentin ,1989). La asociación de estas algas con hongos

filamentosos (bioderma) dan a los suelos una capacidad menor de infiltración que en las dunas vivientes donde no existe este tipo de organismos (Rietveld, 1978; Cazenave y Valentin, 1989). En la zona de estudio, las algas cianoficeas son del genero *Lygbya*, *Microleus*, *Oscillaoria*, algunas *Crysophytes*, de los generos *Nitzohia*, *Cyclotella* y *Fragillaria*[19], y junto con el suelo estructural de dunas recubren los suelos regosoles calcáreos y los yermosoles (Breimer, 1988).

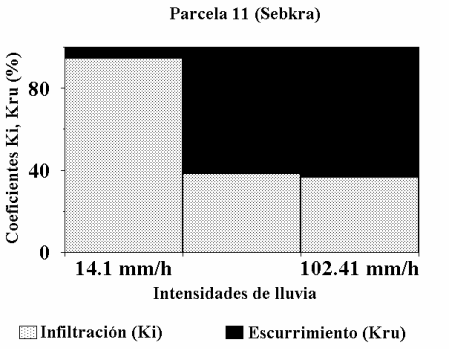


Figura 31. Coeficientes de infiltración y escurrimiento de la parcela 11.

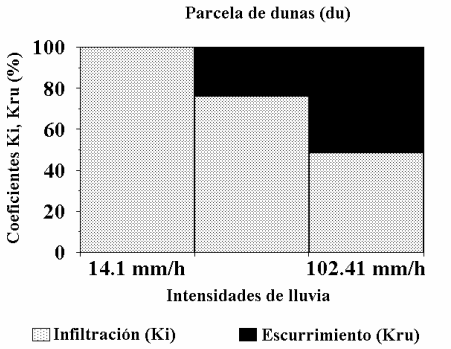


Figura 32. Coeficientes de infiltración y escurrimiento de la parcela sobre las dunas.

La infiltración sobre las dunas cuarzosas puede alcanzar el 100%, sin embargo en el cordón de dunas fósiles de yeso de la reserva de la biosfera, la infiltrabilidad se reduce conforme la intensidad de la lluvia aumenta (Figura 32). La hidrofobia de las costras de yeso se ve favorecida por la fuerte cobertura del bioderma (más del 40%). El hecho de haber retirado esta protección[20] permitió confirmar la existencia de este efecto de hidrofobia, observándose para el mismo protocolo, que el suelo aumenta su coeficiente de infiltración en un 20%.

Aptitudes hidrodinámicas de las unidades de paisajes de playas y de sebkras.

El cambio de escala del m^2 a la hectárea es difícilmente realizable, sin embargo, es posible de situar la parcelas en relación a su entorno. En la tabla siguiente, se presentan los principales estados de superficie de la hectárea y de la parcela así como los coeficientes de escurrimiento medios. Para las parcelas 3p, 1, 4, 5p, 7, 9, du y 11 las superficies relativas de vegetación se mostraron relativamente próximas, independientemente de la escala considerada. Al contrario para las parcelas 3, 5m, 6, grandes variaciones fueron observadas. Las aptitudes hidrodinámicas medias estan ligadas fácilmente a las organizaciones superficiales dominantes: las estaciones 3, 4, 5p tienen coeficientes de escurrimiento medios muy elevados, mientras que las estaciones 9, 1, 5m muestran las infiltraciones más importantes (Tabla 18).

[19]Las especies de algas fueron determinadas por Ma. del Rosario Góez Peralta de la Universidad de Michoacan de San Nicolas de Hidalgo y por Alejandrina G. Avila del laboratorio de fito Ecología de la UNAM.

[20]El tratamiento consiste en retirar, la costra del suelo, de tal manera que el suelo quede desprotegido de la costra asociada a la masa filamentosa de algas y hongos.

Tabla 18. Cobertura vegetal y del suelo desnudo medidos sobre las parcela y a la escala de la hectárea, características hidrodinámicas medias calculadas con base al primer protocolo.

Cubiertas → parcela↓	Reorgan. superficial	Cobertura vegetal (%)		Suelo desnudo (%)		Ki medio (%)	Kru medio (%)
		1 m^2	1 ha	1 m^2	1 ha		
3P (pel.)	ST	0.11	0.00	98.89	100.00	58.85	41.15
1	DEC	21.50	29.00	78.50	71.00	79.80	31.20
3 (pel.)	ST	3.50	14.20	96.50	85.80	47.11	52.89
4	ST	5.75	8.50	94.25	91.50	38.80	61.20
5P (pel.)	ST	0.00	5.54*	100.00	94.38*	21.86	78.14
5M (mancha)	DEC	14.50	62.50*	85.50	37.51*	80.91	19.09
6	DEC	4.50	15.47	95.50	84.52	86.11	13..89
7	DEC	0.00	2.80	100.00	97.20	70.21	29.79
9	DEC	32.75	45.77	67.25	54.23	100.00	0.00
11	CEYC-SAL	0.00	4.25	100.00	95.75	74.23	25.77
Du	CEYC	1.75	1.75	98.25	98.25	74.95	25.05

** Medidas efectuadas en periodos distintos. (Pel.) Peladero*

La Figura 33 muestra la distribución espacial de las características puntuales en la toposecuencia. Los sitios 3i, T y PO se sitúan en la bajada inferior y en la transición de la bajada en la parte oriental de la playa (Reyes-Gomez, 1995). De la estación 3p a la estación PO la infiltración decrece hasta alcanzar los valores mínimos en correspondencia con los valores encontrados en la parte oeste de la playa superior (estaciones 4 y 5p). Los coeficientes de infiltración de nuevo se muestran elevados en la sebkra y la duna en las zonas de los cauces (6 y 7) y las zonas con cubiertas vegetales importantes (1, 9 y 5m).

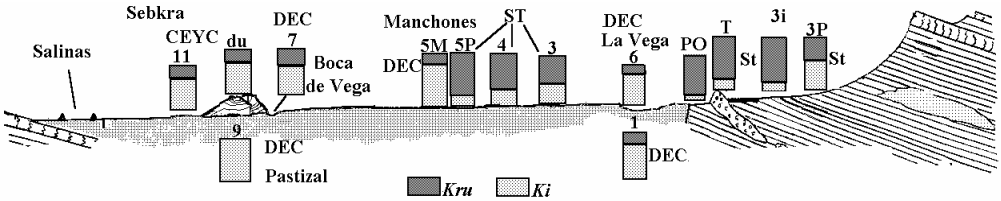


Figura 33. Repartición de los coeficientes de infiltración y de escurrimiento medios de las parcelas en el paisaje. Primer experimento.

Conclusiones

Las experiencias de lluvia simulada aplicadas permitieron caracterizar la hidrodinámica de los principales estados de superficie de playas y sebkras de la reserva dela biosfera de Mapimí. Es posible formar tres grupos con la ayuda de esta caracterización (Figura 34).

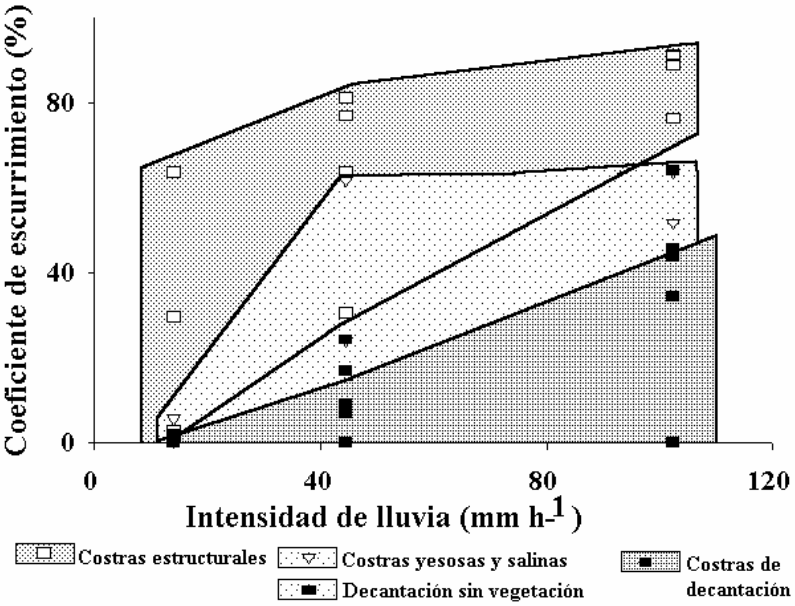


Figura 34. Comportamiento hidrodinámico de las estaciones basado en los periodos de régimen permanente de escurrimiento del primer experimento (coeficientes de escurrimiento en función de la intensidad de lluvia (mm h^{-1})).

- Las **costras de decantación** se desarrollan sobre pendientes débiles y en micro-depresiones (zonas de inter-mata en pastizales), así como en los lechos de ríos o de arroyos. La asociación de la vegetación con este tipo de costras produce un aumento en la infiltración, sobre todo donde el suelo tiene propiedades vérticas (9 y 5m). En las zonas de inundación frecuente, la costra es sometida a una destrucción parcial por la salinidad. En estos casos, la infiltración disminuye ligeramente.
- Las **costras estructurales** dominan en las zonas desnudas con un micro relieve débil y una pendiente casi nula (zonas de bajada y playa alta). Estos sitios corresponden a zonas de peladero de las estaciones 3, 4, 5 y 3p. Se trata de superficies expuestas a frecuentes escurrimientos que alimentan las zonas de depresión relativamente pobladas de vegetación. En la Figura 34 esta aptitud esta representada por los puntos situados en el polígono superior.
- Las **costras yesosas y salinas** están presentes en la sebkra y cubren el material eólico de las lunetas dunosas en el borde de la sebkra. Las costras salinas nacen a partir de los ascensos capilares de un acuífero salado que forma simultáneamente un precipitado de yeso y sal. Sobre las dunas una asociación de algas y de hongos confieren carcterísticas hidrofóbicas a las superficies yesosas que se diferencian netamente de las dunas cuarzosas mucho más aptas para la infiltración. El comportamiento hidrodinámico de estas costras es intermediario entre los dos primeros grupos.

Finalmente, considerando el comportamiento medio de las superficies, dos grupos pueden ser distinguidos por su coeficiente medio de escurrimiento calculado a partir de los dos experimentos de lluvia (Figura 35).

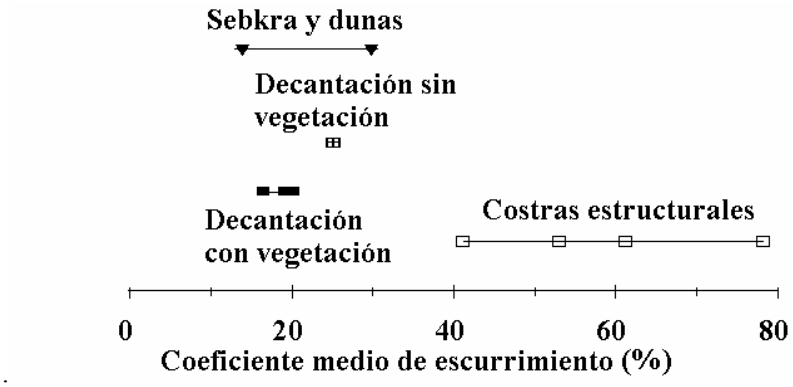
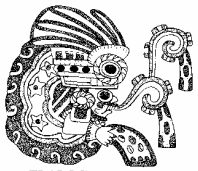


Figura 35. Coeficiente medio de escurrimiento basado en los dos protocolos.

- Los estados de superficie con un escurrimiento medio superior al 40%, corresponden a costras estructurales.
- Los estados de superficie con un escurrimiento medio inferior al 35%, corresponden a todas las otras superficies, siendo la sebkra donde se presenta el máximo de infiltración.



Leyenda del mapa de los estados de superficie 1 : 50 000

Janeau J.-L., Grünberger O.

Presentación del mapa de los estados de superficie

La asociación de los diferentes estados de superficie permite definir las unidades o superficies homogéneas representadas en el mapa anexo con escala 1: 50 000. Estas unidades permiten también localizar los sitios experimentales sobre los cuales se efectuaron los estudios integrados realizados entre 1990 y 1994.

Definición morfológica

Los diferentes gradientes altimétricos de una toposecuencia representativa fueron clasificados en función de la pendiente y del tipo de vegetación. Las unidades morfológicas utilizadas corresponden a las empleadas en el capítulo de la presentación de la reserva de la biosfera: sebkra, playa baja, playa alta, bajada inferior.

Método de realización

Los sitios de experimentación y diversos puntos de muestreo que permiten trazar los límites de las unidades han sido georeferenciados con la ayuda de un geoposicionador G.P.S. (*Global Position System)*. Las cartas fueron construidas con un tratamiento informático (Géoimage, Visu y Photo Touch), La correspondencia de la versión en español fue relizada en el Laboratotio de sistemas de información geográfica del CEISS (Digitalización, luego procesado con Arc Vieu). La digitalización y cartografía permitieron fusionar en un solo mapa todas las informaciones.

Unidades diferenciadas

Los puntos de observación están reagrupados con el fin de obtener 16 unidades cartográficas homogeneas clasificadas en función de la génesis del estado de superficie del suelo. Estas unidades fueron subdivididas en superficie elemental precizando el tipo de costra y la formación vegetal encontrada. La tasa de cobertura de vegetación es precizada en la mayoría de los casos salvo en aquellos ligados a la actividad antrópica.

Estados de superficie modificados por las actividades humanas

Unidad 1: superficie con alternacia de costra de erosión y de decantación, asociada a vegetación con disposición iducida por el hombre

La vegetación presenta una cobertura inferior al 20%, está compuesta de *Atriplex acanthocarpa* y de *Prosopis glandulosa*. Los suelos son de tipo Gypsisoles (SSS, 1994) en fase salina y sódica.

El relieve y el micro relieve fueron creados por los cultivos bajo irrigación o de manejo para pastoreo compuesto por una alternancia de zona de captación de lluvia sin vegetación, por fisuras y micro bordos perpendiculares al eje principal de la pendiente. Esta unidad se encuentra próxima a las explotaciones agrícolas, sobre bajadas poligénicas y en la playa baja.

Unidad 2: Superficie con costra de erosión dominante generada por una fuerte antropización y vegetación con cubierta inferior al 10%

La vegetación, cuando está presente, esta formada por algunas matas de *Hilaria mutica* y de *Atriplex acanthocarpa*, con algunas escasas leñosas. El suelo no está diferenciado y el relieve y el microrelieve fueron inducidos por el hombre (de diversas formas). Esta unidad se encuentra próxima a los caminos y brechas, corresponde también a las áreas de la vía férrea, de los pueblos y sobre las bajadas próximas a los relieves más importantes.

Estados de superficie con costra de erosión dominante

Unidad 3: Superficie con elementos gruesos dominantes y costra estructural asociada a vegetación frecuentemente espinosa con una cobertura inferior al 40%

La vegetación está compuesta de cactáceas, y de especies predominantes de *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata*, *Prosopis glandulosa*. Los suelos son Litosoles (SSS, 1994) y Regosoles calcáreos (SSS, 1994). El relieve y el microrelieve están marcados por una pendiente muy fuerte donde se presenta erosión linear que se origina en la zona de bajada superior. Esta unidad se encuentra en la zona de relieves, en la periferia de los conglomerados, y sobre los cerros y lomeríos donde yacen grandes rocas volcánicas.

Unidad 4: Superficie con costra de erosión hídrica y con costra estructural de tres micro-horizontes, asociada a una vegetación compuesta de leñosas bajas con coberturas inferiores al 40%

La vegetación presenta una dominancia de *Hilaria mutica* y muy localmente de *Sporobolus airoides*. El estrato arbustivo bajo esta compuesto de *Larrea tridentata*, *Prosopis glandulosa* y localmente de *Suaeda nigrescens*. Los suelos son Leptosoles y Regosoles calcáreos (SSS, 1994). Se trata de zonas con pendiente pronunciada, erosionadas por un escurrimiento jerarquizado. Esta unidad se presenta en las cercanías de los relieves, en la bajada inferior y el alto glacis.

Unidad 5 : Superficie con costra de erosión eólica e hídrica, localmente con costra de de decantación asociada a una vegetación dispuesta en manchas o polígonos

La vegetación esta dominada por las gramineas *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides,* así como las leñosas *Prosopis glandulosa* y *Suaeda nigrescens*. Los suelos son Gypsisoles (SSS, 1994) en fase salina y sódica. El microrelieve es muy importante, debido a la disposición de las manchas en depresiones lo que permite acumulo de agua y de limitar el asenso capilar. Esta unidad se encuentra en la playa baja.

Estados de superficie con costra dominante de decantación

Unidad 6: Superficie con costra dominante de decantación, con vegetación halófita con coberturas superiores al 40%

Las principales herbáceas son *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides* y localmente *Atriplex acanthocarpa*, *Haplopappus heterophyllus*. Las leñosas bajas estan representadas por *Suaeda nigrescens*, *Suaeda suffrutescens*, *Prosopis glandulosa* y *Atriplex canescens* (especie leñosa forrajera). Esta unidad esta asociada a Gypsisoles (SSS, 1994) en fase salina y sódica. El relieve y el microrelieve son originados por la presencia de vegetación, pero de una forma muy débil. Esta unidad se encuentra en la playa baja.

Unidad 7: Superficie con microrelieve de media amplitud, con costra de decantación en la zona de intermatas con vegetación de gramíneas halofitas con coberturas superiores al 80%

Zonas de vegetación dominada al interior por *Hilaria mutica* en asociación con *Sporobolus airoides* y *Prosopis glandulosa.* Los suelos son Fluvisoles calcáreos (SSS, 1994), Gypsisoles vérticos (SSS, 1994) en fase salina y sódica y localmente Solonchaks órticos y gléyicos (SSS, 1994). El micro relieve, de 5 a 10 cm esta inducido por las matas de vegetación. Lo que permite almacenar aguas de lluvia y de escurrimiento. Esta unidad esta localizada en la zona de playa alta, sobre los bordes de los ejes de escurrimiento.

Unidad 8: Superficie con microrelieve importante y con costra de decantación en intermatas con vegetación herbácea monoespecífica con coberturas superiores al 80%

La vegetación presenta una dominancia de *Sporobolus airoides* o a veces de *Hilaria mutica*. Los suelos son Fluvisoles calcáreos (SSS, 1994), Gypsisoles (SSS, 1994), localmente Solonchaks órticos (SSS, 1994) y Vertisoles crómicos (SSS, 1994). El mircorelieve, de 15 a 30 cm está inducido por las matas. Se produce un almacenamiento importante de agua de lluvia y de escurrimiento. Esta unidad se encuentra en el delta interior del curso de agua no permanente denominado Arroyo de la India, aguas arriba de la laguna de Las Palomas y en el fondo bajo del curso de agua denominado La Véga.

Unidad 9: Superficie con costra de decantación en fase de transformación en costra de erosión con vegetación herbácea

La vegetación se caracteriza por una dominancia de herbáceas como *Hilaria mutica*. También puede existir un estrato arbustivo de *Larrea tridentata*. Los suelos son Gypsisoles (SSS, 1994) en fase salina y sódica. El relieve presenta pendientes superiores al 2%. Esta unidad se encuentra en las bajadas próximas a los relieves (lomas) y lo alto de la playa y en las cercanías de las dunas.

Unidad 10: Superficie con costra de decantación en fase de transformación en costra de erosión con vegetación arbustiva dominante

La vegetación está representada por *Hilaria mutica* y el estrato arbustivo está dominado por *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata*. Los suelos son Regosoles calcáreos (SSS, 1994), en fase salina y sódica. El Relieve presenta pendientes superiores al 2%. Esta unidad se encuentra en las bajadas próximas a las lomas, o bien en la playa alta y proximidades a dunas.

Estados de superficie con alternancia costra de decantación - costra de erosión

Unidad 11: superficie con alternancia de costra dominante de erosión – costra de decantación, asociada a una vegetación degradada con una cobertura inferior a 20%

La vegetación asociada es de *Sporobolus airoides* e *Hilaria mutica*. También de *Prosopis glandulosa* y *Suaeda nigrescens*. Los suelos son Yermosoles háplicos (SSS, 1994) y lúvicos (SSS, 1994) (suelos en fase yérmica), Vertisoles crómicos (SSS, 1994), fase salina y sódica localmente Xerosoles (fase yérmica) (SSS, 1994). El relieve y el microrelieve está inducido por los escurrimientos jerarquizados. Esta unidad se localiza sobre las zonas de depósitos, sobre las microcuencas erosionadas y aguas arriba de los presones temporales de agua y de cárcavas.

Unidad 12: Superficie con costra de erosión, de escurrimiento y de depósitos con vegetación alta

La vegetación contituye una semi galería arbustiva con *Prosopis glandulosa*, *Panicum obtusum*, *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides*. Los suelos son Gypsisoles lúvicos y crómicos (SSS, 1994) y localmente Solonchaks órticos (SSS, 1994), en fase salina y sódica. El relieve y el microrelieve están marcados por una erosión linear de amplitud variable de 0.1 m a 2.5 m. Esta unidad se encuentra a lo largo de cursos no permanentes de agua, de cárcavas profundas y de depresiones topográficas (plano de agua natural temporal).

Estados de superficie influenciadas por el ascenso capilar del nivel freático.

Unidad 13: Superficie con costra de sal sin vegetación

La vegetación no existe, los suelos son Solonchaks órticos y gléyicos (SSS, 1994). El microrelieve esta dado por la desgacificación y la desecación que le confieren una amplitud variable. Esta unidad está restringida a la sebkra.

Unidad 14: Superficie con costar de yeso con cristales apaentes y una vegetación interna con cobertura inferior al 40%

La vegetación está represesntada por las especies de *Haplopappus heterophyllus*, *Allenrolfea occidentalis* y localmente por *Larrea tridentata*. Los suelos son Solonchaks órticos y gléyico (SSS, 1994), gyspisoles (SSS, 1994). El micro relieve es más o menos ondulado por la sumersión temporal que varía en función del llenado de la laguna. Esta unidad se encuentra en las zonas lacustres en las cercanías de las salinas.

Los estados de superficie sobre materiales eólicos

Unidad 15: Superficie con costra yesosa eólica con vegetación halófita y una cobertura inferior al 40%

La vegetación está representada por *Larrea tridentata*, *Haplopappus heterophyllus*, *Opuntia sp.* y *Yucca sp.*. Los suelos son del tipo Regosol calcáreos (SSS, 1994) y Gypsisoles en fase petrogypsica (SSS, 1994). El relieve y el microrelieve son inducidos por el viento dominante y

por la asociación de algas-hongos-suelo (término empleado como bioderma). Esta unidad se encuentra representada por las dunas de yeso arenoso situadas sobre los bordes de la laguna.

Unidad 16: Superficie con costra arenosa poligénica de origen eólico, vegetación con disposición aleatoria, esencialmente arbustiva con coberturas entre el 40 y el 50%

La vegetación está representada por un estarto arbustivo mixto de *Larrea tridentata*, *Prosopis glandulosa*, *Lycium berlandieri*, *Acacia greggii*, *Acacia constricta* y *Yucca elata*, con algunas especies escasas de gramíneas perennes, exceptuando a *Hilaria mutica*. Los suelos son Regosoles calcáreos (SSS, 1994) y Gypsisoles en fase petrogypsica (SSS, 1994). El relieve y el microrelieve están inducidos por los paleo vientos dominantes y la vegetación más o menos densa. Esta unidad es característica de la zona de dunas.

CAPITULO 3

GEOQUIMICA DE AGUAS EN LA PLAYA Y LA SEBKRA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMI

Huixtocihuatl diosa azteca de la sal

El segundo capítulo pone en evidencia la organización física de los suelos y de los estados de superficie a escala de la playa, así como su influencia en el balance hídrico. A esta organización corresponde una organización química de los contenidos de materias solubles de los suelos. Los desplazamientos de materias solubles se realizan esencialmente por vía acuosa y son resultado de los flujos hídricos que se producen sobre diferentes superficies. Para establecer el balance de materias disueltas, es preciso estudiar los contenidos de las lluvias, de las aguas de escurrimiento y de las aguas de infiltración dentro del suelo. Debido al carácter imprevisible de las lluvias es difícil recolectar muestras representativas procedentes de escurrimientos naturales. La simulación de lluvia con agua desmineralizada permite estudiar más finamente los mecanismos que intervienen en los primeros instantes de la obtención de carga mineral de las aguas de escurrimiento. Finalmente, el estudio de los contenidos químicos e isotópicos de los acuíferos de la zona permite establecer algunas conclusiones sobre la circulación de aguas subterráneas.

Los editores

Geoquímica de las lluvias, de las aguas de escurrimiento y de las aguas de infiltración de los suelos

Grunberger O., Janeau J.-L.

Aportes de elementos por las aguas de lluvias.

Las aguas de lluvia contienen una cierta cantidad de elementos mayores disueltos, que es preciso considerar en un balance geoquímico global. Los elementos provienen, ya sea de una lixiviación húmeda realizada dentro de la nube -fenómeno conocido como "rain out"-, de una lixiviación húmeda bajo la nube o "wash out" o, simplemente, del contacto con los depósitos sólidos en el pluviómetro (Junge, 1963). Según parece, en el caso que nos ocupa, la parte más importante de la mineralización se debe a ese contacto con los depósitos sólidos (polvos). Éstos dominan sobre la contribución de los aportes aéreos marinos (Meybeck, 1984), debido al carácter continental del sitio.

Tabla 19. Resultados estadísticos sobre la calidad de las lluvias durante el año 1991 (promedio, mínimo, máximo). Los promedios no contemplan la altura de lluvia.

Parámetros medidos sobre el agua de lluvia de las 10 estaciones (136 muestras)		Media	Mínimo	Máximo	Medias de las lluvias con menos carga química (13 muestras)
pH		4.55	2.83	7.16	5.10
Conductividad	($\mu S\ cm^{-1}$)	160.58	9.46	701.39	25.41
HCO_3^-	(meq l^{-1})	0.90	sd*	4.36	0.51
Cl^-	(meq l^{-1})	1.28	0.30	8.00	0.68
SO_4^{2-}	(meq l^{-1})	0.32	0.05	0.69	0.16
Ca^{2+}	(meq l^{-1})	0.94	0.08	4.72	0.63
Mg^{2+}	(meq l^{-1})	0.16	sd*	1.24	0.06
Na^+	(meq l^{-1})	0.44	sd*	4.35	0.09
K^+	(meq l^{-1})	0.06	sd*	0.99	0.03
SiO_2	(mg l^{-1})	3.01	sd*	31.53	1.62
Altura de agua colectada	(mm)	15.2	1.1	105.9	40.0
Temperatura del agua	(ºC)	38.8	16.5	61.0	36.4

sd = Por debajo del umbral de detección.*

Las características promedio indican (Tabla 19) un agua fuertemente mineralizada para un agua de lluvia. Los iones son, por orden de importancia: moles de iones cloruro, bicarbonato[21], calcio, sodio, sulfato, magnesio y potasio. El pH es ligeramente ácido, lo que es normal para un agua de lluvia. Si se compara este perfil con el 10% de las lluvias menos mineralizadas, observamos que el perfil químico es prácticamente el mismo, la predominancia de iones calcio y cloruro es aun más pronunciada y en promedio, el pH un poco menos ácido. La altura promedio de lluvia recolectada es superior, en un factor 2.6, lo que permite suponer que la contaminación química para los depósitos en el pluviómetro es sensible a la altura de agua recolectada. Esta hipótesis se ve reforzada por el aspecto del grupo de puntos, cuyas coordenadas son las alturas de agua y la conductividad eléctrica. De igual manera, la composición química del agua cambia ya que el contenido de cloruros es más importante que el de carbonatos para estos tipos de agua de lluvia particulares, sin embargo el ión Ca^{2+} sigue siendo el más importante.

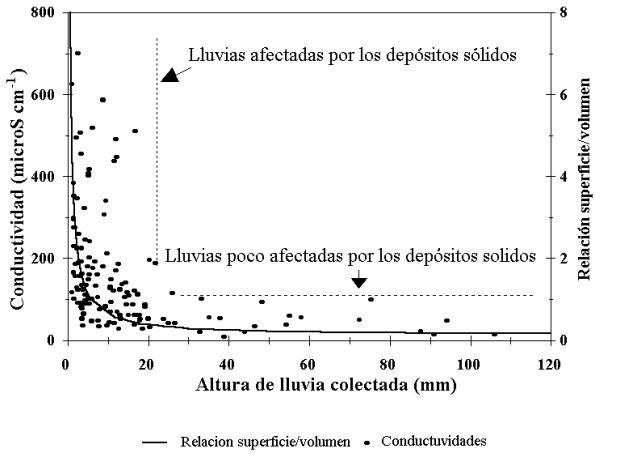


Figura 36. Relación entre la lámina de agua recolectada (mm), la conductividad eléctrica ($\mu S\ cm^{-1}$) de las aguas de lluvia y la relación superficie mojada / volumen de agua ($cm^2\ cm^{-3}$) para el tipo de pluviómetro utilizado en las diez estaciones. Resultados de diez estaciones de recolección en 1991. La recolección se hace por evento pluvial.

El análisis de la Figura 36 permite distinguir tres grupos de agua de lluvia:

- las lluvias, cuya calidad química se ve poco afectada por los depósitos sólidos que presentan alturas de agua de lluvia superiores a 20 mm;
- las lluvias afectadas por los depósitos sólidos, cuya conductividad es superior a 200 $\mu S\ cm^{-1}$ y la altura inferior a 20 mm;
- las lluvias inferiores a 20 mm y de conductividades inferiores a 200 $\mu S\ cm^{-1}$ constituyen un grupo mixto.

[21] o hidrogenocarbonatos.

El aspecto de la secuencia de puntos puede explicarse mediante la comparación con la relación entre la superficie mojada y el volumen ($cm^2\ cm^{-3}$) en función de la altura (mm) de lluvia en el pluviómetro. La evolución de esta relación, propia del pluviómetro utilizado, describe una curva que evoca la secuencia de puntos de la figura.
Al considerar que las lluvias, con excepción de las más fuertes, tienen cualidades químicas impuestas por los depósitos sólidos en el pluviómetro de 1380 cm^2. Es entonces posible calcular los aportes de elementos solubles mediante los depósitos sólidos por unidad de superficie.
Para cada elemento i y cada pluviómetro medido, se calcula la suma siguiente relacionada con el año 1991:

$$D_i = \sum_{j=inicio}^{j=1a} C_{ij} . P_j$$

donde:
D es la cantidad del elemento soluble i depositado, (meq $m^{-2}\ a^{-1}$),
j el dia de la colecta,
C es la concentración (meq l^{-1}),
P es la altura de lluvia medida después de la colecta (mm o l m^{-2})

Esta ecuación toma en cuenta la superficie del pluviómetro, lo que permite que sean trazados los diagramas de aportes de elementos por las lluvias (Figura 37, 38 y 39).

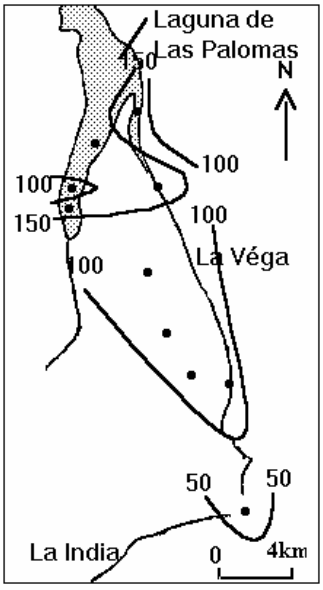


Figura 37. Diagrama de los aportes para 1991 en iones Ca^{2+} por los depósitos sólidos y las lluvias (meq $m^{-2}a^{-1}$).

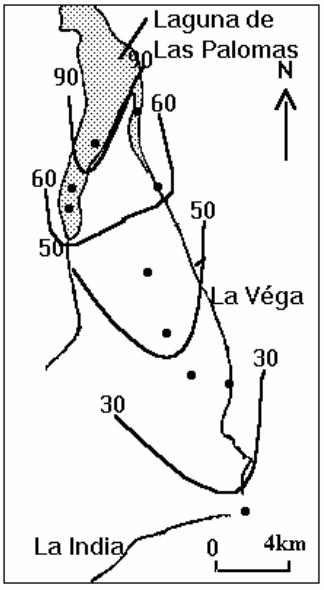


Figura 38. Diagrama de los aportes para 1991 en iones SO_4^{2-} por los depósitos sólidos y las lluvias (meq $m^{-2}\ a^{-1}$).

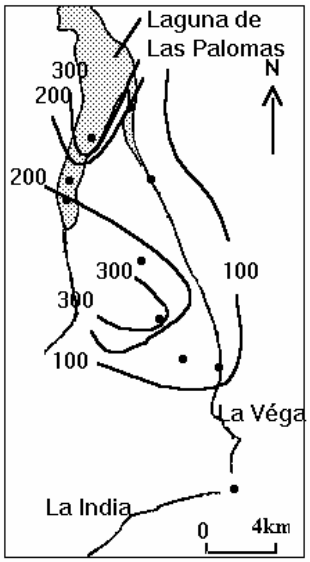


Figura 39. Diagrama de aportes de Cl^- para 1991 por los depósitos sólidos y las lluvias (meq m^{-2} a^{-1}).

Los diagramas anteriores revelan que los aportes de elementos son generalmente más importantes en las cercanías de la sebkra. Esta evolución muy clara para los iones Ca^{2+} y SO_4^{2-} es más complicada para los iones Cl^- en donde aparece una zona de aportes importantes en el centro de la playa y altera la forma general de las curvas. El decrecimiento de los contenidos, conforme se aleja uno de las zonas salinas en superficie, tiende a revelar que la distribución por el viento es, ante todo, local. Sin embargo, resulta difícil saber si la sebkra da origen a los flujos de materias solubles que se depositan en el conjunto de la playa, o si cada parte contribuye a los aportes, en función de su salinidad propia. Los depósitos están constituidos por una mezcla de materiales silíceos y carbonatados y de sales solubles probablemente similares a los elementos "locales" de los polvos saharianos (Coudé Gaussen, 1991).

Sin embargo, a diferencia del Sahara, ningún viento generalizado de arena se produce a pesar de la existencia de campos de dunas silíceas poco estabilizadas. Los aportes de elementos solubles por las lluvias y los depósitos sólidos son relativamente importantes en el lapso de un año y se observan para el año 1991 los valores promedio siguientes (Tabla 20).

Tabla 20. Promedio de los aportes de elementos solubles por las lluvias y los depósitos sólidos en meq m^{-2} $año^{-1}$ excepto SiO_2 (mmol m^{-2} a^{-1}).

HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	H^+	SiO_2
155.7	188.9	53.6	123.0	16.5	57.2	7.9	17.2	2.9

Estos valores no pueden considerarse en ningún caso, como representativos de un flujo que aporta elementos debido a que la parte generada por los depósitos sólidos es de origen local y proviene de la superficie del suelo cercano al pluviómetro. El pluviómetro captura, de manera definitiva, los depósitos sólidos destinados a ser redistribuidos posteriormente. Los valores observados son por lo tanto los de un flujo de redistribución.

Química de las aguas de escurrimiento

Las aguas de escurrimiento fueron recolectadas durante la estación de lluvias 1991, de manera simultánea con las aguas de precipitación. Los recolectores son botellas conectadas a un tubo fijado al nivel de la superficie del suelo. Las estaciones pueden ser agrupadas según varias unidades de paisaje. Playa alta (estaciones 1, 2, 3, 4) (Ver mapa anexo), playa baja (estaciones 5, 6, 9), sebkra (estaciones 11, 8, 7). Si se analiza la Tabla 21:

- en playa alta, las aguas están menos cargadas de compuestos disueltos. El orden de importancia de los aniones es: carbonatos, cloruros, sulfatos; y el orden de los cationes es: calcio, sodio, magnesio, potasio.
- en playa baja, las aguas están más cargadas y presentan un cambio de etapas. El orden de los aniones se transforma en: cloruros, carbonatos, sulfatos; el orden de los cationes en: sodio, magnesio, calcio, potasio.
- en la sebkra, la calidad de las aguas de escurrimiento es similar a la de las aguas recolectadas en la laguna, presentando una carga disuelta que aumenta, un factor 5.2, en relación con las aguas de la playa baja. El orden de importancia de los aniones es entonces: cloruros, sulfatos, carbonatos; y el de los cationes: sodio, calcio, magnesio, potasio.

El pH, los contenidos de iones carbonatos, de iones potasio y de sílice se mantienen sensiblemente constantes en las tres unidades de paisaje.

Los coeficientes de variación son, de manera generalizada, más importante en playa baja que en playa alta y que en la sebkra. La playa baja constituye por lo tanto un lugar de transición entre las dos extremidades, en donde las aguas de escurrimiento son: ya sea poco mineralizada (tipo playa alta), o fuertemente cargadas (tipo sebkra).

Tabla 21. Valores promedio y coeficientes de variación de los análisis efectuados en las aguas de escurrimiento de tres unidades de paisaje

Ubicación de las estaciones → (número de muestras)→		playa alta (10)		playa baja (60)		sebkra (34)		Agua de laguna (2)
Parámetros↓		Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	Media
pH		7.9	0.1	8.1	0.1	8.1	0.1	7.9
Conductividad	($\mu S\ cm^{-1}$)	454.2	0.5	661.1	1.0	3386.3	1.7	4275.5
CO_3^-	(meq l^{-1})	0.4	0.8	0.5	0.7	0.5	0.6	0.5
HCO_3^{2-}	(meq l^{-1})	2.6	0.4	3.7	1.3	2.7	0.6	2.2
Cl^-	(meq l^{-1})	2.7	1.1	16.9	3.6	60.0	2.9	69.7
SO_4^{2-}	(meq l^{-1})	0.7	0.7	1.7	2.3	5.2	1.4	5.1
Ca^{2+}	(meq l^{-1})	2.9	0.6	3.1	0.8	7.6	1.2	12.2
Mg^{2+}	(meq l^{-1})	0.8	0.7	6.4	4.2	3.4	2.0	1.5
Na^+	(meq l^{-1})	2.2	1.4	12.4	4.6	56.9	3.1	63.4
K^+	(meq l^{-1})	0.3	0.6	0.4	0.5	0.4	0.8	0.5
SiO_2	(mg l^{-1})	9.3	0.4	11.9	0.9	7.7	0.7	17.9
Temperatura	(ºC)	22.4	0.4	27.5	0.2	29.0	0.1	28.0

C.V. : Coeficiente de variación

La comparación de las características químicas de las aguas de escurrimiento de la sebkra y de las aguas de la laguna podría sugerir que son fruto de un escurrimiento local. Sin embargo, el contenido mucho más importante de sílice parece más bien revelar que se trata de una mezcla parcial con el acuífero salino y/o una cierta concentración por evaporación.
El conjunto de los análisis de las aguas superficiales fue sometido al programa WateqF (Plummer *et al.*, 1988; Plummer *et al.*, 1976) con el fin de calcular las actividades y los índices de saturación con respecto a los minerales más importantes. El programa tiene como principio el empleo de la concentración iónica de la salmuera analizada, el pH y la temperatura en el momento de la medición; la actividad iónica de la salmuera (basada en la ley de masas y su constante de reacción); y el correspondiente índice de saturación. El programa permite conocer los grados de saturación de la solución, para la mayoría de los minerales que se pueden formar (disolver o precipitar) con las especies iónicas presentes (Harvie *et al.*, 1984). La selección de cuáles minerales están presentes en la salmuera, es basada en el previo conocimiento de la existencia de ellos en el medio, por ejemplo para la playa, es muy conocida la presencia de sales como los carbonatos y los sulfatos (calcita y yeso respectivamente). De manera sistemática, los índices de saturación a considerar deben ser los de los minerales presentes en la zona de estudio.

Tabla 22. Valores promedio de los resultados del tratamiento WATEQF de los análisis realizados en las aguas de escurrimiento de tres unidades de paisaje.

Ubicación de las estaciones→ Resultados de los cálculos de equilibrio↓	playa alta	playa baja	sebkra	Agua de laguna	
act. H_2O	0.999	0.999	0.997	0.997	
fuerza Ionica	0.008	0.027	0.076	0.085	
log(pCO2)	-2.79	-2.95	-3.00	-2.95	
Indices de saturación para :					
Calcita	0.29	0.44	0.51	0.55	***
Aragonita	0.14	0.25	0.37	0.41	***
Dolomita	-0.11	0.30	0.29	0.32	***
gel de silicio	-0.84	-0.83	-0.99	-0.61	**
Yeso	-2.38	-2.49	-1.79	-1.15	**
Anhidrita	-2.60	-2.52	-1.98	-1.39	
Nahcolita	-5.10	-4.82	-4.36	-3.59	*
Halita	-7.52	-6.70	-5.73	-4.15	*
Mirabilita	-8.69	-7.98	-6.69	-4.55	
Tenardhita	-9.64	-8.86	-7.44	-5.55	
Natron	-9.70	-8.77	-8.05	-6.53	
Trona	-15.89	-14.28	-13.15	-11.32	

*** solución sobresaturada con elementos que forman el mineral en cuestión, ** solución proxima a la saturación, * mineral que solo puede ser preciptado cuando hay una fuerte concentración por evaporación.

Los resultados de la Tabla 22 revelan que para las aguas de escurrimiento, la actividad del agua sigue muy cercana a 1. La presión parcial en CO_2 disminuye de la playa alta hasta la sebkra, a la vez que sigue siendo superior a la presión parcial en CO_2 de la atmósfera ($10^{-3.5}$). Las aguas de escurrimiento están por lo tanto, parcialmente, en equilibrio con CO_2 biológico. La evolución de los valores promedio de la playa alta a la sebkra puede explicarse por el decrecimiento de la importancia de la cobertura vegetal en función de la topografía. Además, en la sebkra, el CO_2 tan sólo puede ser de origen microbiológico debido a que la vegetación es inexistente.

Las aguas de escurrimiento indican una sobresaturación constante con respecto a la calcita debido a la presencia importante de este mineral en todos los suelos, que son todos efervescentes al contacto con el ácido.
Las soluciones están por alcanzar la saturación de su contenido de gel de sílice, lo que resulta sorprendente debido al origen volcánico de los aluviones, sin excluir la intervención de diatomeas y de fitolitos.
Los índices de saturación, con respecto al yeso, aumentan al acercarse a la sebkra, lo que resulta normal tomando en cuenta el aumento de la presencia de este mineral en la superficie del suelo. Sin embargo, la saturación teórica no es alcanzada, probablemente debido a la cinética de la disolución durante el escurrimiento (Cap. 3.2). Con el fin de estudiar la influencia de la distancia a la laguna sobre la salinidad de las aguas de escurrimiento, a una escala más fina, es necesario distinguir las estaciones que no reciben un escurrimiento local (4, 9, 8 y 11) de las que están situadas en un eje de drenaje importante (La Vega) y que captan aguas procedentes de la cuenca vertiente general (1, 2, 6 y 7).
El reporte de los valores promedio, mínimos y máximos, de las conductividades observadas en cada estación, en función de la distancia a la sebkra, permite observar un comportamiento distinto de cada estación.

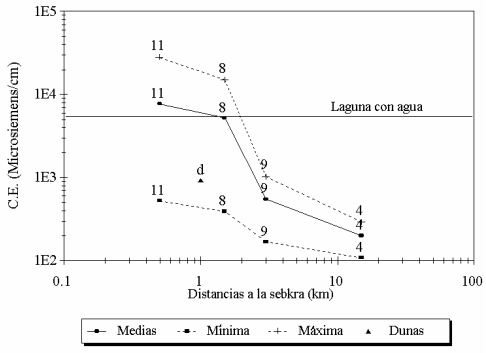


Figura 40. Evolución de las conductividades (C.E. µS cm^{-1}) de las aguas de escurrimiento de las estaciones de flujo local, en función de la distancia a la laguna.

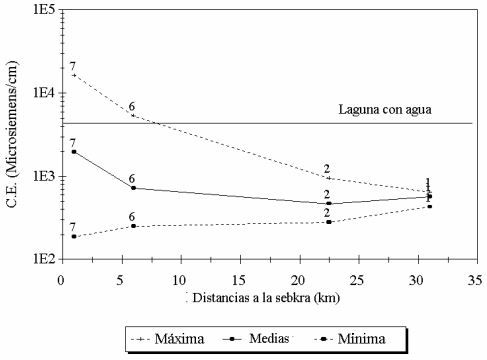


Figura 41. Evolución de las conductividades (C.E. µS cm^{-1}) de las aguas de escurrimiento de las estaciones de flujo jerarquizado (río La Vega), en función de la distancia a la laguna.

- Para las estaciones de flujo laminar (Figura 40), las conductividades mínimas y máximas decrecen en función de la distancia a la sebkra. Las desviaciones son más importantes en la medida en que la *Laguna* está más cerca. Los valores de concentración observados en las dunas de yeso son similares a los valores mínimos de las estaciones en las cercanías de la sebkra.
- Para las estaciones ubicadas en el lecho de La Vega (Figura 41), los valores mínimos aumentan en función de la distancia a la laguna. Esto indica que aportes de agua poco mineralizados se producen lateralmente. En cambio, los valores máximos son decrecientes, lo que indica que cuando el flujo es local, su salinidad aumenta en función de la distancia a la sebkra. A nivel de la estación 7, ubicada en la desembocadura a la

laguna, en una situación de flujo general de La Vega, llega a la laguna un agua escasamente mineralizada (menos de 200 µS cm^{-1}). La calidad del agua de la laguna es por lo tanto producto de la salinización de esta agua poco mineralizada.

En conclusión, la calidad de las aguas de escurrimiento es resultado de:

- un equilibrio con el CO_2 biogénico, así como con la calcita (y/o la dolomita) siempre presente en la superficie del suelo;
- del sílice y probablemente una parte difícil por estimar de hidrólisis, que provoca que las soluciones estén prácticamente saturadas con respecto de la sílice amorfa.
- la mineralización al contacto con yeso y halita, lo que genera la mayor parte de la mineralización de las aguas, cuya conductividad excede 800 µS cm^{-1} .

Química de aguas de infiltración del suelo

El agua en el suelo fue captada por tubos de PVC, instalados en cada estación, a diferentes profundidades. El agua recolectada por estos tubos es el agua gravitaria ya que, de ser posible, no se ejerce presión de extracción alguna. El agua es recolectada después de cada lluvia y, en caso de ser posible, se vacía el tubo.

- Se trata de agua de infiltración, cuando el horizonte particular se satura, o cuando se infiltra por gravedad en las fisuras del suelo.
- Por el contrario, cuando existe un acuífero poco profundo, si el nivel piezométrico alcanza el instrumento de muestreo, se trata del agua del acuífero.

Por otra parte, resulta a menudo difícil distinguir entre los dos tipos de agua que pueden mezclarse. Ciertas estaciones no presentan nunca un nivel acuífero inferior al metro. Son las estaciones 1, 2, 3, 4, 5 y 10, todas ubicadas en la playa alta, con excepción de la nº 5. De hecho, en estas estaciones, es relativamente raro recolectar agua mediante este sistema a profundidades superiores a 30 cm. Las estaciones 7, 8, 9 y 11 son estaciones cercanas a la sebkra y, debido a ello, se presenta con cierta frecuencia un nivel acuífero salino a una profundidad inferior al metro.

Características medias

Los resultados promedio de los análisis (Tabla 23) indican que la calidad de las aguas que circulan en el suelo depende en gran medida de la proximidad con la sebkra, es decir la presencia o no de un acuífero salino a profundidad.

- Las aguas de infiltración, aun cuando el suelo no está sometido a la influencia de un acuífero próximo a la superficie, están mucho más cargadas que las aguas de superficie de playa alta. Su calidad es similar a la de las aguas de escurrimiento de la sebkra, lo que demuestra un cierto nivel de disolución, debido al contacto con horizontes superficiales. La fase es clorurado-sódica; los iones son por orden de importancia para los aniones: Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3- y para los cationes Na^+, Ca^{++}, Mg^{++}, K^+. El pH sigue siendo del mismo orden que las aguas de superficie. Sin embargo, la cantidad de carbonatos es sensiblemente superior. De manera general, los coeficientes de variación son más importantes, lo que revela una mayor dispersión de los valores que en las aguas de escurrimiento.
- Las aguas de infiltración, cuando un acuífero salino está próximo a la superficie, adquieren su calidad por lixiviación de los productos de la concentración de las aguas del

acuífero en los horizontes superficiales. Las aguas están, en promedio, diez veces más cargadas. La carga disuelta aumenta principalmente por la halita, aun cuando se observe un incremento de los contenidos de iones Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, SO_4^{2-}. La cantidad de carbonatos es ligeramente inferior. Los coeficientes de variación son, en general, ligeramente inferiores.

- Las aguas del acuífero superficial salino representan el máximo de salinidad registrada de manera natural (con excepción del agua de las cuencas de las salinas). Se trata de un agua sumamente salina de tipo clorurado sódico. Un factor 52.8 separa las concentraciones de cloruros de las de sulfatos. Los contenidos de carbonatos son inferiores al igual que el pH. Los coeficientes de variación de todos los parámetros son mucho más bajos, lo que indica una buena homogeneidad en el seno del acuífero.

Tabla 23. Valores promedio y coeficientes de variación de los análisis efectuados en las aguas de infiltración y de acuífero. Tres situaciones: suelos sin manto freático, horizontes superficiales de suelos con manto freático salino, aguas de manto freático salino.

Situación →		Sin acuífero		Con acuífero próximo a la superficie			
Profundidades (cm)→		de 0 a 100		de 0 a 40		de 40 a 100	
Número de muestras→		51		85		94	
Resultados sobre: ↓		Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.
PH		8.00	0.1	8.05	0.1	7.61	0.0
Conductividad	($\mu S.cm^{-1}$)	7808.9	2.7	55804.1	1.2	142575.8	0.5
CO_3^-	($meq.l^{-1}$)	0.31	1.8	0.62	1.1	0.24	1.4
HCO_3^-	($meq.l^{-1}$)	4.28	0.9	4.05	0.6	2.58	0.5
Cl^-	($meq.l^{-1}$)	78.62	2.1	916.11	1.5	2450.58	0.7
SO_4^{2-}	($meq.l^{-1}$)	8.42	1.7	37.30	1.8	92.68	0.9
Ca^{2+}	($meq.l^{-1}$)	17.78	0.7	23.53	0.8	36.90	0.4
Mg^{2+}	($meq.l^{-1}$)	2.45	1.5	15.62	1.2	35.53	0.4
Na^+	($meq.l^{-1}$)	72.73	2.4	895.60	1.5	2419.43	0.7
K^+	($meq.l^{-1}$)	0.29	1.9	1.02	1.5	3.31	0.7
SiO_2	($mg.l^{-1}$)	15.04	0.4	16.08	1.3	15.06	0.5
Suma de iones	($meq.l^{-1}$)	181.87	1.9	1893.84	1.5	5041.25	0.7
temperatura	(ºC)	27.79	0.1	26.48	0.1	26.12	0.1

C.V. es el coeficiente de variación.

Los resultados señalados en la Tabla 24 son resultado del tratamiento con el programa WateqF de los valores de la tabla precedente. Dan lugar a las observaciones siguientes:

- En las aguas de infiltración del suelo en playa alta, la presión de CO_2 es la más alta debido a la actividad biológica y se aproxima a los valores promedio observados por los autores para los suelos de las regiones semiáridas (Demolon, 1960; Glinka, 1963; Rightmire, 1978). En la sebkra, las aguas presentan presiones equilibrantes inferiores debido a la ausencia de plantas y a la apertura del acuífero en la atmósfera. Las soluciones resultan sobresaturadas con respecto a la calcita y a la dolomita, en todos los casos presentados en las figuras; sin embargo, esta sobresaturación decrece en función de la salinidad.

- Las soluciones están cercanas a la saturación en relación con el yeso, desde los primeros horizontes del suelo. La saturación teórica tan sólo parece establecerse realmente en las aguas del acuífero. El incremento de concentraciones observadas entre las aguas de infiltración de playa alta y el acuífero no debe ser motivo de optimismo. De hecho, se trata de un efecto de la fuerza iónica de solución en la capacidad de disolución del yeso.
- La proximidad de la saturación de halita se establece para el acuífero salino. Sin embargo, una reducción de volumen del orden de un factor 2 es todavía necesaria para provocar la precipitación de NaCl.
- Los índices de saturación con respecto al sílice amorfa son cercanos a cero y se incrementan en el acuífero, lo que parece indicar que un efecto cinético da origen a las subsaturaciones observadas.
- Las concentraciones del acuífero indican que los sulfatos de sodio y los carbonatos de sodio tienen escasas probabilidades de encontrarse en el medio.

Tabla 24. Resultados del tratamiento WATEQF en los valores promedio de los análisis realizados en las aguas de infiltración y del acuífero. Existen tres situaciones: suelos sin manto freático, horizontes superficiales de suelos con manto freático salino, aguas de manto freático salino.

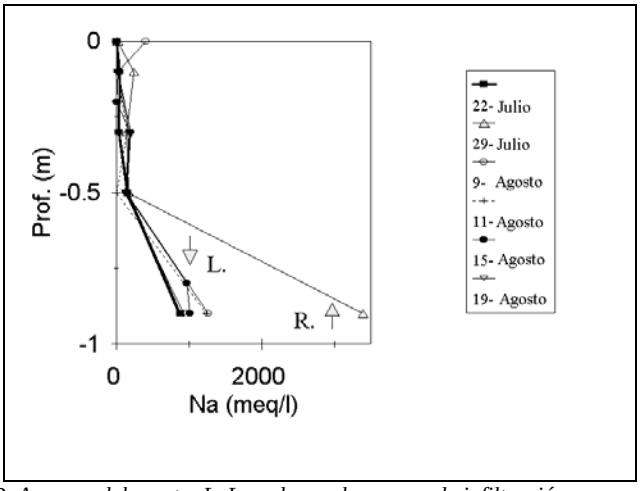
Ubicación de las colectas →	Sin acuífero	Acuífero próximo a la superficie	
Profundidades (cm)→ Medias ↓	de 0 a 100	de 0 a 40	de 40 a 100
Actividad del agua	1.00	0.97	0.90
Log de la presión parcial en CO_2	-2.67	-2.90	-2.90
Fuerza iónica	0.10	1.02	2.99
Indices de Saturación			
I.S. calcita	1.18	0.99	0.52
I.S. dolomita	1.68	2.04	1.33
I.S. yeso	-0.87	-0.76	-0.25
I.S. halita	-4.06	-2.00	-0.97
I.S. mirabilita	-4.48	-2.23	-1.20
I.S. nahcolita	-3.23	-2.32	-2.17
I.S. natron	-6.11	-4.18	-4.20
I.S. silice vidrio	-0.61	-0.42	-0.14
I.S. tenardita	-5.27	-2.94	-1.63
I.S. trona	-10.14	-7.31	-6.97

Evolución de las concentraciones en el tiempo

Debido al escaso número de muestras recolectadas para las estaciones de la playa, resulta difícil describir una evolución estacional de las calidades de las aguas. Por el contrario, en las estaciones de sebkra, la proximidad del acuífero y la facilidad con la que el agua se infiltra (ver Cap. 2), permitió la recolección de un gran número de muestras. Por ejemplo, para la estación nº 9 (Figura 42), la evolución de las concentraciones después de cada lluvia permite ilustrar un fenómeno de oscilación en los contenidos de las aguas del suelo.

El 22 de julio, se puede observar que el perfil es de lixiviación, en tanto que el 29 del mismo mes, probablemente debido a un aumento de volumen del acuífero, los contenidos de iones

Na^+ aumentan bruscamente en la parte baja del perfil. Del 9 al 19 de agosto, los valores decrecen hasta que el perfil retome los valores iniciales, por dilución y/o descenso del nivel piezométrico. El ejemplo pone en evidencia un medio muy contrastado en contenidos. En la parte alta de un acuífero muy salino se mantiene, en la franja 0-50 cm, un medio poco salino que propicia el desarrollo de una cobertura vegetal. El efecto de la estación de lluvias es paradójico debido a que contribuye a provocar el "aumento de volumen" del acuífero salino subyacente, pero produce asimismo un flujo de infiltración que limpia el perfil.



R. Ascenso del manto, L. Lavado por las aguas de infiltración

Figura 42. Ejemplo de evolución de los contenidos de iones Na^+ ($meq.l^{-1}$) de las aguas de infiltración y de acuífero en función de la profundidad y del tiempo para la estación nº 9. Principio de la estación de lluvias 1991.

Conclusiones

- Las aguas de lluvia presentan, en su origen, concentraciones muy bajas y un perfil clorurado cálcico. Sin embargo, desde su contacto con el pluviómetro y debido al polvo depositado en éste, se mineralizan ligeramente.
- Las aguas de escurrimiento adquieren una mineralización que depende del sitio considerado. En ausencia de minerales solubles de superficie (Playa alta), el agua obtiene un perfil carbonatado cálcico. En playa baja, en donde la salinidad en superficie es más elevada, el agua adquiere una fase clorurada sódica y carbonatada cálcica. En la sebkra, el agua adopta una fase clorurada sódica y sulfatada cálcica al contacto con las costras salinas.
- En lo que se refiere a las aguas en el suelo, la fase es clorurada sódica y sulfatada cálcica, desde los puntos menos salinos de la playa. El grado de concentración de la solución y su dominancia por el efecto del cloruro de sodio depende entonces de la proximidad con la sebkra, y de una eventual mezcla con el nivel del acuífero salino.

La mineralización es controlada por los factores siguientes:

- presencia constante de $CaCO_3$ y de material sílico-volcánico;

- presencia o ausencia de CO_2 biogénico;

- presencia más o menos demostrada de yeso;

- presencia más o menos demostrada de NaCl.

Es posible considerar que el efecto de las capacidades de intercambios iónicos de los minerales arcillosos del orden de 10-25 meq.$100g^{-1}$ (Delhoume, 1988) puede determinar, en parte, la calidad de las aguas menos cargadas de los suelos de playa alta. Sin embargo, estas aptitudes de intercambio no son capaces de explicar la calidad de las soluciones que circulan en el interior del suelo, en los demás casos.

Comentario [VRG1]:

Cinética de mineralización de las aguas de escurrimiento sobre suelo de playa y sebkra.

Reyes-Gómez V. M., Grünberger O.

Introducción

Aun cuando ciertos movimientos de sales solubles pueden ser atribuidos al transporte eólico, la dinámica salina se presenta esencialmente en fase líquida por la disolución de las sales y el transporte de solutos y depósitos por precipitación (o intercambio). En la Reserva, los suelos de playa favorecen más el escurrimiento que la infiltración, con una notable excepción: el fondo de la sebkra. Por consiguiente, los movimientos de sal, al igual que los movimientos de agua, se producen esencialmente de manera lateral en la playa (Cap. 2). Hasta ahora, la cinética de disolución de sales solubles no ha resultado suficientemente interesante para ser considerada en la obtención de la mineralización del agua al contacto de la superficie del suelo. Los autores tienen el hábito de razonar en función del equilibrio químico entre la fase líquida y la fase sólida. Sin embargo, cuando no existe saturación, como en el caso de las especies más solubles, o cuando la formación del mineral es muy lenta, los aspectos cinéticos son ciertamente dominantes. Las soluciones de escurrimientos naturales presentan sobre todo concentraciones que reflejan la disolución de NaCl, $CaSO_4$ y el equilibrio en relación con la calcita (Cap. precedente).
El objetivo de este estudio consiste en cuantificar la mineralización del agua al primer contacto con la superficie del suelo y poder hacer el seguimiento de los cambios en el transcurso de un evento pluvial.

Metodología

La utilización del minisimulador de lluvia nos pareció lógica en este marco, ya que presenta la ventaja de poder establecer, en el campo, la definición de un determinado tipo de lluvia, sobre una superficie dada de suelo. Las "aguas de lluvia" son obtenidas por desmineralización de agua de manantial con ayuda de resina catiónica y aniónica[22]. El agua obtenida por esta vía se mantuvo con una conductividad muy baja, inferior a 30 $\mu S\ cm^{-1}$ con un cierto contenido de silicio disuelto que las resinas intercambiadoras no lograron retener (Figura 43). Las metodologías fueron las mismas que se utilizaron anteriormente en la caracterización hidrodinámica (ver Cap. 2), sobre las parcelas de 1 m^2. El experimento A incluye intensidades crecientes por tiempos definidos (15, 40, 100 mm h^{-1}), en tanto que el experimento B describe un evento pluvial constante con escurrimiento constante.

[22]Se trata de un dispositivo concebido para esta experimentación, a base de dos columnas de PVC. Una contiene la resina catiónica con radical y la otra la resina aniónica. El dispositivo es capaz de desmineralizar 5 m^3 de agua de fuente con conductividad eléctrica de 650 $\mu S\ cm^{-1}$. El volumen corresponde a 8 lluvias de intensidad media.

La recolección se hace mediante muestreo en serie del agua de escurrimiento. Las muestras son filtradas y la temperatura, la conductividad y el pH son medidos en el campo. Los contenidos de iones HCO_3^- y Cl^-, así como las conductividades y el pH de todas las muestras, son medidos nuevamente en laboratorio. Se establece una evaluación de los contenidos de iones SO_4^{2-}, por comparación con la conductividad. De las 1500 muestras, 500 son seleccionadas para análisis de los iones Ca^{2+}, Mg^{2+},Na^+ y K^+. La selección se basa en criterios de discontinuidad de los parámetros medidos sobre todas las muestras. Las muestras que presentan cambios bruscos de contenidos, en función del tiempo, son sistemáticamente analizadas. En los casos analizados de forma completa se calculan índices de saturación de ciertos minerales, con ayuda del programa WATEQF (Harvie *et al.*, 1984).

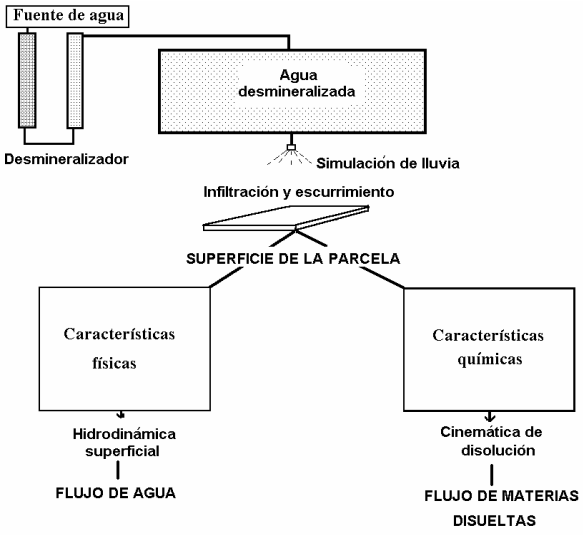


Figura 43. Esquema del principio de las caracterización hidrodinámica y química de la superficie del suelo.

Resultados y discusiones

Los resultados pueden ser examinados desde varios puntos de vista.

- Por una parte, debido a que el mismo protocolo de lluvia con límites de intensidad creciente es aplicado sobre todas las estaciones, pueden establecerse comparaciones con base a la calidad media de las aguas de escurrimiento de cada parcela. Asimismo, las cantidades de solutos que se escapan de la parcela por escurrimiento durante el evento de simulación, pueden ser consideradas como una característica de la parcela.

- Por otra parte, el análisis de las evoluciones de los parámetros químicos durante la lluvia permite distinguir los esquemas repetitivos del comportamiento de las parcelas.

Características medias de las aguas de escurrimiento.

Las aguas de escurrimiento generadas por simulación de lluvia con agua permutada presentan características muy similares a las de las aguas de escurrimiento recogidas en los colectores de lugares próximos a las parcelas de simulación. Sin embargo, es preciso recordar las diferencias notables que existen entre los dos métodos de muestreo. El colector de escurrimiento recupera aguas en un medio abierto. El escurrimiento proviene, por tanto, de una zona más amplia que el simple metro cuadrado de la parcela. El agua recuperada proviene principalmente de los primeros escurrimientos ya que, una vez llena la botella de recolección, el muestreo termina, en tanto que el escurrimiento puede continuar -contrariamente a lo que sucede en el protocolo de simulación- donde el total de los escurrimientos es considerado. Finalmente, las botellas de los colectores de escurrimientos permanecen algunos días en el terreno expuestas al calor, en tanto que los muestreos de aguas de escurrimiento por simulación de lluvia son almacenados en hieleras.

De una manera general, la mineralización global es inferior en el caso de la simulación de lluvia (Tabla 25). Las conductividades medias tienen valores de entre 187.5 y 1989.7 $\mu S\ cm^{-1}$. La estación 4 (peladero) constituye un contraejemplo, ya que la mineralización del escurrimiento es más importante bajo simulación de lluvia que en los colectores. Sin embargo, veremos que los contenidos de sal de la superficie del suelo son variables en esta estación (Cap. 4).

Tabla 25. Comparación, para algunas estaciones, entre la calidad media (ponderada por los volúmenes) de las aguas de escurrimiento obtenidas por simulación de lluvias durante el protocolo 1 y la calidad media de las soluciones captadas por los colectores de agua de escurrimiento para el año 1991.

Situación→		Vegetación		Peladero		Luneta yesosa		Fondo de sebkra		Desembocadura de La Vega	
Método→		Sim. 1	Col. 1	Sim. 4	Col. 4	Sim. Duna	Col. 11b	Sim. 11	Col. 8	Sim. 7	Col. 7
Estación→ Parámetros↓	unidad↓										
PH		**7.17**	**7.45**	7.71	8.11	8.30	7.71	8.07	7.86	**8.36**	**8.18**
Conductividad	$\mu S\ cm^{-1}$	187.5	568.3	300.9	198.6	**860.1**	**918.2**	1898.7	5184.7	528.8	1948.4
Ca^{++}	$meq\ l^{-1}$	1.18	4.65	**1.40**	**1.60**	7.08	**17.04**	**18.63**	6.78	2.06	5.44
Mg^{++}	$meq\ l^{-1}$	0.17	1.00	0.13	0.01	0.18	3.64	0.25	2.73	0.34	3.62
Na^{+}	$meq\ l^{-1}$	0.42	1.96	1.21	0.79	0.48	0.39	1.31	47.14	3.03	23.90
K^{+}	$meq\ l^{-1}$	0.13	0.54	**0.09**	**0.11**	0.19	0.30	0.16	0.53	**0.15**	**0.26**
Cl^{-}	$meq\ l^{-1}$	0.07	3.84	0.16	0.68	0.04	3.88	0.49	43.27	1.26	28.13
$HCO3^{-}$	$meq\ l^{-1}$	1.49	3.28	**1.39**	**1.96**	0.71	5.44	0.31	2.87	1.64	3.01
$SO4^{--}$	$meq\ l^{-1}$	0.47	1.02	1.56	0.34	8.14	12.05	19.54	11.49	3.59	2.08

Sim.: escurrimiento de simulación de lluvia. Col.: escurrimiento natural captado por colector. Los valores en negrillas corresponden a los contenidos de mismo orden de valor en los dos casos..

En el caso de las estaciones próximas de la laguna, (fondo de sebkra, desembocadura de La Vega y duna), el predominio de la disolución de yeso es observado en ambos casos. Las diferencias

más importantes corresponden a los contenidos de iones de Na^+ y de Cl^-, donde las aguas de los colectores presentan contenidos mucho más importantes.
Las concentraciones medias deben asimismo compararse con los valores obtenidos por lixiviación de las primeras muestras de suelo. La Tabla 26 ilustra esta comparación.

Tabla 26. Relación entre valores de los parámetros medidos en las aguas de escurrimiento de las parcelas de simulación de lluvia y los valores medidos en las aguas de lixiviación (1:16) de la superficie del suelo, (excepto los iones SO_4^{--} , meq l^{-1} por % de yeso del suelo).

Parámetros considerados → Características de parcelas ↓	Código ↓	pH	Cond	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}
Vegetación	1	0.86	1.32	1.13	1.34	*1.48*	*0.96*	0.13	**0.21**
Peladero	3	0.86	0.99	0.92	0.90	0.56	0.46	0.48	0.48
Peladero	4	**0.81**	*1.81*	*2.03*	1.21	1.11	0.60	**0.08**	1.35
Vegetación	5M	0.84	*1.74*	1.67	*1.62*	0.86	*0.86*	**0.07**	**0.41**
Peladero	5P	**0.75**	0.84	*2.70*	1.08	0.43	0.81	0.21	0.63
Lecho La Vega	6	0.82	1.22	1.88	*1.46*	0.51	0.83	*1.70*	*3.94*
Desemb. La Vega	7	0.94	**0.14**	**0.36**	0.82	**0.11**	**0.19**	*0.77*	1.36
Fondo de Sebkra	11	*1.02*	**0.37**	0.68	**0.34**	**0.04**	**0.45**	0.57	1.30
Luneta	Du	*1.09*	0.81	**0.66**	**0.02**	*1.40*	0.87	0.12	*3.38*
Media		0.89	1.03	1.34	0.98	0.72	0.67	0.77	1.45
Coeficiente de variación		0.12	0.52	0.55	0.51	0.69	0.36	1.75	0.87

Los valores en negritas son los menos importantes; los valores de relación en cursivas los más importantes.

Las relaciones medias oscilan entre 0.7 y 1.4 según los parámetros. La relación media para la conductividad es cercana a uno. Sin embargo, existen contrastes importantes entre las estaciones. La mineralización global de las aguas de escurrimiento de las estaciones afectadas por las sales es inferior a la de los extractos de lixiviación (1:16) del horizonte de superficie del suelo. Esa mineralización es, en compensación, igual o superior a la de los extractos de otras estaciones.

Las variaciones ínter estaciones se observan en los coeficientes de variación en la última línea de la Tabla 26. Los valores muestran que son menos importantes para las relaciones del K^+ y del pH y más importantes para las relaciones de SO_4^{2-} y Cl^-. Sin embargo, se observa una cierta homogeneidad de la dispersión de las relaciones para los coeficientes de variación calculados para las relaciones entre la conductividad y los cationes Ca^{++}, Mg^{++} y Na^+.
Las estaciones más próximas a la laguna (7, 11 y Du) son las que presentan las relaciones más débiles entre la conductividad y los cationes Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+ y el K^+ e inferiores a la media para el Cl^- y el SO_4^{--}.

Si bien es cierto que los contenidos de escurrimiento bajo simulación de lluvia no pueden ser fácilmente ligados ni a los contenidos de aguas de lixiviación de los suelos, ni a los contenidos de aguas de escurrimiento directo, las concentraciones de las aguas muestran, por su parte, una evolución muy clara en términos de la toposecuencia (Figura 44).

En las playas alta y baja, las aguas de escurrimiento obtenidas presentan contenidos relativamente importantes en iones HCO_3^- y Ca^{2+}, sobre todo en presencia de vegetación, en tanto que hay una importante presencia de iones SO_4^{2-} y Na^+ en el peladero. Los iones SO_4^{2-} y Ca^{2+} predominan ampliamente en las aguas de escurrimiento de la estación de la duneta y en menor medida en las del fondo de laguna. Los iones de Cl^- y Na^+ predominan en el lecho de La Vega. En el caso de una evolución tan marcada de las facies de aguas de escurrimiento, resulta normal tratar de vincular la importancia de los aportes en materias disueltas con la escala de la playa.

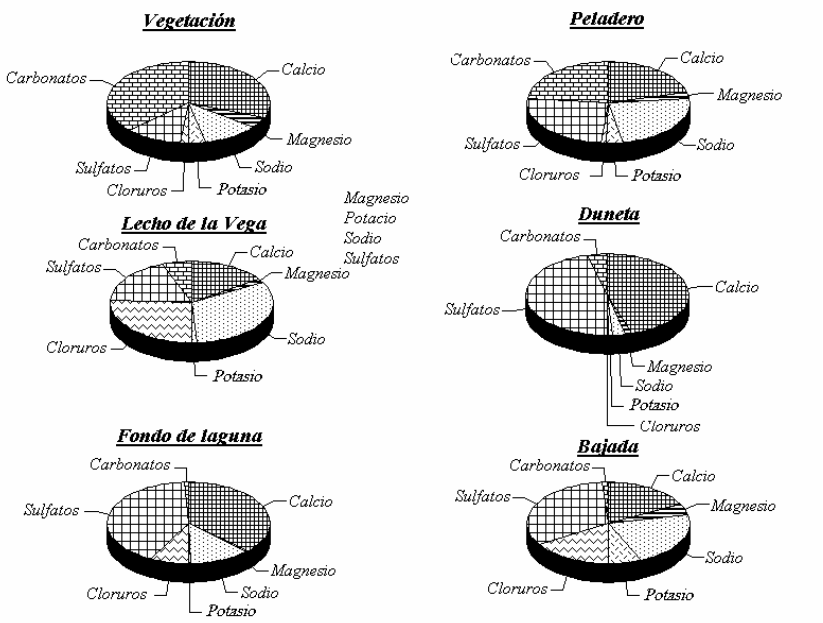


Figura 44. Distribuciones iónicas medias de las aguas de escurrimiento obtenidas por simulación de lluvia (experimento A), en función de las principales unidades geomorfológicas.

Geografía de los transportes iónicos.

Las cantidades de iones que se escapan de las parcelas durante la simulación son calculadas por la acumulación de los productos de los volúmenes de agua de escurrimiento por su concentración. Recordemos que este cálculo se efectuó únicamente en el experimento A, que es el mismo para todas las estaciones (Figura 45).

Carbonatos

La distribución de los balances en carbonatos para un mismo experimento (A) de lluvia es contrastada. Los balances bajos, inferiores a 15 meq, corresponden a las estaciones de playa alta, de bajada y a las estaciones de dunas y sebkras. Las estaciones intermedias (4, 5, 6 y 7) alcanzan balances muy elevados con un máximo de 61.5 meq para el peladero de la estación 5. Se puede afirmar que la distribución del flujo de carbonatos generados por lixiviación de la superficie del suelo está principalmente vinculada con las características de la hidrodinámica.

Cloruros

Los contenidos de cloruros imponen al balance una distribución igualmente contrastada. Resulta muy sorprendente que una superficie de bajada sobre lutita pueda estar asociada con un balance tan alto, en tanto que la laguna durante el mismo evento pluvial, arroja un balance de 4.7 meq. Los balances más altos corresponden a las estaciones 5 peladero y 4, donde las superficies -muy propicias al escurrimiento- están asociadas con fuertes contenidos de cloruros.

Sulfatos

Los balances de sulfatos muestran una distribución idéntica, en la que la bajada y las estaciones 3 y 4 arrojan balances más importantes que las estaciones 5m , 6 y 1. Por el contrario, los balances muy elevados de La Laguna y de las dunas revelan la importancia de la presencia de yeso en la superficie, en el balance de sulfatos.

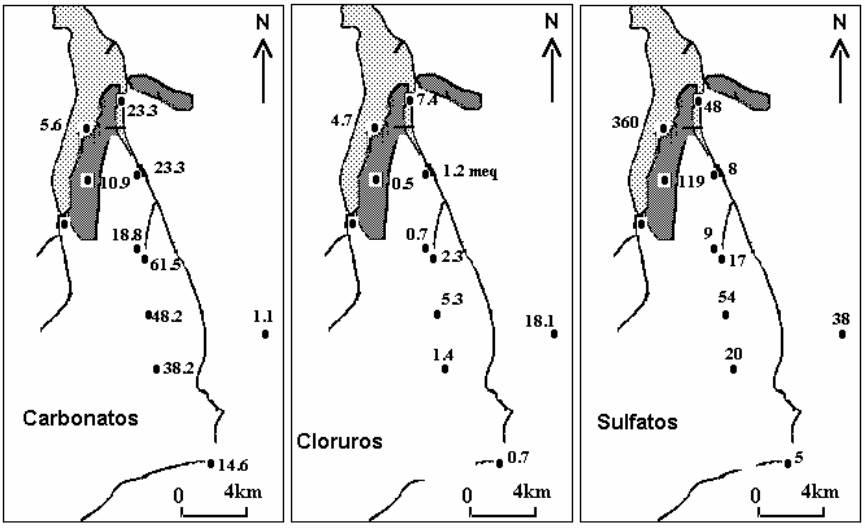


Figura 45. Distribuciones de los balances de carbonatos, cloruros y sulfatos para la playa de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (experimento A).

Evolución cualitativa de los contenidos iónicos en el escurrimiento.

Evolución de las conductividades eléctricas del agua de escurrimiento

La evolución durante la lluvia de la carga mineral disuelta de las aguas de escurrimiento se traduce por la evolución de las conductividades a lo largo de los dos experimentos de lluvia. En la Figura 46 y la Figura 47, las evoluciones de las conductividades de las aguas de escurrimiento son reportadas en función del tiempo para los dos protocolos que se aplicaron. De manera general, las conductividades disminuyen en el transcurso de la lluvia y tienden a estabilizarse, aun cuando esta estabilización se instala realmente en el segundo protocolo. En lo referente a la comparación entre los contenidos iniciales y los de ambos protocolos, en las estaciones 1 y 5M -que presentan vegetación- las conductividades iniciales del primer protocolo son inferiores a las conductividades iniciales del segundo protocolo, lo que corresponde a la actividad más importante de la vegetación debido al aporte de agua para las plantas en el primer protocolo[23]. Para las estaciones situadas sobre un peladero, con costras de erosión y estructurales, las conductividades iniciales son del mismo orden en ambos protocolos. El lavado no parece influir en los contenidos iónicos. Por el contrario, en lo que se refiere a las estaciones más « salinas », una gran diferencia de contenidos iniciales entre ambos protocolos pone en evidencia la disolución de una costra superficial que no se reconstituye entre los dos protocolos.
La evolución general de la carga salina de las aguas de escurrimiento es decreciente. Si bien es cierto que esta disminución es rápida en un primer tiempo, posteriormente se ve muy influenciada por las condiciones hidrodinámicas. Los cambios de intensidad de lluvia se reflejan de manera importante en la conductividad de las aguas.

- Intensidades más fuertes producen «descensos o brincos» en las cargas salinas de las aguas de escurrimiento de las parcelas 1, 3, 5m, 4 y Du. Este efecto no se pudo prácticamente apreciar en las estaciones 6, p3 y 7, debido sobre todo a que el régimen permanente de escurrimiento se observó sólo para el caso de la última intensidad de lluvia. Las estaciones 5P y 11 constituyen contraejemplos, ya que a pesar de presentar fases de escurrimiento muy claras, la conductividad no varía entre los 40 y los 100 $mm.h^{-1}$ de lluvia.

- Una situación muy paradójica se observa en la estación 4 durante el protocolo A. Las conductividades descienden durante la primera intensidad de lluvia, luego para las dos siguientes intensidades se comportan de manera “normal” durante, así como durante el protocolo B. Cabe señalar las fuertes variaciones de intensidad de lluvia que reflejan probablemente una inestabilidad causada por fenómenos erosivos.

- Las variaciones involuntarias de intensidad de escurrimiento provocadas por la bomba del simulador o por fenómenos caóticos de vaciado de las parcelas producen asimismo fuertes variaciones de conductividad que se observan fácilmente en las estaciones 7, P3, 6 y 3.

[23]Recordemos que pudo haber transcurrido más de un mes entre la aplicación de los dos protocolos.

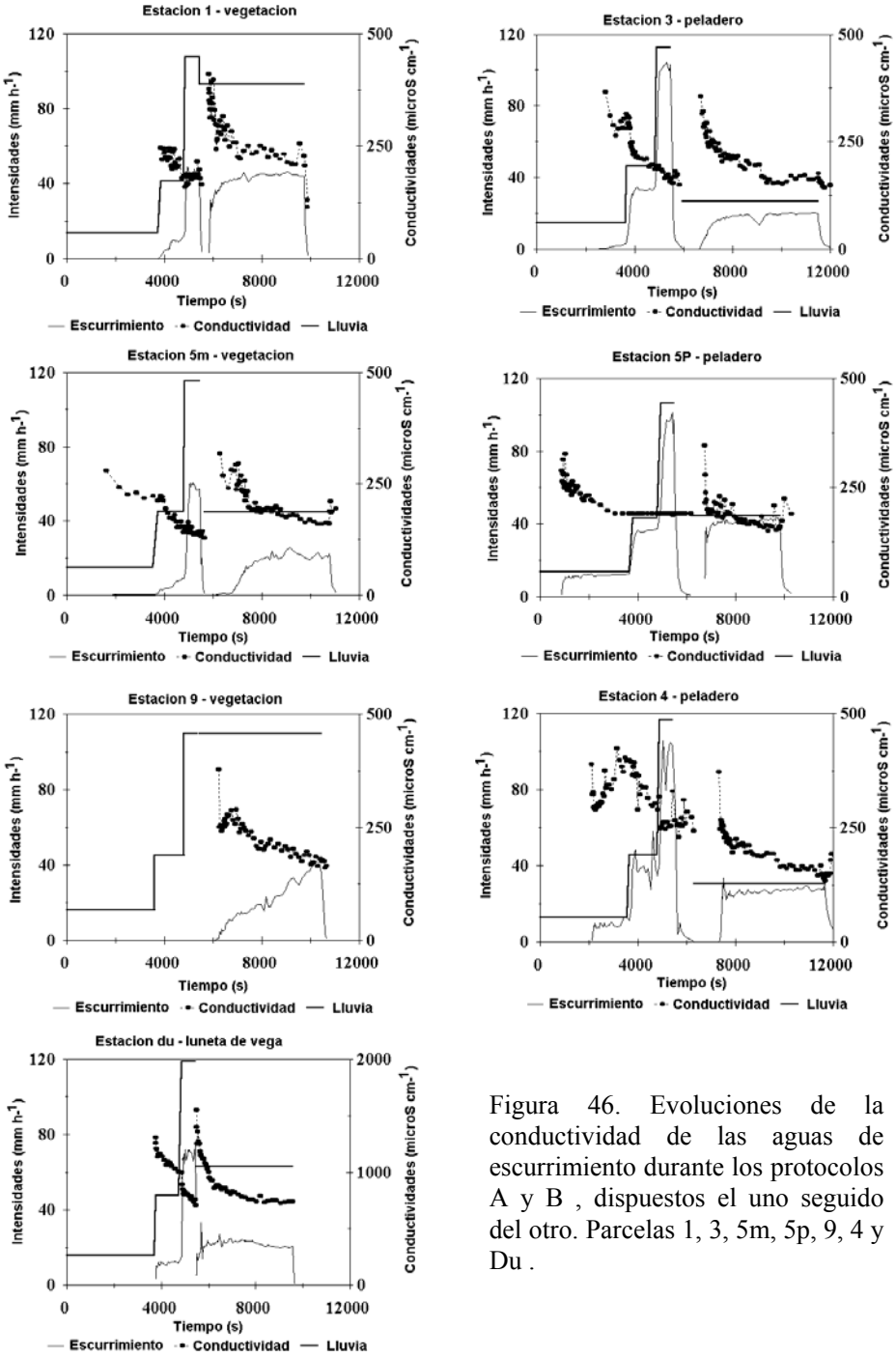


Figura 46. Evoluciones de la conductividad de las aguas de escurrimiento durante los protocolos A y B , dispuestos el uno seguido del otro. Parcelas 1, 3, 5m, 5p, 9, 4 y Du .

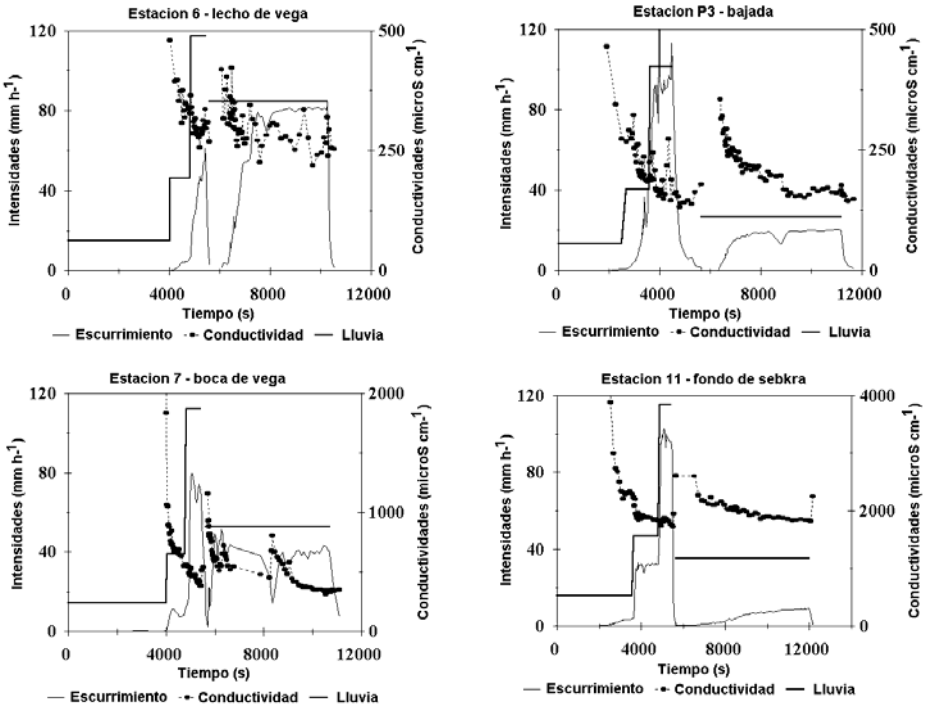


Figura 47. Evoluciones de la conductividad de las aguas de escurrimiento durante los protocolos A y B , implementados de manera sucesiva. Parcelas 6, P3, 7 y 11.

En conclusión, parece que las cargas salinas obedecen globalmente a leyes de "secado" de la superficie del suelo. Este "secado" interviene en función de la historia de la parcela y de la calidad de los primeros horizontes de superficie. Un régimen permanente de escurrimiento muy largo es necesario para obtener la estabilización de las conductividades de aguas de superficie durante el escurrimiento. Dicha estabilización es alcanzada únicamente en las estaciones 3, 5m, Du y 7; es por lo tanto poco probable en un contexto natural en el que los eventos de lluvia varían mucho en intensidad a las escalas de tiempo consideradas.

Al fenómeno general de disminución de cargas salinas durante un evento pluvial se aúnan probablemente los fenómenos más o menos caóticos, que son fácilmente atribuibles a las variaciones de cargas sólidas en el escurrimiento, debido a la discontinuidad en el flujo de aportes o a los procesos parciales de vaciado. Se admite que el minisimulador de lluvia no resulta útil para caracterizar la carga sólida de los escurrimientos, ya que las velocidades alcanzadas por éstos son menos importantes que en condiciones naturales, debido a la escasa distancia del recorrido. Sin embargo, en ciertos casos, las mediciones del peso del filtrado seco de las muestras permite confirmar la relación que existe entre carga sólida y carga disuelta para explicar las inestabilidades de la disminución. Desde el punto de vista del balance, el efecto de secado resulta insuficiente para impedir que las lluvias más fuertes produzcan un flujo superior

de productos disueltos. Las condiciones hidrodinámicas predominan claramente en el balance salino.

Evolución de los índices de saturación.

Los índices de saturación fueron calculados con ayuda de los contenidos iónicos y del programa WateqF. Los pares de valores formados por los índices de saturación, con relación a la halita, al yeso y a la calcita y de la lámina de agua de escurrimiento están reportados en la Figura 48.

Índice de saturación con relación a la halita.

Los índices de saturación de las estaciones 7 y 11 decrecen muy rápido en función de la lamina de escurrimiento, manteniéndose con valores inferiores a -8 a partir del primer mm de agua de escurrimiento. A pesar que estas dos estaciones presentan una costra salina de superficie, las aguas distan mucho de la saturación. Aparentemente, el lavado es sobre todo vertical. Las primeras aguas se infiltran y destruyen la costra. Los IS de las estaciones 6 y P3 son superiores a los de las demás estaciones.

Índice de saturación con relación al yeso.

Las estaciones 11 y duna presentan IS cercanos a la saturación, incluso ante fuertes intensidades o ante una disminución significativa de los IS observada para una lámina importante de escurrimiento. La parcela 7 presenta una curva decreciente mucho más acelerada. En en las estaciones 11, Du y 7, estos valores pueden ser vinculados con los índices de contenido de yeso estimados para los primeros 20 cm de suelo.

Las parcelas 1, 3, 9, 6 y P3 muestran comportamientos similares con IS que evolucionan entre -2 y -3. La parcela 5P presenta un comportamiento original alcanzando valores de IS inferiores a -4.

Índice de saturación con relación a la calcita.

Con excepción de la parcela de bajada (P3), las aguas de escurrimiento de todas las estaciones se acercan a la saturación de calcita, lo que corresponde perfectamente a la presencia evidente de este mineral en la superficie de los suelos de playa estudiada. Se distinguen fácilmente dos grupos de estaciones: 11, Du y 7, que revelan una sobresaturación de agua que tan sólo disminuye cuando se registran valores de escurrimiento superiores a 5 mm.

La parcela 9 es una estación que presenta el mismo comportamiento frente a valores más cercanos al equilibrio de saturación. En general, los trazos de las curvas de las parcelas 6, 3, 1, 5m y 5p se confunden con los valores de bajo decrecimiento siempre con IS superiores a -1.

En conclusión, aun cuando la mayor parte de la mineralización de las aguas proviene de la disolución de tres minerales, casi siempre presentes en los suelos, la saturación tan sólo se alcanza para la calcita y el yeso. A medida que el escurrimiento se intensifica, las aguas se alejan de la saturación, siguiendo una tendencia aparentemente lineal vinculada con el logaritmo del volumen de escurrimiento.

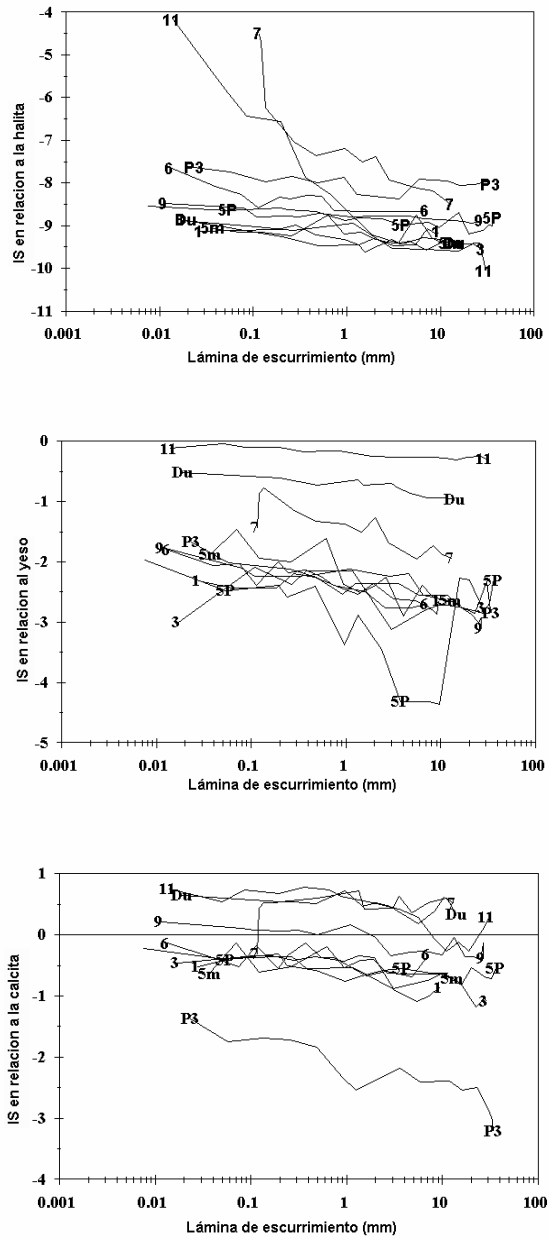


Figura 48. Evoluciones de los índices de saturación con relación a la halita, al yeso y a la calcita, en función de la lámina de escurrimiento en todas las parcelas para el protocolo A (con excepción de la estación 9, protocolo B).

Conclusiones

El estudio permitió cuantificar el balance superficial en función de los estados de superficie y de su posición dentro de la toposecuencia. Este artículo no pretendía llevar a cabo la modelización del comportamiento iónico del escurrimiento. Los datos confirman una organización del balance superficial siguiendo una toposecuencia en función de los diferentes estados de superficie. Las características hidrodinámicas predominan ampliamente sobre las características químicas de las superficies de las parcelas imponiendo flujos relativamente elevados de materias disueltas.

A escala anual, estos flujos podrían ser del mismo orden que los flujos de redistribución de iones de carbonatos y de sulfatos observados durante las lluvias. Por el contrario, en el caso de los iones cloruros, el flujo anual en las precipitaciones y los depósitos sólidos, es mucho más importante que el observado por simulación de lluvia durante un evento (Cap. 3.1). Paradójicamente, la solubilidad elevada de las sales de cloruros provoca que la mayoría de las materias disueltas procedentes de la costra salina formen parte de la infiltración que antecede a la fase de escurrimiento**.** La "movilidad iónica" de superficie no es únicamente producto de las características minerales de las fases cristalinas asociadas con los iones. Constituye asimismo un rasgo edafológico, que debe agregarse a las características hidrodinámicas del primer horizonte del suelo, en confrontación con los patrones de las lluvias locales.

Paradójicamente también, los iones cloruros son poco móviles lateralmente. Su lixiviación natural se produce de manera horizontal, en presencia de un acuífero o de una nueva costra de superficie. Por el contrario, la movilidad de los iones carbonatos y sulfatos se concretiza fácilmente por flujos horizontales ya que la cinemática de disolución más lenta permite la instalación del régimen permanente de escurrimiento. Estas constataciones son esenciales para comprender los gradientes iónicos que se observan en el capítulo 4 y la lógica que prevalece en la formación de los acuíferos (Cap 3.3).

Estudio geoquímico e isotópico de los acuíferos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí

Brouste L., Marlin C.

Introducción

La utilización de métodos geoquímicos clásicos (estudio de los elementos mayores) aunada a las técnicas isotópicas (^{18}O, ^{2}H) permite determinar el modo de mineralización y el origen de las aguas. Si los elementos disueltos en el agua son generalmente el reflejo de los minerales preexistentes en la roca receptora, los contenidos del isótopo pesado del agua (^{18}O, ^{2}H) son testigos directos de su historia térmica (condición de condensación a partir del vapor atmosférico) y de diferentes procesos de cambios de fase que esta agua ha podido registrar, tales como la evaporación, y que generan fragmentaciones isotópicas. El objetivo de este estudio consiste en determinar los sentidos de circulación y los procesos evolutivos de la mineralización, desde el aporte atmosférico inicial en la zona de recarga a la mineralización final en la playa y la sebkra de la Laguna Palomas. Además, gracias al método del carbono 14, asociado con carbono 13, es posible, mediante los modelos geoquímicos, proponer una estimación del tiempo de permanencia de las aguas en el acuífero.

Piezometría

En el mapa de la Figura 49 aparecen los 38 pozos objeto de mediciones, como consecuencia de la campaña de muestreo, realizada en febrero de 1993. En esa ocasión, se efectuó un diagrama piezométrico de los acuíferos de superficie, para el conjunto de la reserva de Mapimí (Brouste, 1993). El escaso número de pozos en la parte noreste de la zona genera dudas con respecto al trazo de las curvas piezométricas. Sin embargo, en las zonas en donde existe una red de mediciones de cierta importancia, las direcciones de los flujos realizan un trayecto lógico en relación con la topografía. Esta relación aparece en la transversal AB de las zonas de recarga (cerros), hacia las salinas de Carrillo (playa de la Laguna Palomas) y la transversal CD que atraviesa la Reserva de oeste a este (Figura 50). Los gradientes hidráulicos evolucionan de 4.5º/$_{\infty}$, en las partes altas de la zona de estudio, a 8.0º/$_{\infty}$, en las partes bajas. La profundidad del manto cambia de una decena de metros en los cerros a menos de un metro en la sebkra, en donde se produce una intensa evaporación del manto que se traduce por costras de sal. La descarga principal del manto parece efectuarse en mayor parte en el corazón de la sebkra de la laguna de Las Palomas, por evaporación (zona de depresión piezométrica), pero también, en menor grado, por influencia antrópica bajo el efecto de bombeos esencialmente domésticos.

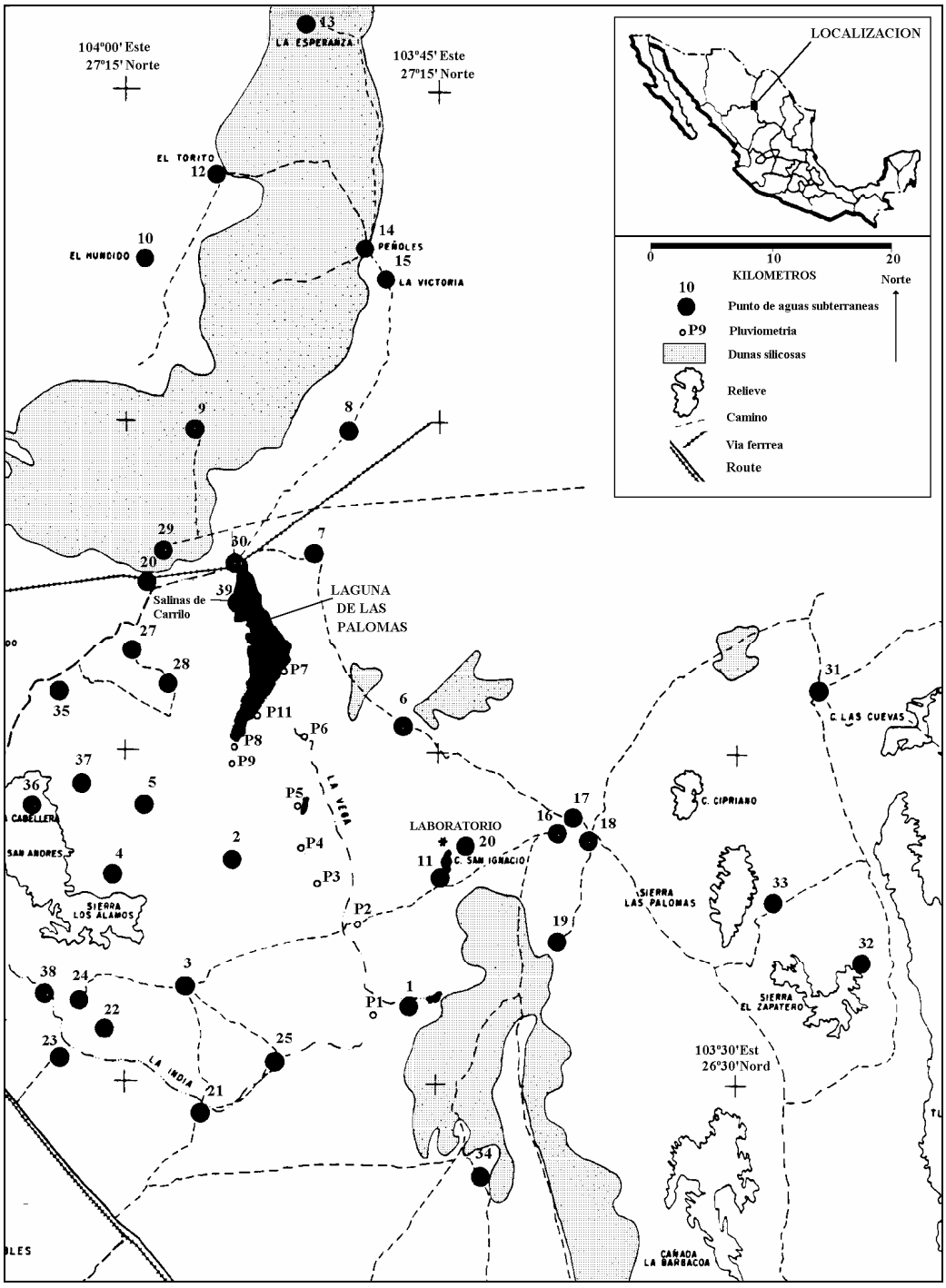


Figura 49**.** Situación de los pozos estudiados.

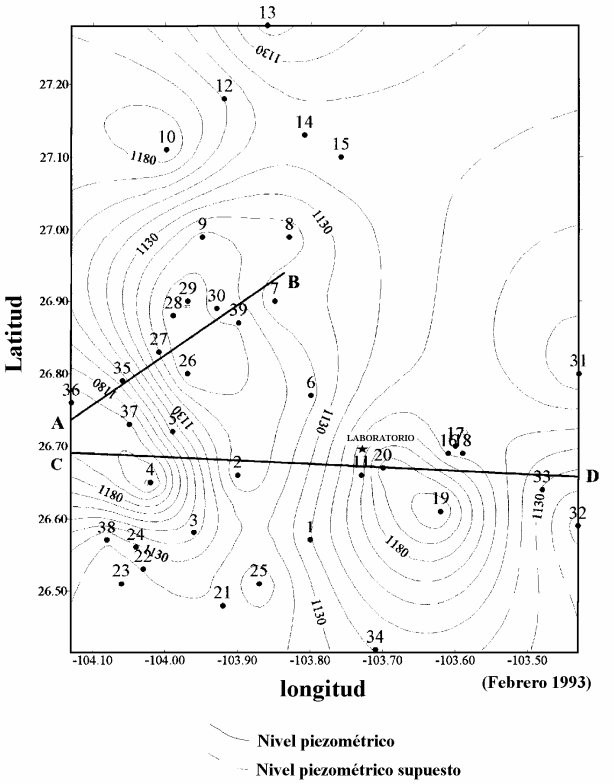


Figura 50. Curvas piezométricas de la reserva de Mapimí.

Estudio Químico

Temperatura y carga mineral de las aguas

Un estudio estadístico simple de los resultados permitio analizar las características físico-químicas promedio de las aguas.

- La temperatura oscila entre 14.6º C, en el presón de San Carlos (lago), temperatura cercana al promedio estacional medida en el laboratorio del desierto (13.4ºC) (Cornet, 1988), y 27.0ºC para las temperaturas máximas en la zona alta de las bajadas superiores (glacis). Las diferencias de temperatura en los mantos reflejan, ante todo, las variaciones de las temperaturas atmosféricas y, en menor medida, las escasas variaciones altitudinales (de 1200 a 1100 m).
- En los cerros de altitud las temperaturas del agua subterránea están comprendidas entre 19.6 y 21.4º C. La mineralización total varía de 536 a 2881 mg 1^{-1}.
- En las aguas subterráneas de la playa y de la sebkra la temperatura promedio es de 22.1ºC. La mineralización total promedio de las aguas es elevada, 2423 mg 1^{-1} con una desviación estándar muy importante de 1585 mg 1^{-1}, debida al incremento de carga salina en la Playa en relación con las aguas de los cerros. Las aguas subterráneas de Playa y sebkra tienen una mineralización total que varía de 1720 a 5913 mg 1^{-1} si se excluye a las

salinas de Carrillo, en donde es probable que la mineralización del agua sobrepase los 200 g 1^{-1}. El pH varía poco en los diferentes tipos de agua y se mantiene, en promedio, en 7.62 con una escasa desviación estándar de 0.22.

Facies químicas de las aguas

Diagrama de Piper

Al igual que se observó en el caso de la mineralización total de las aguas, existe una zonación de la fase química de las aguas, tanto en los Cerros como en la Playa. La distribución promedio en milimol por litro de los elementos disueltos en las aguas subterráneas es la siguiente:

Para los Cerros del oeste: $HCO_3^- > Na^+ > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Cl^- > Mg^{2+} > SiO_2 > K^+$

Para los Cerros del centro: $HCO_3^- > Na^+ > SO_4^{2-} > SiO_2 > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Cl^- > K^+$

Para los Cerros del este: $SO_4^{2-} > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > HCO_3^- > Cl^- > K^+ > SiO_2$

Para La Playa: $Cl^- > Na^+ > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > HCO_3^- > SiO_2 > K^+$

En el diagrama de Piper, la representación gráfica de análisis de solución permite visualizar los contenidos relativos de cationes y aniones expresados en porcentaje y caracterizar la composición geoquímica del agua. Por lo tanto, es posible distinguir tres familias de agua, en función de la composición: bicarbonatada cálcica, sulfatada cálcica y clorurada sódica. Estas tres familias representan, sucesivamente: a) los Cerros del oeste y del centro; b) los Cerros del este y la playa y, finalmente, 3) la Playa. No obstante, existen interconexiones entre algunas de estas familias.

Cabe señalar el hecho de que, por una parte, los cerros al este de la zona no forman parte del mismo contexto geoquímico y que los cerros del oeste y del centro tienen como iones característicos el HCO_3 y el SO_4^{2-} para los aniones y Na^+ y Ca^{2+} para los cationes. Además, la zona de playa se distingue por fuertes contenidos de iones Cl^- y Na^+.

Química de los Cerros

- Los contenidos de iones Ca^{2+} de los cerros del oeste son relativamente importantes: de 2.20 meq 1^{-1} a 18.50 meq 1^{-1} debido a la presencia de calcita magnesiana, en mayor o menor grado. Las aguas alcanzan un grado de saturación en lo que respecta a la calcita. Sin embargo, el aumento de Ca^{2+} y SO_4^{2-} revela la disolución de yeso $(CaSO_4)2H_2O$ como la demuestra la adecuada correlación de SO_4^{2-} *versus* $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$. Las mayores concentraciones de Ca^{2+} (de 17.40 a 24.30 meq 1^{-1}) y SO_4^{2-} (de 37.93 a 43.66 meq 1^{-1}) obtenidas para las aguas subterráneas de los cerros de la parte este se explica por la presencia más marcada de yeso en la serie terciaria (afloramiento de las lutitas) e, igualmente, de una evaporación más marcada como lo revelará el estudio de los isótopos estables del agua. Las diferencias obtenidas en relación con el quimismo de las aguas de los cerros en el centro de la reserva, indican una circulación de las aguas subterráneas en una roca que varían, entre el oeste -de composición clorurada y sulfatada sódica y cálcica- y el este –de composición bicarbonatada cálcica y magnesiana caracterizada además por una mineralización escasa.
- Los contenidos de iones Na^+, de 3.16 a 11.92 meq 1^{-1} están adecuadamente correlacionados con los contenidos de iones Cl^-, de 0.44 a 2.97 meq 1^{-1}. Sin embargo, en los cerros centrales, se obtuvo un valor en iones Cl^- elevado de 57.53 meq 1^{-1} para el pozo Los Barrancos Blancos 11 (BA BL 11). El exceso de iones Na^+ observado para esta agua implica, en relación con la recta de disolución de la halita, que el conjunto de los

contenidos de cloruro y sodio no tienen el mismo origen. Este exceso proviene probablemente de la hidrólisis de silicatos sódicos.

- En relación con los valores de los parámetros estadísticos, el ión potasio parece relativamente homogéneo con valores que van de 1.25 a 3.30 meq 1^{-1}.

Química de la playa

- Los contenidos de iones cloruro y sodio varían mucho en toda la zona con valores que van de 1.02 a 49.57 meq.1^{-1} de iones Cl^-, y de 4.69 a 51.32 meq.1^{-1} de iones Na^+. El agua recolectada en el centro de la salina presenta un contenido de cerca de 5250 meq.1^{-1} de iones Cl^- y de 3300 meq.1^{-1} de iones Na^+ y una saturación con respecto a la halita. La evolución del índice de saturación revela una subsaturación de las aguas de los cerros, con respecto a la halita hasta la obtención de la saturación, en el centro de la Playa, en donde el agua es la menos profunda (Figura 51). Para las aguas más cargadas, se observa un aumento de los cloruros, en tanto que los contenidos de iones Na^+ son relativamente constantes. Esto puede explicarse mediante un fenómeno de evaporación revelado por el aumento de iones Cl^- y, conjuntamente, por un control de los contenidos de iones sodio vinculado con una fase mineral no clorurada.
- Los contenidos de sulfatos y de iones calcio son relativamente importantes en toda la zona con valores que van de 18.05 a 65.98 meq 1^{-1} de iones SO_4^{2-} y de 4.40 a 31.60 meq l^{-1} de iones Ca^{2+}. La evolución del índice de saturación del yeso revela una saturación en prácticamente toda la zona de la Playa. Esta saturación parece tener origen, en el caso de las aguas de la salina, por una parte, en un fenómeno de evaporación vinculado con una disolución de yeso (roca madre, yeso de los suelos lavados y disueltos durante secuencias húmedas).

En la Figura 52 se observa que los dos índices de saturación (yeso y halita) aumentan en función de la zonación. Se pasa de una subsaturación, en los cerros ubicados al oeste, a una saturación con respecto al yeso en los mantos de los cerros del este y en la zona de la playa. El hecho de tener un aumento conjunto (yeso, halita) confirma el fenómeno de evaporación, previsto en el seno del sistema.

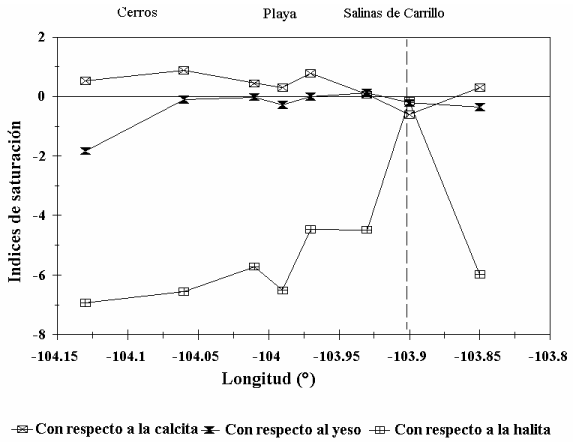


Figura 51. Variaciones de los indices de saturación según la transversal AB.

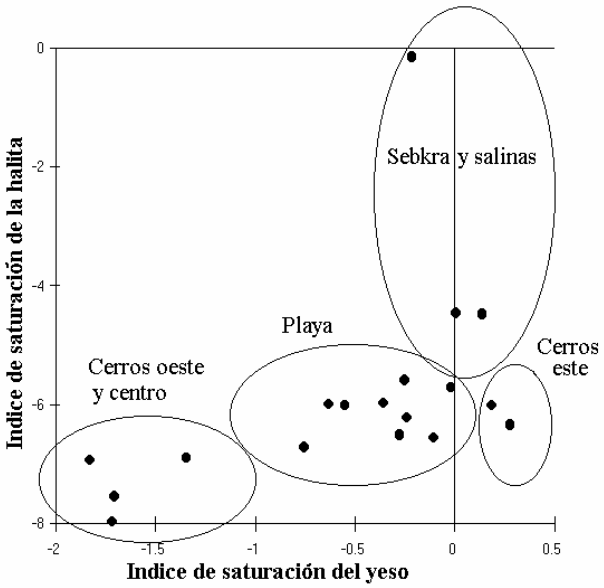


Figura 52. Evolución del indice de saturación de la halita en función del indice de saturación del yeso.

Conclusión del estudio químico

El aumento de la mineralización de las aguas subterráneas en la playa se debe a un aporte de iones de las rocas receptoras sometidas a hidrólisis durante el flujo de aguas en las formaciones silicatadas y volcánicas de los cerros del Terciario de la zona central y occidental. Se debe asimismo a la disolución de las formaciones sedimentarias calcáreas y yesosas. Sin embargo, esta fuerte mineralización no puede explicarse únicamente por interacciones aguas-rocas. Es preciso agregar la importancia primordial que reviste, en período seco, la evaporación del agua de las formaciones superficiales de la zona de estudio, sobre todo en el contexto hidro-geológico (cuenca endorreica) y climático (zona árida) (Cap. 1). Una salinización progresiva de las soluciones puede producirse en la zona no saturada. Es necesario asimismo tomar en cuenta la importancia relativa de la disolución de los niveles de acumulación, en zona no saturada, que son disueltos durante los escasos períodos húmedos de recarga. Las lluvias, que se infiltran, experimentan un proceso de percolación al transportar nuevamente esas sales hacia los acuíferos de superficie.

Estudio isotópico

Isotopos estables de la molécula de agua

En un diagrama δ^2H *versus* $\delta^{18}O$, las aguas meteóricas no evaporadas se distribuyen sobre una recta de pendiente 8, y de ordenada de origen 10 (Craig, 1961). Una variación de la temperatura del agua se traduce por un desplazamiento de los puntos sobre la recta (Figura 53). Las precipitaciones más frías (y por tanto las más altas, tanto en altitud como en latitud) son las que

registran mayor pérdida de isótopos pesados. De acuerdo con el proceso de cambio de fase considerado, los contenidos isotópicos de las fracciones líquidas residuales evolucionan sobre rectas de pendiente inferior a la de la recta de condensación; están generalmente comprendidas entre 3 y 5 (Fontes, 1976).

Las precipitaciones, que constituyen la función "entrada" de la aguas en el sistema estudiado, presentan contenidos promedio, de ^{18}O y ^{2}H respectivamente, de –6.69 (± 2.61‰ versus SMOW) y – 42.9 (± 17.0 ‰ *versus* SMOW). La A.I.E.A. (1992) definió una recta meteórica local más hacia el norte de Chihuahua, en condiciones similares a la Reserva de Mapimí (Fig. 53):

$$\delta^2H = 7.19 \times \delta^{18}O + 3.25 \quad (n= 121,\ r= 0.94),\ (A.I.E.A., 1992)$$

Las aguas de lluvia recolectadas durante el período 1991, año pluviométrico excepcional, son ligeramente más evaporadas con contenidos más bajos de deuterio.

Las aguas subterráneas, por su parte, se alinean sobre rectas de evaporación de pendientes comprendidas entre 3 y 5 (Fontes, 1976) con aguas meteóricas de orígenes diferentes (Figura 53). Estas rectas de evaporación pueden explicarse por dos fenómenos:

⇒ Las aguas de lluvia, al percolar hasta los mantos, son parcialmente recuperadas por la evaporación.

⇒ La recarga de estos mantos proviene de precipitaciones durante un período paleoclimático diferente.

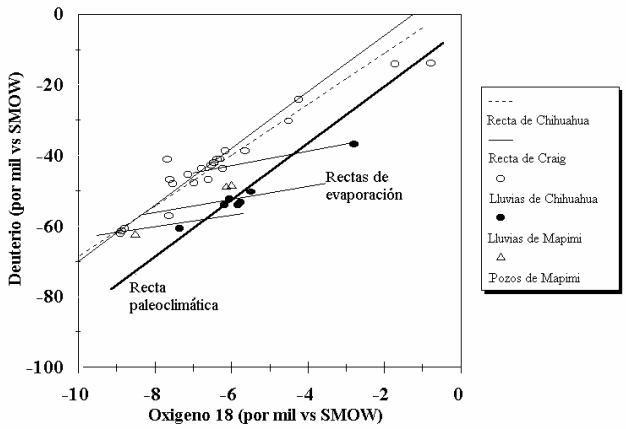


Figura 53. Trazo de los isótopos estables de las aguas, de lluvia y subterráneas, de la Reserva de Mapimí y de datos de lluvias de la A.I.E.A. de Chihuahua.

Sin embargo, estas dos hipótesis pueden ser conjuntas y proporcionar una marca isotópica de las aguas en función de un sitio y de un período diferentes.

La primera hipótesis puede confirmar los resultados obtenidos mediante los análisis piezométricos y químicos, que favorecen una alimentación de las aguas de la playa por las aguas que circulan en los cerros. Además, los pluviómetros para la recolección de las aguas de lluvia están ubicados únicamente en la zona de la playa.

La segunda hipótesis, relacionada con un fenómeno temporal de recarga con períodos más antiguos, fue explorada gracias a la herramienta del radiocarbono.

Isotopos del carbono (^{13}C, ^{14}C)

☞ Para la "datación" del agua de los mantos, es preciso considerar diferentes fuentes de carbono (atmosférico, biogénico, perivolcánico y marino) capaces de expresar sus marcas isotópicas en el carbono en solución dentro de un sistema. El fraccionamiento del ^{14}C, obtenido por disolución del CO_2 atmosférico es descrito por una relación lineal que lo vincula con el fraccionamiento que interviene en el ^{13}C (Saliège et Fontes, 1983).

$$\varepsilon(^{14}C)\% = 0{,}23 \times \varepsilon(^{13}C)‰$$

Los factores de fraccionamiento isotópico que afectan al ^{13}C, entre las diferentes especies de carbono disuelto, son conocidos y termodependientes.
Su termodependencia se expresa por una relación de tipo:

$$\varepsilon = A + B / T$$

donde:
Є factor de fraccionamiento que expresa el enriquecimiento isotópico del compuesto 1 en relación con el compuesto 2 (durante la reacción al equilibrio de 1 hacia 2), T la temperatura en Kelvin, A y B son coeficientes relativos a la reacción.

El contenido de ^{13}C del CITD depende de la distribución de las especies carbonatadas, del contenido de la fuente de carbono externa a la solución, y del tipo de sistema geoquímico en el cual evoluciona el carbono (abierto o cerrado en el CO_2 gaseoso).
Se identifican dos tipos de disolución del CO_2 biogénico en los suelos debido a que los factores de fraccionamiento son dados para el equilibrio termodinámico y que ya no intervienen durante reacciones totales. Estos dos casos son resultado de condiciones de drenaje pero también de condiciones químicas de las aguas. El pH del agua condiciona de manera importante la disolución del $CO_{2(g)}$ en los suelos, pero puede ser influido por la presencia más o menos marcada de ácido orgánico y por la hidrólisis de los minerales silicatados capaces de mantenerlo en valores elevados (Fontes, 1978).

Sistema abierto:
Cuando el flujo de producción de CO_2 biogénico es ampliamente superior al flujo de CITD en la fase acuosa, en tanto que el fraccionamiento es máximo y se acerca a su valor teórico.

☞ Se calcula que el volumen de CO_2 es infinito con respecto a la recolección efectuada por la solución que drena. Éste es el caso del sistema abierto en relación con la fase gaseosa (Fontes, 1983, 1985). En este caso de figura, es posible determinar el contenido de ^{13}C del $CO_{2(g)}$ equilibrante, calculando el factor de fraccionamiento entre el $CO_{2(g)}$ y el CITD de la solución, planteando las hipótesis siguientes:

- el equilibrio de la solución con un depósito de CO_2 gaseoso de presión constante y contenido constante de ^{13}C;
- el pH es fijado únicamente mediante el sistema calco-carbónico;
- la solución es diluida y los coeficientes de actividad se acercan a la unidad;
- la temperatura utilizada es la temperatura de disolución;
- el CITD fue sometido a un equilibrio total con el $CO_{2(g)}$
- el equilibrio isotópico entre el CITD y el CO_2 biogénico es total; el fraccionamiento alcanza su valor teórico (Fontes, 1983, 1985).

En el caso de las aguas subterráneas de la reserva de Mapimí, cabe por lo tanto pensar que los mantos en los cuales se puede aplicar este caso contienen aguas de "edad" reciente por lo que la aplicación de los modelos geoquímicos no resulta adecuada.

Sistema cerrado

Cuando el flujo de producción de CO_2 biogénico es escaso con respecto al flujo del CITD, todo el CO_2 producido es absorbido por la solución que drena y el fraccionamiento es menor (Akiti, 1980; Fontes, 1983, 1985). La "captura" rápida y completa de CO_2 producida en los suelos, mediante la solución percoladora, se traduce en un fraccionamiento nulo (Akiti, 1980; Fontes, 1983, 1985).

El $\delta^{13}C_{gas}$ equilibrante es superior al $\delta^{13}C$ biogénico, lo que significa que el contenido de $\delta^{13}C$ del carbono disuelto podría provenir no sólo del CO_2 del suelo sino también de la matriz carbonatada. En ese caso, no cabe la menor duda de que el manto del este, en el marco de nuestro estudio, se caracteriza por un sistema similar con un valor de –8.25‰ *vs* PDB. Por el contrario, el manto de la playa no tiene valor en $\delta^{13}C_g$ equilibrante realmente significativo de un sistema cerrado de –11.54 a –12.21 ‰ *vs* PDB. Sin embargo, la decisión de optar por el sistema cerrado fue dictada por los fuertes contenidos de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} de este manto, lo que implica la disolución en las aguas de los elementos constitutivos de la matriz carbonatada.

Las mezclas

La composición inicial del CITD debe por lo tanto ser redefinida en función de las mezclas químicas y de los intercambios isotópicos que intervendrán entre las diferentes especies carbonatadas. En nuestra zona de estudio, tendremos que prever varios tipos de mezclas.

- La mezcla CO_2 biogénico con $CaCO_3$ de la matriz carbonatada del Cretáceo inferior y superior de tipo marino 0 ‰ *vs* PDB (Chaulot-Talmon, 1984) (Figura 54).
- La mezcla CO_2 biogénico con CO_2 peri-volcánico podría estar presente en la zona de estudio debido a valores como –8.25 ‰ *vs* PDB en el este. Sin embargo, las bajas presiones de CO_2 equilibrantes (del orden de 10^2 Pa), determinadas por el programa WateqF, permitieron eliminar esta posibilidad.

Los modelos de corrección de « la edad ».

Como hemos visto anteriormente, es necesario considerar diversas fuentes de carbonos para la "datación" de las aguas de los mantos. En base a esta observación, es preciso efectuar correcciones en relación con los valores de las actividades ^{14}C bruto (Tabla 19). Es necesario, por lo tanto, recurrir a la utilización de modelos que puedan corregir los efectos de la disolución y de los intercambios isotópicos de las diferentes fuentes de radiocarbonos de las aguas. Con el fin de llevar a cabo una estimación del tiempo de permanencia de las aguas, se utilizan diferentes modelos a nuestro alcance: de Tamers, de Mook, de Ingerson y Pearson, del A.I.E.A., por Gonfiantini, y de Fontes y Garnier. De estos cinco modelos, dos parecen mejor adaptados a nuestro sistema de estudio (Tabla 27).

Las actividades medidas en las aguas varían, de 47.5 a 91.1% de carbono moderno para las aguas de los Cerros de 23.1%, a 1.5% de carbono moderno en las aguas de la playa. Las "edades" calculadas en función de los diferentes modelos van de la época actual al Holoceno para las aguas de los Cerros, en donde se sitúa la recarga, y datan del Pleistoceno tardío en las aguas de la playa, cuya evaporación provocaría una recarga escasa (casi nula) de este manto por las lluvias actuales.

En la Figura 55, Cl^- *vs* $\delta^{18}O$ de las aguas subterráneas de la Reserva se distribuyen en función de dos conjuntos principales: un conjunto (a) agrupa las aguas antiguas fechadas como pertenecientes al Pleistoceno tardío y un conjunto (b) agrupa las aguas recientes del Holoceno. Cada uno de los conjuntos de puntos se alinea siguiendo dos rectas teóricas de evaporación con una diferencia que es atribuible a variaciones en las condiciones del medio durante períodos de recarga. Las aguas del Pleistoceno tardío tienen contenidos más bajos de ^{18}O. Cabe señalar que esta observación confirma la hipótesis según la cual las aguas recolectadas en los cerros ubicados en la parte este de la Reserva no pertenecen a este sistema.

Tabla 27. Corrección de las edades ^{14}C por diferentes modelos geoquímicos

			↓Edades corregidas por los diferentes modelos en años BP↓				
modelos→		Pearson	Fontes y Garnier		IAEA	Tamers	Mook
Nombre y número ↓	Edades brutas en años BP ↓		Edades	Factor K			
Sistema Abierto							
La Flor 3	750+/- 180	0	700	> 0	750	-5000 ?	-300?
	3300+/-190	2350	2950	>0	3000	-2400	-300 ?
Santa Maria Socorro 24	6000 +/- 210	700	5200	>0	5350	538	-3200 ?
Sistema Cerrado							
Rancheria 25	11800+/- 390	6300	6800	> 0	6900	6300	-300 ?
La Chiripa 29	21500+/-1890	16500	18100	>0	18300	16500	-300 ?
El Torito 12	26600+/-2825	21600	20600	<0	20150	21600	-300 ?
El Cinco 31	33600+/- 4975	17900	25600	< 0	22500	29000	-300 ?

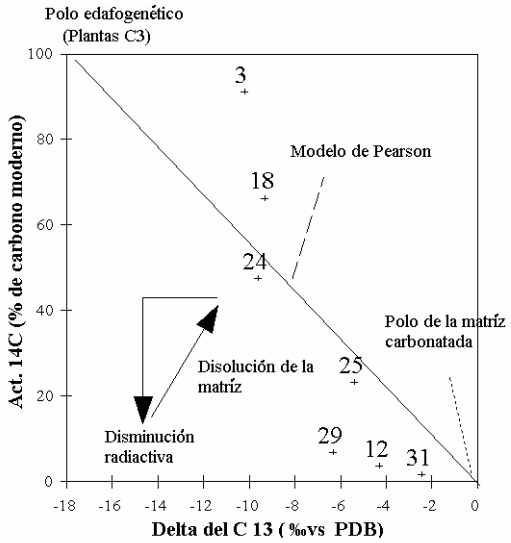


Figura 54. Recta de mezcla de las actividades del carbono 14 en función del carbono 13 de acuerdo con el modelo de Ingerson y Pearson.

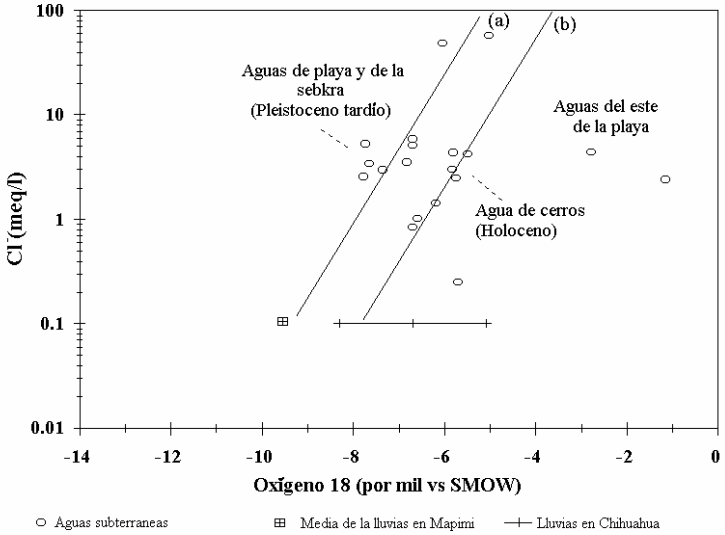


Figura 55. Diagrama de los cloruros en función de los contenidos de oxígeno 18.

Conclusiones

El estudio químico demostró que la mineralización de los mantos es de 10 a 100 veces mayor que la de las aguas de lluvia. Por lo tanto, el aporte de la mineralización no se debe únicamente a las lluvias. La presencia de agua fuertemente cargada en la laguna de Las Palomas se explica por

dos fenómenos: un aporte de elementos por hidrólisis y disolución de las sales solubles de las rocas receptoras de los cerros durante la circulación en su seno, y otra por la concentración-disolución en la superficie del suelo en el nivel más bajo de la reserva.

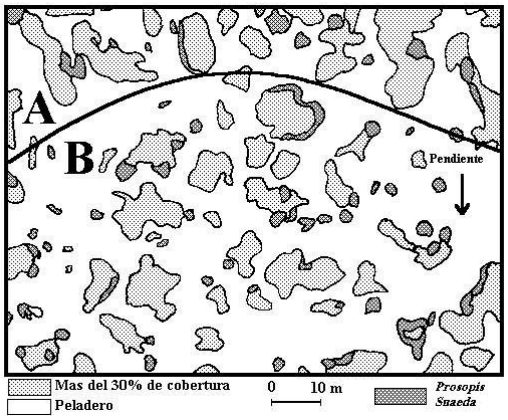
El estudio isotópico reveló una recarga del manto muy variable en función de la zona de esos aportes, regida por tiempos de percolación y el período paleoclimático, que proporciona una distribución isotópica diferente. Existen por lo tanto dos familias de aguas subterráneas, en el seno de la reserva de Mapimí:

- Las aguas del manto de los relieves, cuya edad estimada oscila entre el Holoceno y la Actualidad, que constituyen las aguas más recientes alimentadas por las aguas de lluvia de mineralización escasa.

- Las aguas del manto de la playa y sebkra, cuya edad estimada data del Pleistoceno tardío y que están constituidas por aguas de circulación procedentes de los cerros con tiempos más antiguos y un contacto más importante con las capas limitantes del manto de los cerros y, por lo tanto, una recarga mineral más fuerte; o bien precipitaciones fuertemente mineralizadas registradas en un medio climático diferente. Estos fenómenos asociados con las altas tasas de evaporación dan como resultado una mineralización suficiente del agua del acuífero principal (salmuera), permitiendo su explotación bajo la modalidad de las salinas continentales de Carrillo (Cap. 6.3).

CAPITULO CUATRO

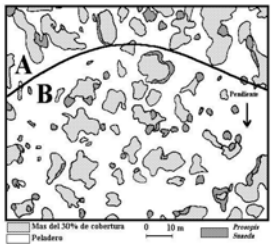
ESTUDIO DE DIFERENTES MEDIOS DE PLAYA



Ejemplo de distribución de la vegetación

La playa puede parecer un medio monótono, regido por un incremento de las salinidades desde la bajada hacia la sebkra; en detalle, esa apariencia no existe. De hecho, las variaciones de la distribución espacial de la vegetación producto de organizaciones particulares expresan la respuesta de la vegetación a las condiciones severas de la aridez. En la parte que sigue, estudiaremos cuatro tipos de medios de playas, que son los pastizales de Sporobolus sp., los manchones de vegetación, las zonas de vegetación sin organización aparente y la zona de polígonos. Insistiremos particularmente sobre el segundo tipo de medio que será analizado tomando en cuenta todos los aspectos.

Los editores



Estudio de la estructura del suelo y de la vegetación en tres tipos de pastizal de playa

Grünberger O., Ochoa-Chavarria I.

Introducción.

Para la ganadería extensiva, las playas constituyen un ecosistema interesante debido a su riqueza relativa en plantas forrajeras. Ciertos factores como la ausencia de puntos para abrevadero y de sombra, en general restringen su interés como tierras de actividad y de recorridos (Cap. 6), a pesar de ello, estos recursos deben ser evaluados en este estudio.
Tres tipos distintos de pastizal fueron examinados, considerando diferentes relaciones que se establecen entre la vegetación y el suelo a la escala de parcelas de 100 m^2. La repartición espacial de la vegetación y de las concentraciones de los elementos del suelo disponibles en solución permitió cuestionarse sobre las estrategias de adaptación de las especies forrajeras. Además de los resultados obtenidos sobre la biomasa vegetal, un estudio suplementario de escalas dentro de la parcela (áreas de 1m^2, 10m^2 y 100m^2) permitió evaluar la validez de hacer la transferencia de resultados, a diferentes escalas de medidas.

Métodos utilizados.

Las tres parcelas seleccionadas están próximas a las estaciones 9, 5, 4 (ver mapa al final del libro). En 1991, cada parcela fue delimitada en forma de cuadrante, por un cercado de alambre y estacas metálicas. Sus dimensiones son de 10m x 10m. En 1992, antes de la estación de lluvias, fueron establecidos los mapas de vegetación de las parcelas, luego en cada una de las parcelas fueron delimitadas subunidades de 1 m^2 y de 10 m^2. La subparcela de 1m^2 fue dividida en cuadrados de 10x10 cm, para colecta de vegetación y de suelo (en el centro de la malla). El suelo hasta una profundidad de 15 cm. Este mismo proceso se repitió en la subparcela de 10m^2, esta vez con un mallado de cuadros de 30 cm de lado. Al final, la superficie restante fue dividida en cuadrantes de 1m^2 donde se recogió suelo hasta los 15 cm. Los planos de la serie de muestras colectadas en las tres estaciones se muestran en la Figura 56, Figura 57 y Figura 58. En el laboratorio, las muestras de vegetación fueron secadas y pesadas, los suelos fueron sometidos a análisis para la determinación de: el contenido de agua a 55ºC, el contenido residual en agua entre 55 y 105ºC (índice en yeso). Se realizaron también: extractos acuosos 1:16, para medir la conductividad eléctrica, el pH y los contenidos de los iones de: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, HCO_3^{-} , los contenidos de sulfatos fueron estimados por balance iónico.

Resultados

Mapas de vegetación

Los mapas de vegetación realizados antes del corte, muestran que las especies vegetales difieren en los tres pastizales seleccionados, las especies dominantes en cada parcela son diferentes y la repartición de la vegetación no es comparable.

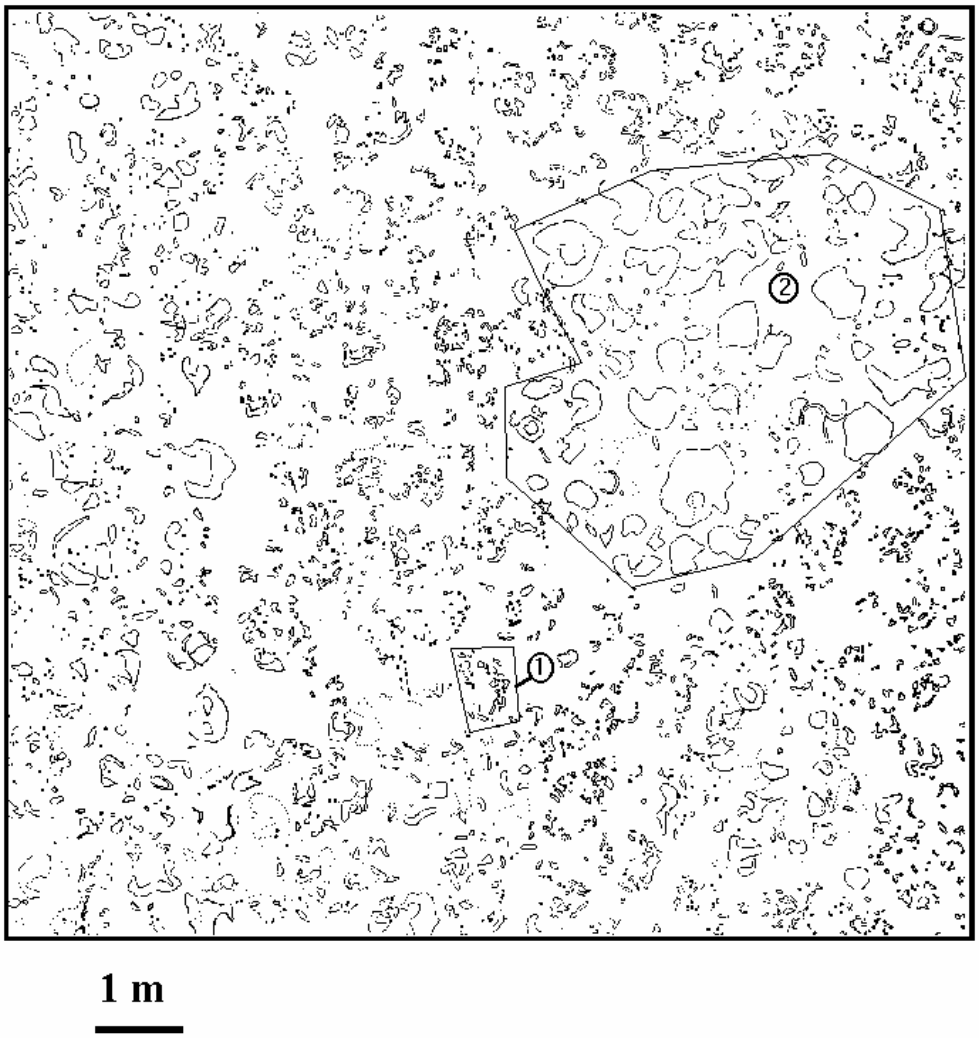


Figura 56. Diagrama de la cobertura basal de la vegetación de la estación 9. 1 y 2 sitios de reagrupamiento a diferentes escalas.

El pastizal de la estación 9 es un plano esencialmente monoespecífico de *Sporobolus airoides*. El mapa presenta una organización de implantación según las matas donde se observó una talla variada de algunos cm^2 hasta 0.5 m^2; la cubierta es densa y en estación de lluvias se mantiene

constante y cerrada. Sin embargo, la carta de vegetación indica que un proceso de agrupamiento de pequeñas matas puede traducirse como una mata más grande, dependiendo de la escala que se trate (Figura 56). Esta parcela se situa en la playa baja.

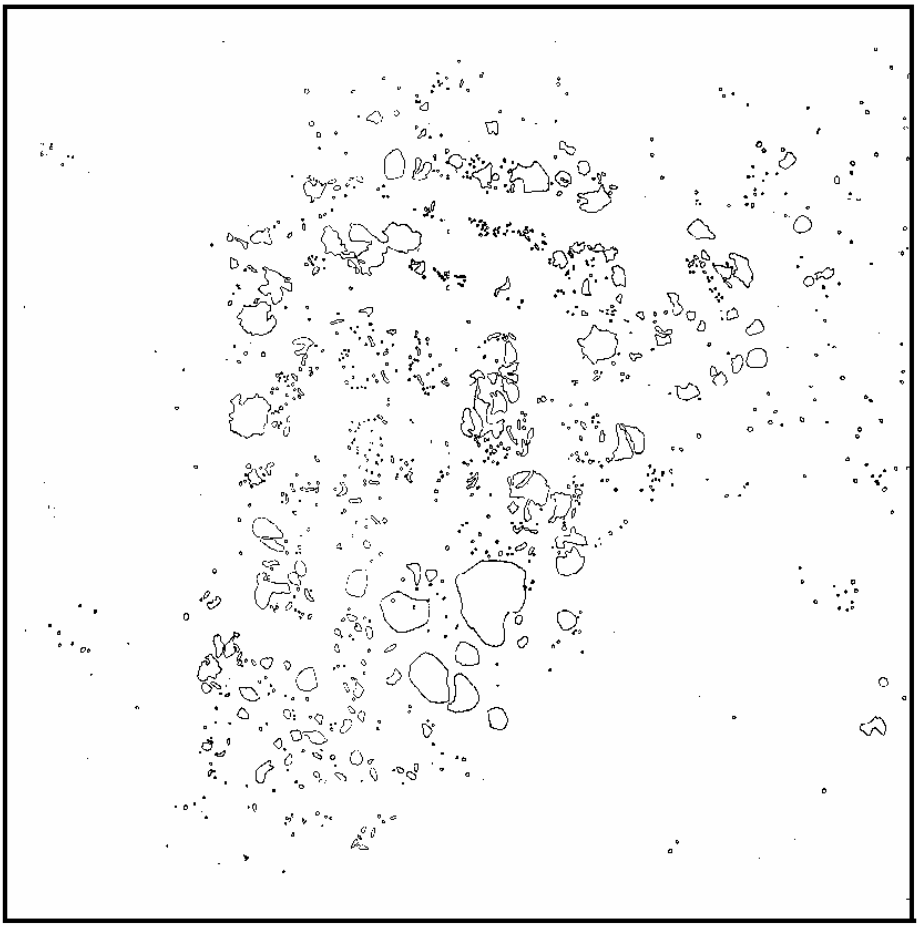


Figura 57. Diagrama de la cobertura basal de la vegetación de la estación 5.

El pastizal de la estación 5 presenta la estructura característica de una mancha de vegetación rodeada de espacios desnudos: se trata de una forma de vegetación en manchón (Figura 57). Dentro de la parcela, la mancha de vegetación cubre un 47.9% de la superficie de la parcela mientras que los registros más generosos han revelado que la vegetación se contracta sobre 31.7% de la superficie. Las principales especies presentes son *Hilaria mutica, Sporobolus aeroides, Suaeda nigrescens, Prosopis glandulosa*. La cubierta vegetal es muy discontinua, aún en estación de lluvias. El tamaño de las matas de pasto es similar que al registrado en la parcela

de *Sporobolus sp.* Un proceso de reagrupamiento de matas es a veces observado. La cubierta basal es mucho más reducida que en el caso precedente. Esta parcela se sitúa entre la playa baja y la playa alta.

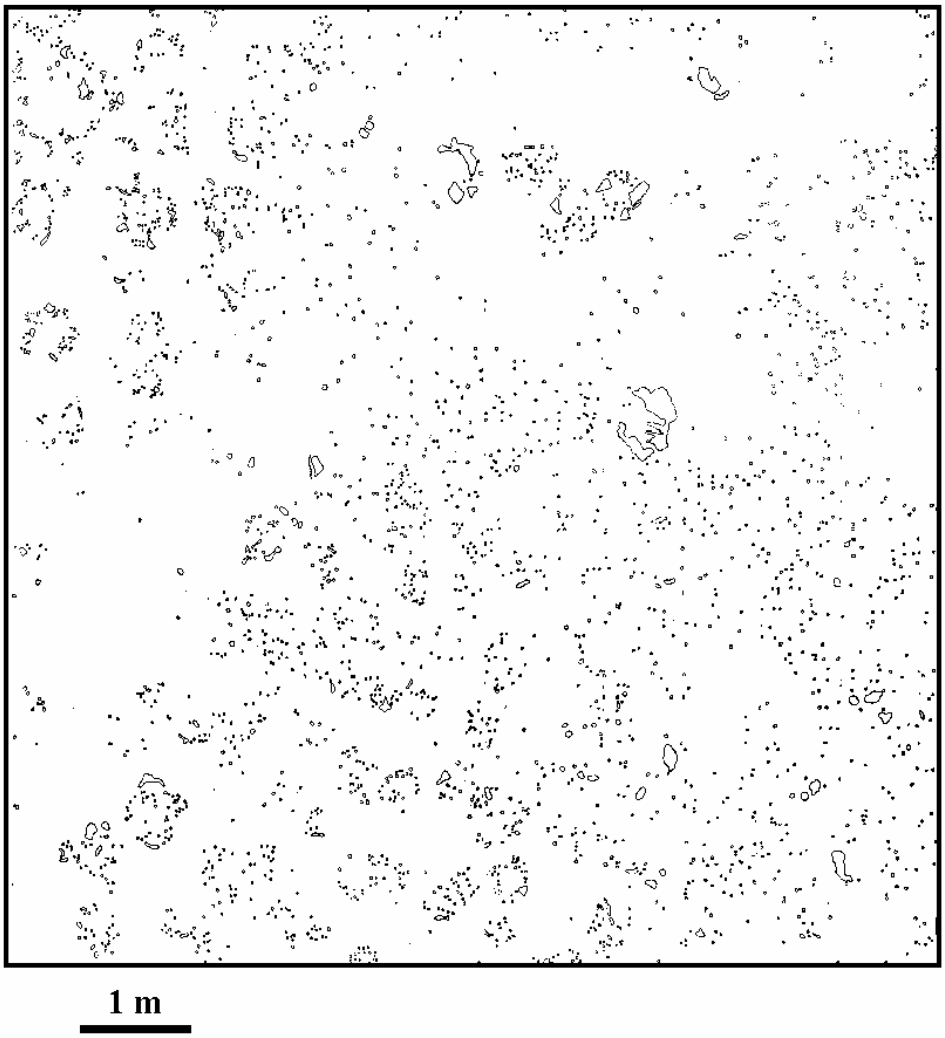


Figura 58. Diagrama de la cobertura basal de la vegetación en la estación 4.

El pastizal de la estación 4 es una zona con cubierta vegetal poco organizada con escasas matas grandes y muy pocos espacios continuos de suelo desnudo (Figura 58). La vegetación está poco contractada y dominan las mismas especies que en el caso precedente. La cubierta es homogénea. El proceso de reagrupamiento de manchas es sin embargo visible a pequeñas escalas. Esta parcela se sitúa en playa alta.

Biomasa y cobertura vegetal

Resultados globales.

Los resultados muestran que las estaciones producen entre 2.9 y 4.3 t ha^{-1} de biomasa vegetal aérea. Considerando únicamente lo correspondiente a la biomasa aérea en pie el valor, los valores son entre 1.7 y 4.2 t ha^{-1} (Tabla 28). Las cantidades de mantillo depositado, fueron muy parecidas en los tres casos, aproximadamente de 0.22 t ha^{-1} a la escala de la hectárea. Las variaciones entre estaciones dependen de la importancia de la cubierta basal vegetal y de la participación o no de las especies arbustivas en la biomasa, éstas últimas con coberturas basales inconspicuas pero con una gran influencia sobre la biomasa total. Para las herbáceas, es posible establecer una relación entre las coberturas basales y las biomasas. Los valores encontrados son más débiles para *Sporobolus sp.* (alrededor de 0.3 t en una hectárea por % de cobertura) que para *Hilaria sp*. (alrededor de 0.45 t ha^{-1} $\%^{-1}$), sin embargo varían poco en función de las parcelas.

Tabla 28. Biomasas aéreas en pie, coberturas basales por especie, biomasa por superficie basal ocupada, para las principales especies de los diferentes pastizales estudiados.

Estaciones →	Playa Con vegetación no organizada		Playa de *Sporobolus sp.*		Playa con manchones		Biomasa por porcentaje de superficie basal
Número→	4		9		5		*
Parámetros→	Biomasa por especie	Superficie relativa	Biomasa por especie	Superficie relativa	Biomasa por especie	Superficie relativa	
Especies encontradas ↓	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1} $\%^{-1}$
Sporobolus sp.	158.4	0.7	4214.9	13.7	824.7	2.4	**293.7**
Hilaria sp.	1560.0	3.4	nd	Nd	558.9	1.2	**465.7**
Suaeda sp.	1080.9	0.2	nd	Nd	1199.3	0.1	>5400
Prosopis sp.	nd	nd	2.9	Nm	691.3	0.010	>6910
Echinocerus sp.	87.1	nm	nd	Nd	Nd	Nd	nm
Otras	36.2	nm	77.8	0.6	1.4	Nm	129.26
Total de herbáceas	1718.5	4.0	4214.9	13.7	1383.6	3.6	**371.57**
Totales	**2922.7**	**4.2**	**4295.6**	**14.3**	**3275.6**	**3.7**	**470.87**
Mantillo	211.0	nm	251.1	nm	217.3	nm	nm

* Resulta del promedio de los cocientes de las tres parcelas de los valores de la biomasa aérea sobre el porcentaje de la superficie relativa. nm no medido, nd no detectado.

Las biomasas encontradas son similares a las estimaciones efectuadas con la ayuda de vistas SPOT de Cornet (1988) y las reportadas por Abraham (1983) para pastizales monoespecíficos de *Sporobolus sp.* (4.8 t ha^{-1}).

Estructura de la cubierta vegetal

Las cubiertas vegetales de las tres parcelas permitieron constatar disposiciones de la vegetación muy distintas. La organización en matas importantes está privilegiada en la estación 9 y en la estación 5, mientras que en la estación 4 esa disposición es casi nula. Esta organización puede ser

descrita por las curvas de superficies relativas de la vegetación basal en función del tamaño de las matas (Figura 59).

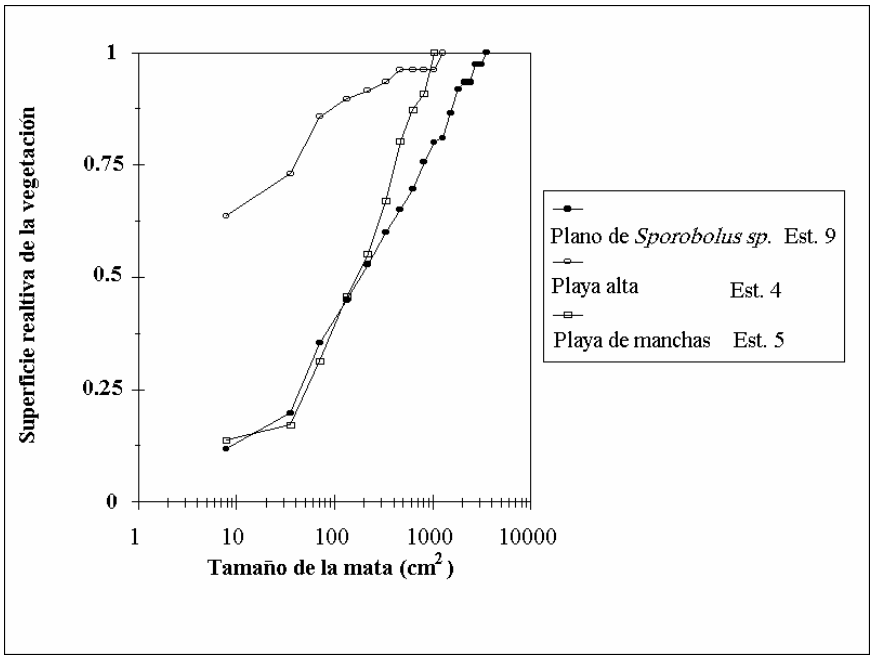


Figura 59. Relación entre el tamaño de la mata y la superficie relativa acumulada de la vegetación para los pastizales estudiados.

Es muy claro que para la estación 4 más de la mitad de la superficie de la vegetación está constituida de manchas de menos de 9 cm^2, mientras que, en las estaciones 5 y 9, que presentan proporciones similares para las matas pequeñas, tienen la mitad de las matas superiores a los 150 cm^2. Si las estaciones 5 y 9 son similares para las unidades pequeñas, la estación 9 presenta las más grandes unidades. En las estaciones 4 y 5, las matas más grandes son de una talla muy parecida.

La idea de que la asociación de pequeñas matas producen matas más importantes, las cuales a su alrededor producen matas más grandes, incluye la noción de auto similaridad (*self-similarity*) (Peitgen *et al*, 1992).

> ☞ En otras palabras, la mancha pareciera como una colección arbitraria de manchas pequeñas las cuales son la representación a escala reducida del ensamble pastizal.

En este caso, no se trata de una autosimilaridad estricta, más bien a un fenómeno dinámico que parece reproducir efectos comparables. Como ejemplo, en la Figura 60 está reportada en la absciza el logaritmo natural del numero de manchas en función del logaritmo de un factor de reducción (la clase más grande de manchas es considerada con un diámetro de factor de

reducción de 1). Los puntos representativos de las estaciones, retirando las manchas más pequeñas y las más grandes representan alineamientos que pueden ser interpretados como rectas. Las pendientes de esas rectas (respectivamente 2.45, 2.86 y 3.78), indican lo que sería una posible autosimilaridad.

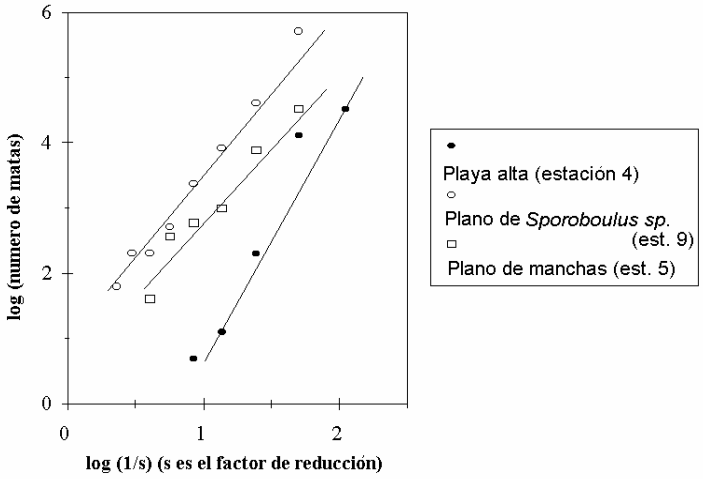


Figura 60. Relación entre el número de matas y su factor de reducción, (calculado con relación a la mata más grande), para los tres pastizales de estudio.

Los suelos de las tres parcelas

Los suelos de las tres parcelas reflejan características marcadas que los distinguen entre ellos. Los suelos de las estaciones 4 y 5 presentan un horizonte a profundidad con fuertes contenidos en yeso, capa ausente en la estación 9. En la estación 5, los fenómenos de disolución de esta capa de yeso forzan la contracción de la vegetación (ver los dos artículos siguientes). La estación 9 tiene un suelo con aportes recientes, un buen drenaje y ligeras características vérticas, en el fondo del perfil se presenta un acuífero salado (150 cm).

Características físico-químicas medias

Las características físico químicas establecidas sobre los horizontes de superficie (15 cm de profundidad) reflejan en parte esas características (Tabla 29).
La humedad es más importante en la estación 9 que en las otras estaciones. Las conductividades eléctricas medias de los extractos son similares en la estaciones 4 y 9, más elevadas que en la estación 5. Este aumento en salinidad se traduce sobre todo por el incremento de las concentraciones iónicas de los extractos, en iones de calcio y en una mínima medida en iones de sodio con una ligera disminución relativa del pH. El aumento de la C.E. se debe sobre todo a una disolución más acentuada del sulfato de calcio. Las estaciones 4 y 9 presentan una mineralización global muy próxima, sin embargo la estación 4 presenta concentraciones en carbonatos que son más altos que en la estación 9.

Tabla 29. Resultados de la medidas físico-químicas sobre los suelos de los diferentes pastizales estudiados (Número de muestras por escala de medida, medias ponderadas para las superficies, medias de las muestras y coeficiente de variación de las medidas).

	Estación 4 Playa sin contracción			Estación 5 Playa con contracción			Estación 9 Playa de *Sporobolus sp.*		
Número de muestras analizadas									
1 m^2 (0,1 x 0,1m)	137			124			191		
10m^2(0,3 x 0,3 m)	127			131			130		
89 m^2(1 x 1 m)	87			89			89		
Total	351			344			410		
Parámetros medidos (suelo y extracto 1:16)	Med1	Med2	CV2	Med1	Med2	CV2	Med1	Med2	CV2
Humedad a 55ºC (%)	5.3	6.0	*0.20*	4.5	6.5	*0.26*	6.6	7.5	*0.23*
Humedad entre 55 y 105ºC (%)	4.3	4.6	*0.14*	3.5	6.8	*0.37*	3.0	2.8	*0.22*
C.E. (microS.cm^{-1})	373.2	533.9	*0.88*	1924.9	2708.4	*0.20*	372.8	532.6	*0.81*
PH	8.9	9.0	*0.08*	8.2	7.8	*0.03*	8.3	8.5	*0.05*
Ca^{2+} (meq.l^{-1})	1.3	1.3	*0.84*	11.3	22.0	*0.41*	0.5	1.1	*2.80*
Mg^{2+}(meq.l^{-1})	0.2	0.3	*0.89*	0.7	1.3	*0.56*	0.2	0.4	*0.98*
K^{+}(meq.l^{-1})	0.1	0.1	*0.80*	0.2	0.2	*0.26*	0.1	0.1	*1.08*
Na^{+}(meq.l^{-1})	2.1	3.5	*1.05*	6.7	4.1	*1.72*	2.2	3.5	*0.61*
HCO_3^{-}(meq.l^{-1})	1.4	1.7	*0.43*	1.3	0.7	*0.89*	2.2	2.2	*0.25*
Cl^{-} (meq.l^{-1})	0.5	4.5	*4.30*	2.4	0.7	*2.07*	0.1	0.2	*1.20*
Balance parcial (meq.l^{-1})	1.9			15.2			0.7		

Med1, media ponderada de las superficies (el valor medio de la parcela, es buscado); Med2, media de las muestras colectadas (se consideraron las muestras más numerosas); CV2, coeficiente de variación de la población; C.E, conductividad eléctrica del extracto 1:16.

Por otro lado, una diferencia muy marcada se presenta entre las medias ponderadas de las superficies y las medias de las poblaciones de muestras. Esta diferencia se presenta en el mismo sentido para las tres estaciones donde las conductividades son más elevadas y las concentraciones generalmente más fuertes para las medias de muestras que para las medias ponderadas de superficies. En resumen, las medias no son constantes a las diferentes escalas de la parcela de estudio.

Características de distribución estadística de los parámetros

La observación de los histogramas (Figura 61) permite constatar que la estación 5 se distingue de las otras dos estaciones, esencialmente por la presencia de poblaciones importantes de extractos superiores a los 15 meq l^{-1} y de humedades [55-105ºC] superiores al 8%. Los histogramas de humedades a 55ºC muestran que las estaciones 5 y 9 presentan curvas en campanas relativamente similares, con diferencias de un 2%, mientras que la curva de la estación 4 es representativa de una repartición estadística diferente mucho más centrada sobre la media. En lo que concierne al pH y los contenidos de carbonatos, la estación 4 muestra las reparticiones las más “extendidas” o anchas, mientras que la estación 9 presenta los picos de frecuencias más fuertes.

Las características medias de los horizontes superficiales de los suelos de las estaciones parecen muy homogéneas, los suelos de la estación 5, en promedio, presentan salinidades muy fuertes. Es conveniente señalar que algunas muestras de ésta estación son similares, para los parámetros

considerados, a ciertas muestras de las otras estaciones. En el presente caso, los efectos locales dominan generalmente los efectos regionales, ya que la dispersión de las medidas dentro de las parcelas es superior a la dispersión observada entre las medias de cada parcela estudiada.

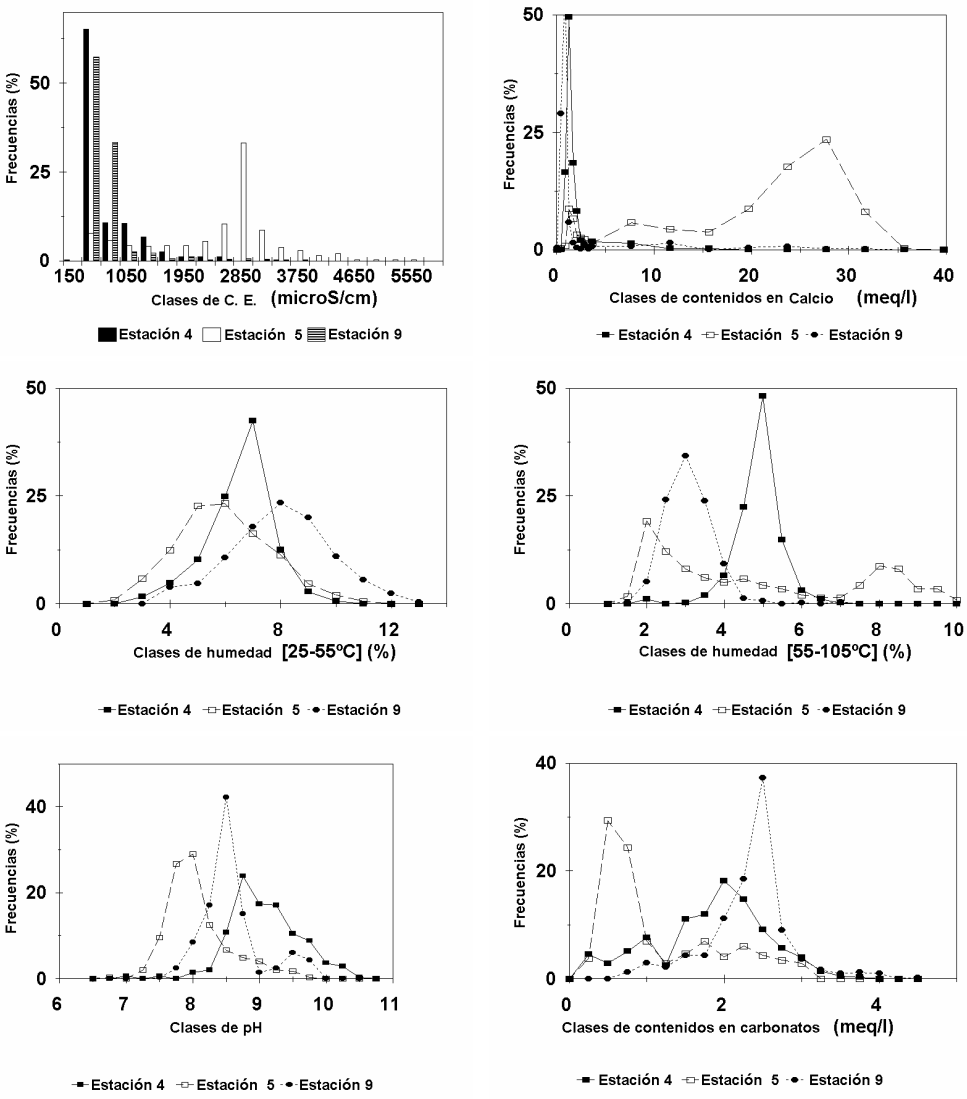


Figura 61. Histogramas de las conductividades eléctricas (C.E.), de los contenidos en Ca^{2+}, de las humedades ponderales a 55ºC y entre 55ºC y 105ºC, del pH y los contendios en carbonatos para los tres pastizales (los contenidos son medidos en los extractos 1:16).

Organización espacial de parámetros

En este estudio, la noción de auto correlación es utilizada para describir el comportamiento de las variables en el espacio. Parece que las variables tienen comportamientos contrastados en función de la estación.

> ☞ La función de auto correlación describe la evolución de la correlación entre los valores de una serie separada por tiempos crecientes. En el dominio espacial, describe la evolución de las correlaciones entre dos puntos separados por distancias crecientes. Para valores separados por distancias cortas, generalmente se observan correlaciones suficientemente importantes. La rapidez con la que la correlación decrece con la distancia es característica. La parte de la curva de distancia en la cual la correlación es inferior a 0.2 (termino en francés *portée*) es usada para describir la distancia que separa dos medidas estimadas independientes. Para un estado totalmente no diferenciado de la curva (aleatorio), esta distancia es aquella considerada en el lapso más corto de medida. La transformación de Fourrier de la función de auto correlación es llamada espectro de densidad de varianza. Esta medida es ampliamente utilizada en el dominio de frecuencias lo que expresa la función de auto correlación en el dominio de distancias. Aquí la frecuencia es la inversa de la distancia considerada. Un pico de densidad de varianza en la frecuencia de 0.01 representa un fenómeno de tendencia a repetirse cada 100 cm.

En este estudio, las medias de la densidad de varianza para intervalos de frecuencias de [0.01 - 0.038 cm^{-1}] y [0.006 - 0.00038 cm^{-1}] se estiman representativas de la participación de los fenómenos que se ejercen sobre pequeñas distancias [0.26 - 1 m] y de grandes distancias [1.67 - 26.3 m] (Figura 62). El conjunto de estos resultados se muestra en la Tabla 30. Los límites de los correlogramas son muy cortos para la mayoría de los parámetros de las estaciones 4 y 9.

- En la estación 4, las variaciones de los contenidos en iones de Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+} y en agua [55-105ºC] así como el pH, son independientes de la distancia, observándose un valor inferior a 10 cm entre la distancia y los límites. Cierta auto correlación aparece para los contenidos en agua a 55ºC, la conductividad, los contenidos en iones de HCO_3^- y de Na^+ del extracto de suelo para distancias inferiores al metro. Para grandes frecuencias la media de densidad de varianza varia entre 0.28 (pH) y 0.62 (contenido en agua a 55ºC) (Figura 63). Las densidades medias de varianzas más fuertes para las frecuencias pequeñas son de 3.57 (Na^+), y de 2.38 (conductividad eléctrica).

- Para la estación 9, las variaciones de los contenidos aparecen con límites débiles, en los contenidos en agua a 55ºC, en iones de HCO_3^-, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+} y en conductividad eléctrica. Variaciones no despreciables se presentaron para los contenidos en iones de Na^+, y los contenidos en agua [55-105ºC]. Para las grandes frecuencias la media de densidad de varianza oscila entre 0.22 (Mg^{2+}) y 0.32 (contenido en agua a 55ºC, pH, bicarbonatos, cloruros). La densidad media de varianzas más importante para pequeñas frecuencias es de 1.65 (Na^+).

- La estación 5 se distingue netamente de las otras dos estaciones por la presencia de una cierta periodicidad espacial en todos los parámetros (exceptuando quizá para los contenidos de iones bicarbonatos). La periodicidad observada para frecuencias del orden de 0.003 cm^{-1} es

más o menos fuerte según el parámetro. Los límites más pequeños es de 0.5 m para los contenidos en agua a 55ºC, los más largos son de 2.2m para los contenidos en agua [55-105ºC], todos los otros parámetros presentan límites superiores a 0.8 m.

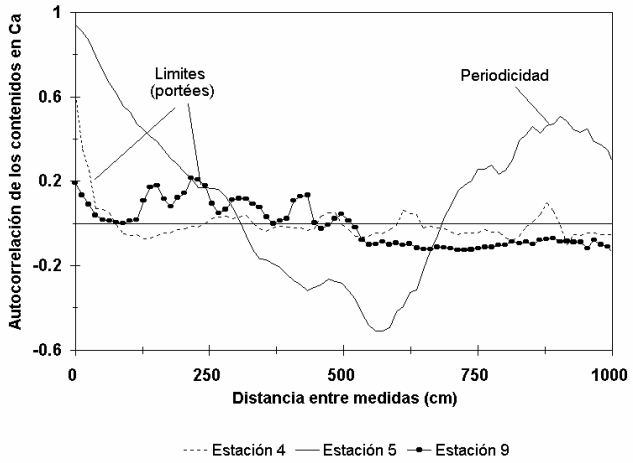


Figura 62. Correlogramas de los contenidos en Ca^{2+} del suelo de los tres pastizales (contenidos medidos en extracto 1:16).

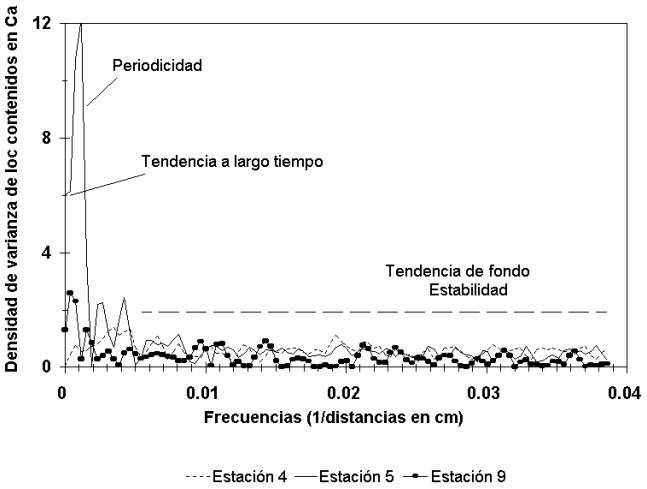


Figura 63. Espectro de densidad de varianza de los contenidos en Ca^{2+} del suelo de los tres pastizales (contenidos medios en extracto 1:16).

Tabla 30. Resultados de los cálculos de correlogramas y del espectro de densidad de varianza para cada parámetro en cada estación.

Estaciones →	4	5	9
Parámetros ↓	Playa no contractada	Playa contractada	Playa de *Sporobolus sp.*
Contenido en agua	0.4-Blanco	0.5-Periódico	0.1-Blanco
a 55ºC	0.62-1.40	0.51-1.67	0.37-1.04
Contenido en agua	0.1-Blanco	2.2-Periódico	0.3-Ligeramente P.
[55-105ºC]	0.57-0.66	0.48-3.62	0.32-1.02
Conductividad	0.9- Blanco	0.8- Periódico	0.1-Linear
	0.49-2.38	0.59-2.37	0.28-1.53
PH	0.1-Blanco	0.8- Periódico	0.1-Blanco
	0.35-0.96	0.66-2.20	0.32-0.48
HCO_3^-	0.4-Blanco	1.7-Periódico	0.1-Blanco
	0.49-1.31	0.54-2.81	0.32-0.35
Cl^-	0.1-Blanco	1.4- Blanco	0.1-Linear
	0.28-0.95	0.54-3.73	0.32-1.22
Na^+	1.0-Periódico	1.1-Periódico	2.4-Linear
	0.50-3.57	0.50-3.48	0.31-1.65
Ca^{2+}	0.1 -Blanco	1.9- Periódico	0.1-Blanco
	0.56-0.88	0.91-3.88	0.28-0.88
Mg^{2+}	0.1-Blanco	1.8-Periódico	0.1-Linear
	0.26-1.07	0.48-2.50	0.22-0.84

Paso del correlograma (m) y la tendencia del correlograma (Blanco, tendencia a aparecer sin variación; Periodico, tendencia a parecer periodicidad; Linear, tendencia a ser linear). Media del espectro para grandes frecuencias (pequeñas distancias) y las pequeñas frecuencias (grandes distancias).

En conclusión, para las estaciones 9 y 4 los parámetros parecen muy poco organizados en el espacio si exceptuamos los contenidos en iones de Na^+ y de la conductividad. Para la estación 5, al contrario, una estructura con orden de 5 m influye sobre todos los parámetros. En las Figura 64, Figura 65 y Figura 66 se presentan las reparticiones de los parámetros que muestran las densidades de varianza medias más importantes para las grandes distancias.

Una estructura muy bien definida aparece en la estación 4 (Figura 64) donde existe una nube de fuertes contenidos iónicos en Na^+, de la misma manera que en la estación 5 (Figura 65), se presenta muy claramente un espacio central donde los contenidos en iones de Ca^{2+} son más fuertes y un diseño similar es obtenido para prácticamente todos los parámetros. Al contrario, en la estación 9 (Figura 66), solo un pequeña perturbación de los contenidos aparece en el extremo superior derecho de la estación (precisamente donde se encuentran los puntos de medidas de un metro cuadrado). Es difícil de separar entre la tendencia suscitada por el error de análisis y las perturbaciones del medio para variaciones débiles, sin embargo, las diferencias en la amplitud de estas variaciones permiten suponer que una parte importante de estas variaciones a cortas distancias es el producto de una variación del medio y no del análisis.

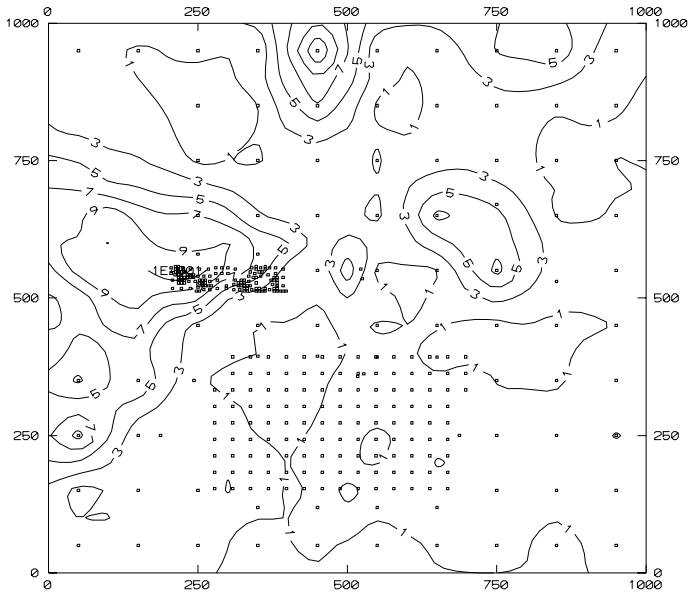


Figura 64. Repartición de los contenidos de Na^{+} del primer horizonte de suelo para la estación 4 (los puntos son sitios de medidas, los contenidos son medidos en el extracto 1:16 en meq l^{-1}, las distancias son en cm).

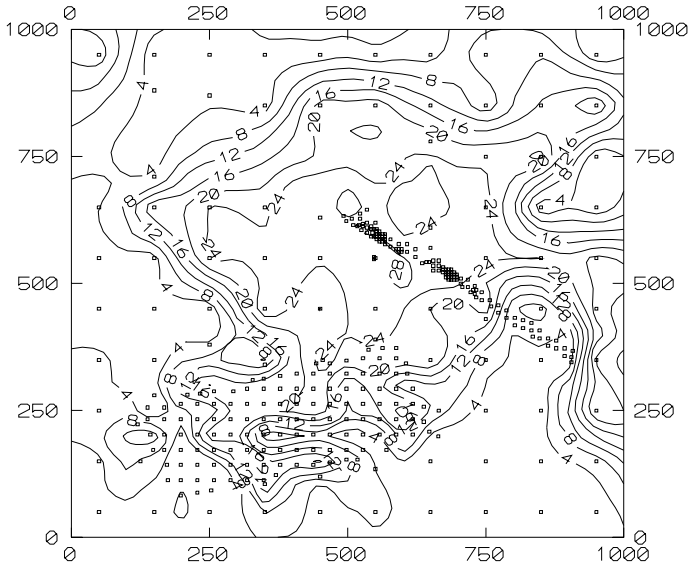


Figura 65. Repartición de los contenidos en Ca^{2+} del primer horizonte de suelo para la estación 5 (los puntos son sitios de medidas, los contenidos son medidos en el extracto 1:16 en meq l^{-1}, las distancias son en cm).

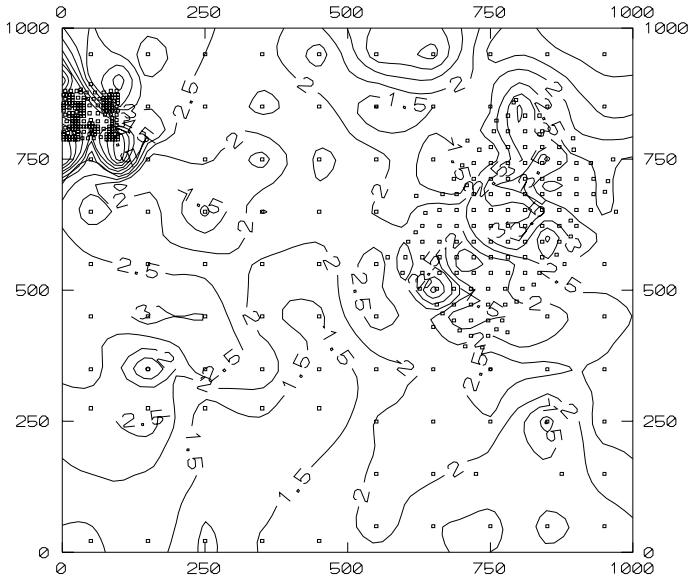


Figura 66. Repartición de los contenidos en Ca^{2+} del primer horizonte de suelo para la estación 9 (los puntos son sitios de medidas, los contenidos son medidos en el extracto 1:16 en meq l^{-1}, las distancias son en cm).

Influencia de la presencia de vegetación sobre la calidad de los suelos

La vegetación de la estación 5 está claramente instalada sobre una mancha, donde la calidad del suelo descrita por las características químicas y físicas es distinta en relación con el medio circundante. Esta variación es puesta en evidencia de una forma muy clara por la tendencia del correlograma. Para las variaciones de las tendencias aleatorias y de distancias débiles, es correcto suponer que la presencia de vegetación puede tener un efecto, sobre esas variaciones o corresponder al resultado. Por ejemplo, la Tabla 31 muestra que una ligera influencia de la presencia de la vegetación es posible. Los suelos que están bajo las matas de *Sporobolus sp.* y de *Suaeda sp.* presentan las conductividades más fuertes del extracto o iguales que las muestras correspondientes en la ausencia de vegetación. Periódicamente, para *Hilaria sp.* un efecto inverso es observado.

Las variaciones observadas corresponden para las zonas próximas a la misma estación, lo que limita mucho su carácter general. *Suaeda sp.* está claramente definida como una planta halófita, sin embargo puede estar presente en suelos donde el extracto 1:16 midió 540 $\mu S.cm^{-1}$. La especie anterior, presenta prácticamente la misma escala de salinidad que *Hilaria sp.* la cual presenta poco de diferencias con las zonas correspondientes pero sin vegetación. *Sporobolus sp.* aparece como una planta que prefiere también una cierta salinidad en relación al medio circundante, aún si los comportamientos variables de *Sporobolus sp.* e *Hilaria sp.* plantas puede resumirse en la Figura 67.

Tabla 31. Medias de las conductividades eléctricas (µS cm^{-1}) del extracto 1:16 del primer horizonte del suelo en función de la presencia (o no) de la vegetación para los tres pastizales, y tres especies. Parcelas de 10x10 cm y parcelas de 30 x30

Conductividades medias Del extracto 1:16 (µS cm^{-1})	Estación 4	Estación 5	Estación 9
Sin vegetación			
Muestras 10 x 10 cm	848.1	2707.5	689.5
Muestras 30 x 30 cm	275.8	2221.7	n.d.
Con *Sporobolus sp.*			
Muestras 10 x 10 cm	*1345.5 **	2690.9	760.8
Muestras 30 x 30 cm	366.4	2545.3	n.s.
Con *Hilaria sp.*			
Muestras 10 x 10 cm	553.3	2724.4	n.d.
Muestras 30 x 30 cm	284.1	1746.5	n.d.
Con *Suaeda sp.*			
Muestras 10 x 10 cm	1034.6	*2930.0 **	n.d.
Muestras 30 x 30 cm	*540.0 **	*1321.5 **	n.d.

n.d. , no detectado; n.s.,no significativo (pastizal muy denso); * ,Menos de 10 ocurrencias

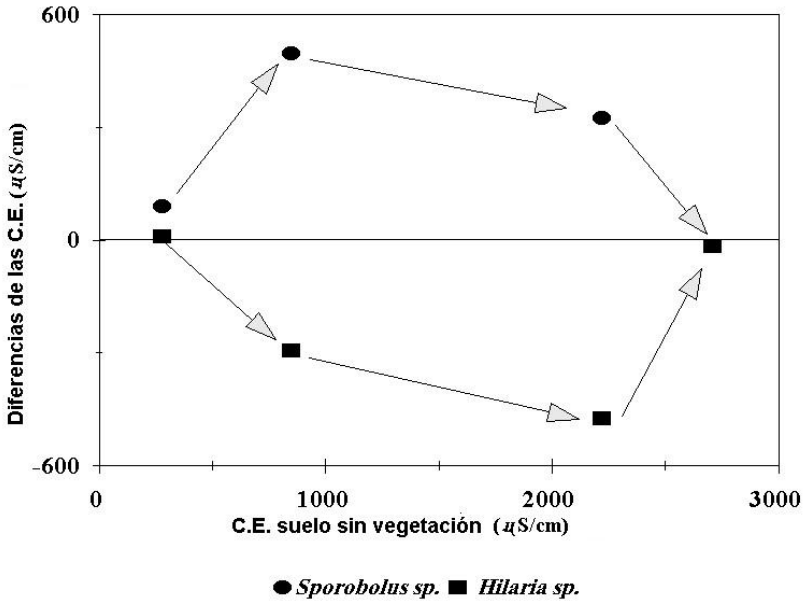


Figura 67. Relaciones para las estaciones 4 y 5 entre las diferencias medias de las conductividades eléctricas (µS cm^{-1}, del extracto 1:16), del suelo con y sin vegetación en función de la conductividad del extracto del suelo sin vegetación (Figura construida a partir de los datos de la Tabla 31).

Las fuertes variaciones de salinidad entre el medio circundante y el medio con vegetación son observadas para las salinidades intermediarias del suelo; para salinidades débiles y fuertes los contrastes son casi inapreciables. *Sporobolus sp.* e *Hilaria sp.* tienen un comportamiento simetricamente opuesto. En otros términos, los sitios de implantación para *Hilaria sp.* y *Sporobolus sp.* difieren poco para un suelo de playa con baja conductividad (<500 μS cm^{-1}) y con altas conductividades del extracto (>2000 μS cm^{-1}). Sin embargo, para conductividades intermediarias, la implantación de estas dos especies difiere grandemente por su salinidad, más elevada para *Sporobolus sp.*, menos elevada para *Hilaria sp*.

Conclusiones

Los tres pastizales, estudiados desde el punto de vista de la biomasa aérea, se distinguen no solamente por las diferencias de biomasa aérea (entre 2.9 y 4.2 t ha^{-1}) sino también por su distribución espacial de plantas. Para las herbáceas, una cierta biomasa por superficie basal se establece entre 294 y 466 kg ha^{-1} $\%^{-1}$. Estos resultados son coherentes con los trabajos anteriores en la reserva. Una cierta diversidad es observada en lo que concierne el modo de repartición espacial de la vegetación, la estación menos productora de biomasa es la que muestra la menor organización de matas (aproximadamente 60% de la superficie basal de la vegetación esta compuesta por matas inferiores a 10 cm^2). A partir de la idea de que las matas pequeñas se reagrupan para formar las grandes, dimensiones de auto similaridad son calculadas.

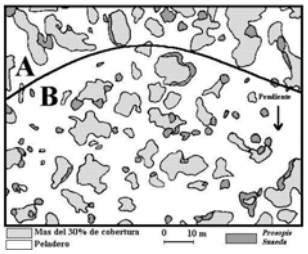
Las estaciones presentan características químicas medias muy diferentes entre ellas, aún si esta variación es frecuentemente inferior a la variación observada al interior de cada parcela. Las distribuciones estadísticas en las parcelas están lejos, exceptuando la humedad y el pH, de corresponder a leyes normales. Estos pastizales, seguido considerados como muy homogéneos registraron variaciones que son imperceptibles a las observaciones de superficie. Sin embargo en la repartición espacial, los componentes aleatorios sobre cortas distancias parecen dominar salvo en la estación 5 donde una estructura del orden de 5 m es característica de casi todos los parámetros.

En la estación 4 una zona parece mostrar una salinidad debida sobre todo a los cloruros de sodio, mientras que en la estación 5 el parámetro más marcado es el contenido en Ca^{2+}. Al contrario, en la estación 9 solo una pequeña zona presenta un incremento moderado de salinidad.

En lo que concierne a la interacción entre la vegetación y el suelo, si es muy evidente a gran escala (*Suaeda sp.* esta ligada a un cierto nivel del contenido en sal del suelo), este determinismo es mucho menos evidente a corta escala y dependen de la salinidad circundante tanto *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides* como *Suaeda nigrecens*.

En resumen, lejos de constituir un medio simple, estos pastizales de playa son un ejemplo de una gran complejidad en los fenómenos de interacción entre la salinidad, la vegetación y el suelo.

Una vez puestas en evidencia en este artículo, estas relaciones serán estudiadas más finamente en algunos medios de tipos particulares como los que constituyen las concentraciones en “manchas” de la vegetación de playa (tipo la estación 5) y la zona de polígonos de *Suaeda* (Delhoume *et al.*, 1988).



Los manchones de la reserva de la biosfera de Mapimí.

Primera parte:

Estudio de las organizaciones de los estados de superficie y su hidrodinámica superficial

Grunberger O., Janeau J-.L., Reyes-Gómez V. M.

Introducción.

Algunos mosaicos de vegetación se organizan en manchas que algunos autores han notado con anterioridad bajo la forma de “distribución aleatoria de playas vegetales” (Delhoume, 1992) o "manchones" (González Barrios, 1992), rodeados por una superficie de suelo desnudo: el "peladero". La superficie ocupada por la organización descrita en este contexto es del orden de 6.2 km^2. La zona de estudio es muy próxima a la estación 5 (Mapa anexo al libro). Las especies vegetales arbustivas dominantes están representadas por *Prosopis glandulosa* Torr. "mezquite", ubicado en el presente caso en la parte más alta de los montículos ocupados por madrigueras de roedores, por *Suaeda nigrescens* I.M. Johnst. *var. glabra* I.M. Johnst.; las herbáceas más representadas son *Hilaria mutica* (Buckl.) y *Sporobolus airoides* (Torr.).

Métodos y medidas.

- **Dos fotografías aéreas fueron** tomadas a partir de globos cubriendo una superficie total de tres hectáreas; las cuales permitieron la medida del área de la cobertura vegetal global, de la densidad de manchones así como su superficie.

- **Las medidas del suelo** consistieron en la caracterización de la organización de los estados de superficie en las unidades incluidas en dos parcelas de 1 hectárea.

  Tres transectos fueron realizados por manchón, del centro hacia la periferia y el peladero: uno hacia la parte alta de la pendiente, otro hacia abajo y el último de forma perpendicular. En total, 2 486 m de perfiles fueron descritos durante febrero 1991. La metodología de descripción así como las claves principales de clasificación fueron las utilizadas por Cazenave y Valentin (1989).

☞ La lista de los estados de superficie encontrados se encuentra en la primera columna de la tabla 32. Siete coberturas vegetales y cinco organizaciones superficiales del suelo permitieron describir la cobertura edafológica. Para enriquecer la descripción de las organizaciones superficiales del suelo, cinco caracteres son presentados en esa misma tabla.

Sobre las tres parcelas de una hectárea, la profundidad máxima de las depresiones y la altura máxima del montículo fueron medidas con relación al nivel del peladero con una regla nivelada de 6 m. Se midieron las longitudes del segmento y la perpendicularidad, así como el azimut magnético entre 0 y 180º. Estas medidas de distancia y altura permiten una estimación de las superficies y de los volúmenes, se atribuyeron como formas planas en forma de elipses, y los volúmenes como elipsoides. Los resultados promedio de estas medidas se presentan en la Tabla 32.

Finalmente, se llevaron a cabo simulaciones de lluvia para cada tipo de elemento encontrado: mancha, transición mancha-peladero, peladero, montículo.

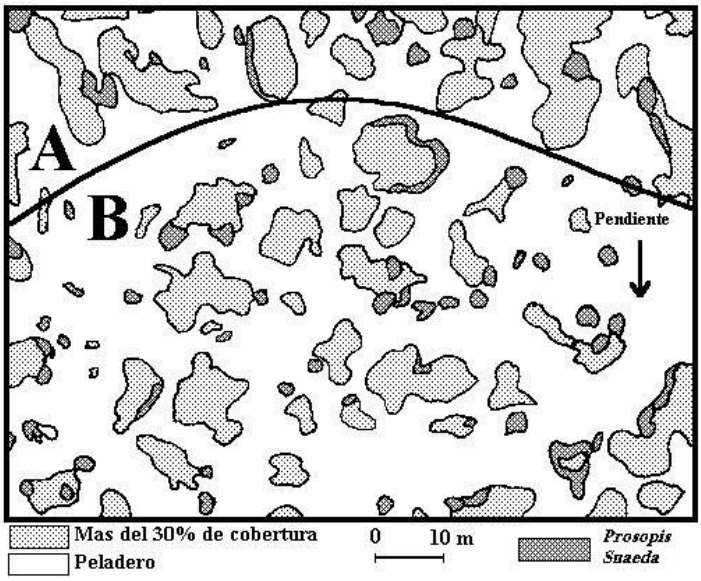


Figura 68. Diagrama de una vista aérea de una zona de vegetación contractada (manchas y lomas o montículos). La zona A es una zona de pendiente baja (0.19%) y la zona B es una zona de pendiente más acentuada (superior a 0.4%).

Resultados y discusiones.

- En vista aérea, la contracción de la vegetación es muy marcada, los islotes, playas, manchas (o manchones) de vegetación están bien delimitados por los espacios desnudos (o peladeros) que presentan una vegetación muy escasa (Figura 68). La densidad de los manchones es muy

variable y las dos tomas fotográficas analizadas muestran una gran influencia de la pendiente general. La baja pendiente de 0.19% favorece una cobertura de manchas de 46%, compuesta por la mitad de unidades de superficie superior a 240 m² con una densidad de 26 unidades por hectárea. Una pendiente dos veces más importante desarrolla una cobertura relativamente baja (29%) compuesta por la mitad de unidades inferiores a 110 m² pero con una densidad más elevada de 59 unidades por hectárea.

- Sobre el terreno (Figura 69), la vegetación baja está reagrupada en manchones desconectados que aparecen en depresiones ligeras con relación a los espacios desnudos. Los arbustos, al contrario, están ubicados en pequeños montículos (o lomas) de algunos decímetros, con una superficie de algunos metros cuadrados. Los porcentajes de coberturas (Tabla 32) demuestran el carácter ramificado del medio. Sobre un peladero que abarca más del 94% de suelos desnudos, la existencia de los islotes en depresión se contrapone con un 62% de cobertura vegetal y de lomas con mezquites con un 70% de cobertura vegetal.

- *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides* constituye lo esencial de la vegetación de los manchones. Las películas de decantación son las únicas organizaciones superficiales presentes y se asocian a algas en superficie. El *Prosopis* es escaso al interior del manchón.

- El peladero está dominado por costras estructurales donde la erosión hace difícil la distinción con las costras de erosión. Sin embargo, debido a la baja pendiente una parte de las películas de decantación se desarrolla con una proporción mucho menor de algas. La especie vegetal más representada es *Suaeda nigrescens*. Esta zona de peladero está muy marcada por la acción de la sal que modifica una gran parte de la superficie transformando su estructura a forma pulverulenta.

- La loma o montículo está marcada por la predominancia de la cobertura vegetal arbustiva del *Prosopis*, y de *Suaeda*.

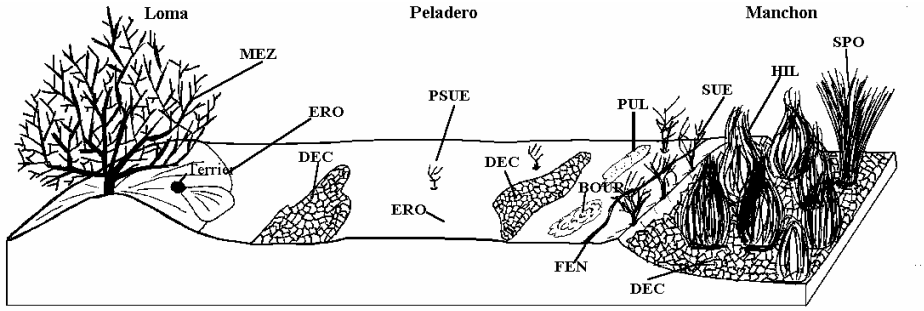


Figura 69. Principales estados de superficie observados y su distribución más común. Los códigos están referenciados en la tabla siguiente.

Tabla 32. Composición de las unidades principales: manchón, peladero y loma, en estados de superficie (%).

Elementos→ Estados de superficie encontrados por elementos de las organizaciones↓	Código	Porcentaje de cobertura (%) Manchón	Peladero	loma
º Organizaciones superficiales del suelo				
Peliculas de decantación	DEC	36.51	26.66	2.42
Costras estructurales y de erosión	ERO	0.81	64.50	16.21
Termiteros	TER	Nd	0.74	0.18
Restos vegetales	DEB	0.19	2.29	10.45
Hormiguero	FOUR	Nd	0.19	nd
Total de organizaciones superficiales		37.51	94.38	29.26
º Especies vegetales				
Hilaria mutica (Buckl)	HIL	42.40	0.03	1.31
Sporobolus airoides (Torr.)	SPO	14.82	0.75	1.64
Prosopis glandulosa Torr.	MEZ	1.31	0.13	54.2
Restos de *Prosopis glandulosa* Torr.	SMEZ	0.05	0.08	2.05
Suaeda nigrescens .M. Johnst. *var. glabra* I.M. J.	SUE	3.39	3.30	10.08
Plántulas de *Suaeda nigrescens*	PSU	0.53	1.19	1.36
Cactáceas	CAC	Nd	0.06	0.30
Total de organizaciones vegetales		62.50	5.54	70.44
º Caracteres sobrepuestos				
Grado polvoriento por la acción de la sal	PUL	nd	18.44	nd
Desagregado por la acción de la sal	BOUR	nd	14.60	nd
Fisuras importantes	FEN	nd	2.69	nd
Algas en superficie	GEO	34.23	9.79	nd
Trazas de pisoteo de bovinos	PV	14.20	18.81	nd

nd= no definido

Los cortes medios de la transición entre manchón, peladero y loma (Figura 70) permiten constatar evoluciones internas de los estados de superficie.

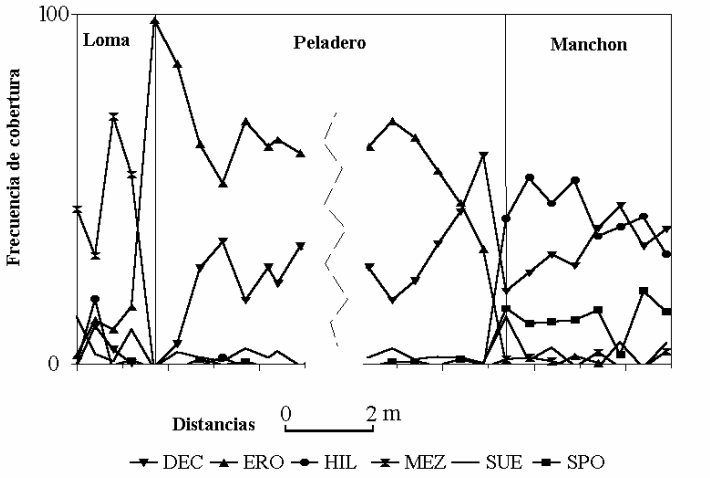


Figura 70. Corte promedio de los principales estados de superficie. Los códigos se refieren a la Tabla 32.

Del interior del manchón hacia los limites del peladero, la importancia del suelo desnudo decrece regularmente del 46 % a 2.75 m del borde hasta el 22 % de cobertura en el limite. Esto explica el aspecto anillado que presentan los islotes de vegetación, donde la densidad de vegetación es mucho más importante en los limites que en el centro de los manchones. La proporción de *Hilaria* con relación a *Sporobolus* permanece constante al interior de la unidad. Al contrario, la cobertura de *Suaeda* en el interior del islote de vegetación, que es sensiblemente la misma que sobre el peladero (3 %), aumenta considerablemente en el limite de la mancha alcanzando el 14 %. Los caracteres sobrepuestos ligados a la salinidad son mas frecuentes en las cercanías del manchón que sobre el peladero. En los primeros metros del peladero, la frecuencia media es de 28% para el carácter suelo suelto (contra 18.4% sobre la totalidad del peladero), y de 22% para el carácter polvoriento (contra 14.6% sobre la totalidad del peladero).

El peladero, en las cercanías de la mancha, muestra una dominancia de la cobertura en películas de decantación que alcanza el 61 % y decrece regularmente hasta un mínimo de 19% a los 2.25 m %, donde las costras estructurales y de erosión dominan. Cerca de la loma, sobre el peladero, el fenómeno se invierte: la cobertura de películas estructurales y de erosión decrece hasta un mínimo de 53 % a 1.75 m donde las películas de decantación dominan.

Tabla 33. Micro relieve de las manchas (*manchones*) y de los montículos en dos sitios diferentes (surperficie, altura, volumen).

	Manchones		Montículos	
	Parcelas 1 y 2	Parcela 3	Parcelas 1 y 2	Parcela 3
º Numero y % de superficie.				
Numero de unidades por hectárea (numero ha^{-1})	41.5	46.0	17.5	43.0
Superficie relativa total (%)	31.7.	20.9	1.81	2.19
º Profondidad o altura máximas				
Media (cm)	16.9	10.4	14.9	16.63
Coeficiente de variación	0.47	0.40	0.43	0.46
º Altura del borde externo de la mancha				
Media (cm)	3.83	2.49	nd	nd
Coeficiente de variación	0.76	0.55	nd	nd
º Superficies *				
Media (m^2)	76.56	45.52	15.61	8.87
Coeficiente de variación.	0.79	1.25	0.46	0.67
º Volumen del manchón y del montículo.**				
Media (m^3)	10.25	7.84	1.81	2.19
Coeficiente de variación	1.05	1.48	0.57	0.91
Relación con la superficie (mm m^{-2})	42.5	36.1	3.2	9.41

**Calculo por aproximación a una elipse, **Calculo por aproximación a una elipsoide, nd: no definido.*

A simple vista y según la pendiente, ninguna orientación es perceptible, sin embargo, el acumulo de las longitudes en las 6 clases de orientación de 30º muestra una pequeña orientación preferencial según la pendiente por los manchones. En la clase de 75º-105º que envuelve la dirección de la pendiente (90º), se encuentra un 30% de la distancia acumulada. Para las lomas, el 29% de la distancia acumulada es según una dirección perpendicular a la pendiente. Las lomas orientadas según la pendiente son en promedio más elevadas que las otras de 4.8 cm en promedio y los manchones orientados según la pendiente son en promedio los más profundos de 3.2 cm.

El cálculo de superficies por aproximación a una elipse indica una cobertura relativa de los manchones del 31.7% lo que es coherente con los resultados de las fotografías aéreas (29% y 46%). Las características morfológicas de las unidades (Tabla 33), implican que los manchones representan volúmenes de almacenamiento de escurrimientos superficiales importantes. De hecho, los volúmenes de las depresiones, si se ignora el volumen ocupado por la vegetación permite almacenar, sin tomar en cuenta infiltración, una lamina de agua de más de 40 mm lo que representa un 96% de las lluvias diarias (Cornet, 1988). Son estas medidas de superficies y volúmenes que junto con los resultados de simulación de lluvias permiten la elaboración del escenario para la repartición de la humedad después de eventos pluviales.

Hidrodinámica superficial

La utilización del simulador de lluvia permite resumir las características de la función hidrodinámica superficial de algunos parámetros claves (Cap. 2). Las parcelas son seleccionadas

por su representatividad de la unidad a la que ellas pertenecen. En la Tabla 34, se reagrupan los resultados obtenidos.

Tabla 34. Parámetros y resultados de las simulaciones de lluvia efectuadas sobre las diferentes unidades (mancha, transición mancha peladero y montículo).

Parámetros medidos por la simulación de lluvias.	Código	Manchón	Limite Mancha - Peladero	Zona desnuda	Loma
Intensidad de lluvia (mm h^{-1})	Ip	92.2	17.6	14.0	92.2
Lluvia útil (mm)	P_u	70.5	23.1	16.7	85.0
Lluvia de imbibición (mm)	P_i	5.4	3.5	2.3	2.8
Lluvia eficaz (mm)	P_e	65.1	19.6	14.4	82.2
Lamina de agua escurrida (mm)	L_r	35.5	12.0	13.6	13.4
Lamina de infiltración (mm)	L_i	35.1	11.0	3.1	71.6
Coeficiente de escurrimiento (%)	K_{ru}	**50.3**	**52.1**	**81.4**	**15.8**
Coeficiente de esc. eficaz (%)	K_e	54.5	61.4	94.1	16.3
Intensidad de escurrimiento* (mm h^{-1})	R_x	57.5	12.3	13.2	24.4
Intensidad de infiltración* (mm h^{-1})	F_n	**34.7**	**5.3**	**0.8**	**67.8**

* Promedio durante el régimen permanente de escurrimiento.

Parece que las cualidades hidrodinámicas están netamente ligadas al estado de superficie dominante en la unidad. Sin embargo, en todos los casos la lluvia de imbibición es inferior a 6 mm.

- En la mancha, donde dominan las películas de decantación y la vegetación, se produce una infiltración no despreciable: el suelo es susceptible de absorber a intensidades del orden de los 35 mm h^{-1}.
- Sobre el peladero, donde dominan las costras estructurales la infiltración es mínima, sea en transición o en el centro del peladero. Las intensidades de infiltración observadas más elevadas son del orden de los 5 mm h^{-1}.

- En el suelo del montículo, debido a la superficie particular creada por los roedores, y a pesar de su pendiente, la infiltración es muy fuerte. Las medidas muestran intensidades de infiltración de más de 67 mm h^{-1}.

Estas observaciones, asociadas a los cálculos de los volúmenes y las superficies, permiten hacer algunas estimaciones globales que describen un cierto tipo de funcionamiento que conviene sea considerado con reservas.

- Una lluvia inferior a 2.3 mm no produce escurrimiento superficial, la humedad se distribuye de la misma manera que la lluvia.

- Una precipitación con intensidad de orden de los 16 mm h^{-1} durante un tiempo suficiente para que se establezca el régimen permanente de escurrimiento, produciría situaciones contrastadas según las unidades consideradas.
  - ⇒ En el montículo (1.8% de la superficie) la infiltración es total.

⇒ Sobre el peladero (66.5% de la superficie) se genera un escurrimiento susceptible de acumularse en las contracciones de vegetación correspondientes a un "exceso de lluvia" de 31.4 mm h^{-1}.

⇒ La mancha (31.7% de la superficie) recibe el escurrimiento salido del peladero además de la lluvia. El calculo muestra que se requerirían unas diez horas a régimen permanente para que una depresión media se desborde.

- Si llueve con una intensidad muy fuerte, más de 90 mm h^{-1} durante un tiempo suficiente para que se instale el régimen permanente, las mismas bases producen un escenario diferente.

⇒ Sobre el montículo, un escurrimiento de 24 mm h^{-1} produce un exceso de lluvia de 0.4 mm h^{-1} sobre las otras superficies.

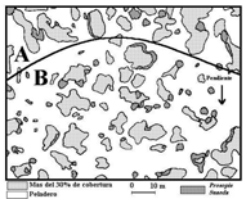
⇒ Sobre el peladero se genera un escurrimiento susceptible de acumularse en las manchas correspondiendo a un exceso de lluvia de 186.1 mm h^{-1}.

⇒ En el manchón, si el escurrimiento proveniente del peladero se suma a los 90 mm h^{-1} que recibe directamente la mancha, una depresión media se llenaría de agua, desbordándose en 43 minutos.

Desde luego, las medidas hechas sobre un metro cuadrado no permiten una previsión de los fenómenos en superficies mucho más amplias y extendidas. Por ejemplo, a la escala de la unidad de paisaje, la cantidad relativa de escurrimiento que escapa a la captación por las manchas es desconocida. Sin embargo, no hay duda que las estructuras medias de depresiones son susceptibles de captar una gran cantidad de lluvia, aun para intensidades fuertes, durante largos periodos de tiempo. El peladero juega claramente un papel de área de captación de lluvia y de producción de escurrimiento. Por consecuencia los escenarios que se pueden prevenir son que la mancha recibe una cantidad de lluvia efectiva superior a los 400 mm a^{-1}.

Conclusiones.

La importancia de las costras estructurales y de erosión del peladero es la causa de un escurrimiento importante. Al contrario, el manchón donde las películas de decantación y la vegetación dominan, es el lugar donde la infiltración se ve favorecida contribuyendo a mantener la vegetación. El peladero sirve como zona de captación de lluvia y producción de escurrimiento hacia los manchones de vegetación de depresiones. La dominancia de los caracteres ligados a la sal en el borde del manchón, así como la frecuencia elevada *Suaeda nigresens* de carácter halofilo bien establecido, son el efecto de una dinámica salina que se traduce por un fuerte gradiente entre el manchón y el peladero. La contracción radial de la vegetación es consecuencia de las características hidrodinámicas superficiales del medio. El funcionamiento de estas unidades está ligado en parte a una organización interna del suelo que es motivo de estudio del siguiente artículo.



Los manchones de la reserva de la biosfera de Mapimí.

Segunda parte:

Estudio de la organización del suelo

Grunberger O., Janeau J.-L., Reyes-Gómez V. M.

Introducción

Las manchas de vegetación (o manchones) descritas en la primera parte son el objeto de un estudio edafológico a través de la realización de varios transectos que cortan las diferentes unidades definidas por la organización de los estados de superficie. En efecto, una vez definida la función externa de estas unidades es necesario asegurarse que las estructuras internas del suelo correspondan al funcionamiento observado en la superficie.

Materiales y métodos

Un corte de 8 m de longitud, 1.5 m de profundidad y 0.7 m de ancho fue realizado en mayo de 1994. El corte inicia en una mancha de *Hilaria sp.*, atraviesa el peladero (área desnuda) y se termina después de un montículo sobre el cual crece un *Prosopis sp.* El transecto sigue la pendiente arriba de la zona de mancha. La topografía del transecto se realiza con un nivel de precisión al 0.5 cm de exactitud.

Un segundo corte, teniendo las mismas características pero de una longitud de 3 m, retomado aquí había sido efectuado en mayo de 1992. Este corte inicia en el peladero y termina en una mancha de *Hilaria sp* bordeada de *Suaeda sp.* Evidencias de perturbaciones de los estados de superficie por la sal son observadas en el margen de la mancha de vegetación.

Los cortes están descritos de manera fina cada 50 cm donde se recogió el suelo representativo de cada nivel observado para analizarse en el laboratorio, donde son determinadas: la humedad a 55ºC, la humedad ente 55º y 105ºC, y en soluciones de suelo (lixiviación 1:16) las conductividades eléctricas y los contenidos en iones de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-} y Cl^{-}.

Resultados y discusiones

Descripciones del corte de 8m sin *Suaeda sp.*

En la Figura 71, se ilustra un diagrama del corte que se describe a continuación:

- **Bajo la mancha y el peladero.**

A:[0-10cm]: muy claro (blanco), cantidad abundante de raíces de talla media. Pocas raíces inactivas. Estructura en agregados irregulares de talla media de 0.5 cm. La consistencia del horizonte es dura, con textura fina.

S: bajo la mancha [10-40cm]: transición neta, color café, aparición de fisuras finas [0-0.3cm] que alcanzan los 40 cm de profundidad. Raíces en cantidades moderadas, finas. La estructura es sub-angular, con agregados sólidos y de talla media de 1 cm. Las fisuras producen un efecto columnar sobre la estructura. Macro porosidad vesicular moderada.

Yp: en la mancha [40-62cm], fuera de la mancha [10-62cm]: transición neta, color café más oscuro. Algunas raíces muy finas. Agregados sub-angulares [0-0.5 cm] de consistencia más frágil. Más húmedo. Presencia importante de manchas blanquecinas indicando la presencia de yeso de tipo lenticelas [0-0.2cm]. Textura fina.

C:[62-150cm]: Más húmedo, consistencia más frágil que el anterior, color café más oscuro. Estructura muy compacta, con textura al tacto muy fina. Textura limonosa excepto en presencia de nódulos de yeso. El yeso es mucho menos abundante y su forma es muy irregular no lenticelar.

[90-100cm]: más nódulos de yeso, aparición de manchas obscuras.

[100-120cm]: los nódulos de yeso desaparecen, las manchas obscuras aparecen de forma más abundante y sus colores son más bien con tonos rojos.

- **Bajo el montículo.**

A11: [0-40cm]

[0-20cm]: color rosáceo. Estructura frágil con agregados centimétricos, abundantes hojas de *Prosopis sp*. (10%). Fuerte porosidad.

[20-35cm]: presencia de deshechos vegetales pero menos cantidad de hojas de *Prosopis sp.* Consistencia polvorienta.

[35-40cm]: lado del montículo

A12:[40-78cm]: color grisáceo, estructura muy fina, algunos restos vegetales, muy pulverulenta, depósitos laminares de tipo eólico sueltas al tacto.

[70-78cm]: raíz de *Prosopis sp.*

Yp:[70-86cm]: Transición neta. Color café oscuro. Algunas raíces muy finas. Agregados sub-angulares [0-0.5cm] con consistencia muy frágil. Más humedad aparente. Manchas blancas de yeso. Se trata de un yeso lenticelar [0-0.2 cm]. Textura general fina. El yeso presenta un aspecto menos reciente y parece de productos de disolución. La porosidad es más importante que en la zona de peladero a esta misma profundidad.

Descripción del corte de 3m con *Suaeda sp.*

En el corte de 3 m, los horizontes observados son similares en su variación a los observados entre la mancha y el peladero del transecto de 8 m. El horizonte enriquecido en yeso es más espeso bajo el peladero que bajo la mancha de vegetación. Importantes fisuras, mucho más anchas que en el primer corte se observan en sentido vertical de la mancha. Las grandes fisuras se presentan sobre todo en el horizonte C justo a una profundidad 1 m. Cristales translucidos de sales solubles aparecen en el horizonte C, al iniciar el peladero. Fenómenos de desagregación de la estructura del suelo por la sal, se producen en los horizontes superficiales en el limite entre las dos unidades.

Conclusiones parciales

Existe un horizonte continuo y generalizado que presenta un fuerte contenido de yeso. Este horizonte debe presentar un comportamiento original desde el punto de vista de hidrodinámica (Figura 71). Su estructura aparentemente impregnada de yeso, probablemente le atribuye una rigidez relativa en comparación con los otros horizontes y le da un carácter más impermeable. De igual manera es posible que este horizonte sea más difícil de penetrar por las raíces de herbáceas. La zona desnuda presenta el suelo no modificado por los fenómenos de disolución. Abajo de este horizonte, el suelo parece globalmente el mismo sobre todo el corte.

- Bajo la mancha, este horizonte es mucho menos importante, y al parecer da lugar, por disolución a un horizonte sin yeso, con una estructura más reafirmada, una porosidad importante y un sistema de fisuras finas que permite una penetración más fácil de raíces y probablemente un cierto hinchamiento, luego de la humidificación. La depresión proviene luego de la disolución parcial y puntual del yeso del horizonte enriquecido por el yeso. En el caso del transecto menor esta disolución afecta de la misma manera a la halita. Esta disolución progresa verticalmente (de la superficie a la profundidad) y la perdida de materia soluble es una de las causas de la depresión topográfica de la mancha. La infiltración facilitada dentro de la mancha y la presencia de vegetación (Cap. 4) produce ciclos de desecación y humectación que se traducen por cambios de volúmenes importantes debido a la presencia de minerales arcillosos y de estructura. A estos movimientos de masa se opone la rigidez del horizonte rico en yeso, lo que produce fisuras en el limite del peladero. Este fenómeno es más marcado mientras más exista un contraste de salinidad entre la mancha y el peladero.

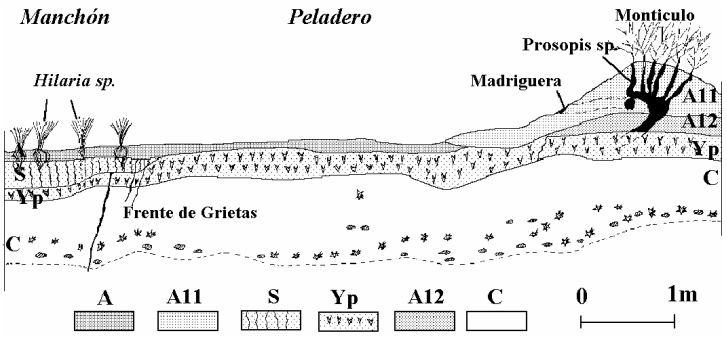


Figura 71: Corte edafológico esquemático del transecto de 8 m entre la mancha (a la izquierda), el peladero (zona desnuda, al centro), y el montículo (a la derecha).

☞ Encima de un horizonte sin gran variación (C), que contiene nódulos de yeso y manchas de oxido de hierro en sentido de la profundidad, se encuentran un horizonte (Yp) con mucho yeso bajo el peladero y bajo el montículo. Bajo la zona de vegetación herbácea se encuentra un horizonte sin yeso con una estructura bien definida. Bajo el montículo, a nivel del peladero se presenta un (A12) de arenas muy finas en capas laminares de tipo eólicas. El horizonte de superficie es distinto en el peladero y la mancha (A) donde es masivo y compacto mientras que en el montículo, el horizonte (A11) es el resultado de la actividad da la fauna.

- Bajo el montículo, la capa con fuerte contenido de yeso muestra evidencias de disolución y de recristalización parcial. Sin embargo esta disolución parcial no permite la instalación de un

horizonte propicio para la vegetación herbácea. Sobre la capa rica en yeso se forma, con ayuda del obstáculo del mezquite, una capa de arenas finas por acumulación eólica, de los productos del arbusto así como una acumulación de productos de escurrimiento. El horizonte de superficie es debido a que después de que se instalen los roedores, crucen el material del horizonte arenoso y del limite del horizonte rico en yeso. Las madrigueras no atraviesan el horizonte rico en yeso debido a su dureza.

Calidades químicas del suelo.

Resultados sintéticos

Los resultados sintéticos están señalados en la Tabla 35. Los contenidos en sal de los extractos 1:16 muestran que el ion sodio domina sobre los otros iones. La presencia constante de yeso hace que el ion sulfato (calculado por diferencia del balance iónico) este más representado que el ion cloruro. El pH presenta poca variación lo que deja suponer la presencia de carbonato de calcio que estabiliza este parámetro. La humedad ponderal es considerable para un suelo de zonas áridas. La salinidad expresada es elevada pero presenta muchas variaciones. Los contenidos en iones más bajos (K^+, HCO_3^-), son los que presentan los coeficientes de variación más elevados.

En promedio, los contenidos son los mismos en los dos casos, a pesar de que un ligero exceso en los contenidos del ion Na^+ se refleja en la salinidad global del transecto de 3 m. Se observan ligeras diferencias entre los coeficientes de variación observados en los dos sitios para los mismos parámetros. Por ejemplo, las variaciones sobre el índice de yeso son más importantes en el corte de 3 m. Al contrario, un coeficiente de variación más elevado de los contenidos en iones potasio se produce en el corte de 8 m mientras que los contenidos iónicos de los extractos son del mismo orden.

Tabla 35. Resultados de los análisis de suelos analizados en los cortes de 8 m y de 3 m.

Cortes →		Corte de 8 m *(sin Suaeda sp.)*		Corte de 3 m *(con Suaeda sp.)*	
Numero de muestras→		80		60	
Parámetros ↓	Unidades↓	Media	C.V.	Media	C. V.
Humedad a 55ºC	(%)	12.03	0.50	10.81	0.57
Indice de yeso	(%)	12.16	0.37	12.14	0.56
Ca^{++} *	(meq l^{-1})	12.11	0.72	11.16	0.82
Mg^{++} *	(meq l^{-1})	0.72	0.51	0.64	0.55
K^+ *	(meq l^{-1})	0.19	1.52	0.13	0.21
Na^+ *	(meq l^{-1})	24.22	0.54	29.25	0.48
Cl^- *	(meq l^{-1})	8.97	0.30	n.m.	n.m.
HCO_3^- *	(meq l^{-1})	0.87	0.76	n.m.	n.m.
C.E. *	(µS cm^{-1})	3844.01	0.39	4764.4	0.38

* Medido en extracto 1:16.; C.E.,Conductividad eléctrica; n.m., no medido; C.V.,Coeficiente de variación.

☞ Los contenidos medios, en el caso del muestreo de los dos cortes repartidos espacialmente de manera homogénea, representan la cantidad global de sales solubles de cada corte y permiten la

comparación entre los contenidos. Las transformaciones que se pueden poner en evidencia entre los dos cortes son mínimas, las cuales se producen en los contenidos constantes y afectan poco los coeficientes de variación (excepto Ca^{2+}, yeso) donde los coeficientes de variación son más importantes en el corte de 3 m lo que indica una dispersión más importante de los valores.

Reparticiones espaciales

Carbonatos solubles.

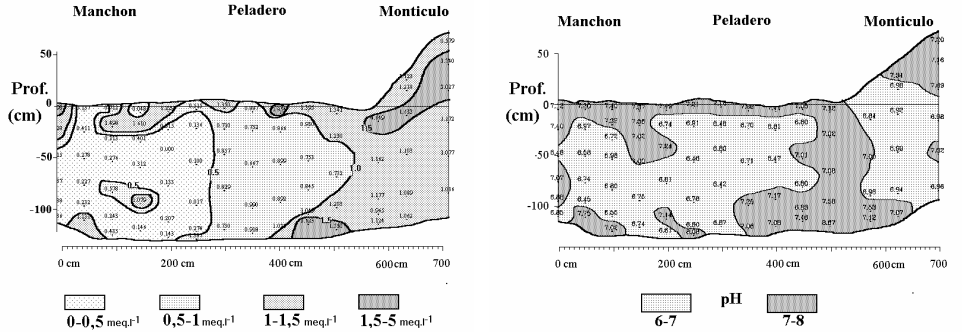


Figura 72. Contenidos en carbonatos y pH de los extractos 1:16 de las muestras del transecto de 8 m.

Los contenidos en carbonatos solubles siguen una evolución gradual de la vegetación de la mancha al montículo (Figura 72). Bajo la mancha de vegetación las cantidades son inferiores a 0.5 meq l^{-1}, mientras que dentro del montículo, los contenidos del extracto son superiores a 1.5 meq l^{-1} . Este gradiente bien diferenciado puede ser causado por dos fenómenos:

- Debido al flujo hídrico del manchón en sentido al peladero, se produce una disolución de carbonatos bajo la mancha, los que se precipitan más lejos bajo el peladero o el montículo.
- El montículo es una fuente importante de carbonatos debido a la actividad da la fauna en el montículo (producción de CO_2).

De hecho, es difícil determinar sobre la importancia relativa de cada uno de estos procesos, es posible que la zona de pH relativamente elevada, representara el limite entre estos dos fenómenos.

Humedad

En los dos cortes una fuerte humedad [a 55ºC] se observó a profundidad. Un fuerte gradiente de humedad, relativamente homogéneo existe en el primer metro de suelo. En el corte de 3m, las humedades son más fuertes al interior de la mancha y en el limite mancha-peladero, (inicio del perfil).

Las humedades entre 55 y 105ºC son un índice de la presencia de yeso. En los dos cortes, un horizonte intermediario rico en yeso aparece netamente. En el corte de 8 m, este horizonte parece alcanzar el nivel del peladero bajo el montículo. Se establece en aproximadamente 10 cm bajo el peladero y a 30 cm bajo la mancha (Figura 73). En el corte de 3 m el horizonte a fuerte humedad [55-105°C] aparece de la misma manera en superficie de la mancha, y sobre todo es más delgada

a nivel del peladero. Al contrario del corte de 8 m, las observaciones de campo no coinciden con la presencia del horizonte ancho de yeso a baja profundidad de la mancha de vegetación.

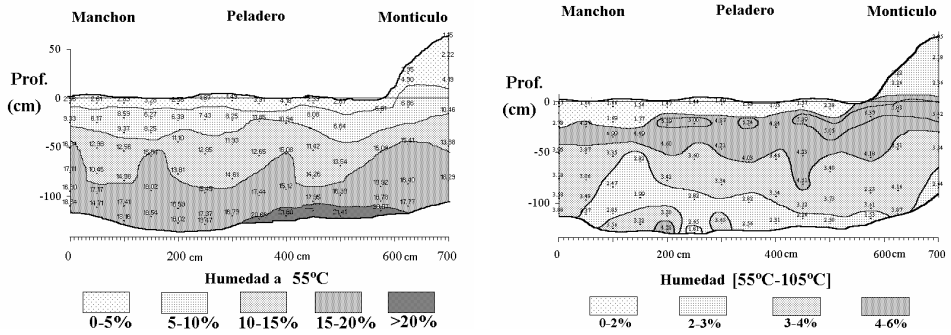
Salinidad

La conductividad eléctrica de los extractos representa el carácter salino del suelo. La re partición espacial de este parámetro muestra un carácter contrastado en los dos cortes (Figura 73 y Figura 74). A profundidad, el suelo presenta conductividades en extractos superiores a 4000 $\mu S\ cm^{-1}$.

En el corte de 8 m la salinidad es más elevada bajo el peladero. Los horizontes superficiales presentan conductividades en extractos menos elevadas, sobre todo en la mancha, donde las capas con conductividades inferiores a 2000 $\mu S\ cm^{-1}$ se establecen justo hasta los 30 cm de profundidad, mientras que bajo las zonas desnudas esta salinidad es rebasada por los horizontes mucho más superficiales.

El montículo presenta conductividades más elevadas, probablemente al trabajo de los roedores quienes acarrean a la superficie un material más cargado en sal. En el limite peladero - montículo, una zona con una salinidad débil se distribuye justo a los 60 cm de profundidad. Los contenidos en iones Cl^- del corte de 8 m muestran, que en general, los contenidos en cloruros son más elevados con la profundidad. Sin embargo, si la mancha y el montículo presentan horizontes superficiales menos cargados en cloruros, no es lo mismo para el peladero que presenta fuertes concentraciones en superficie.

En el corte de 3m, el contraste de salinidad es muy fuerte entre la mancha y el peladero. Bajo el manchón, las medidas de conductividad inferiores a 3000 $\mu S\ cm^{-1}$ se establecen a profundidades de 80 cm, mientras que bajo el peladero, las conductividades más fuertes están en los horizontes entre 30 et 90 cm de profundidad. El “bulbo” de salinidad alcanza la superficie en el limite del peladero-mancha, lo que explica la implantación de *Suaeda sp*. y la desagregación o desmoronamiento de los estados de las organizaciones superficiales. La misma organización es observada para los contenidos en iones de Na^+.



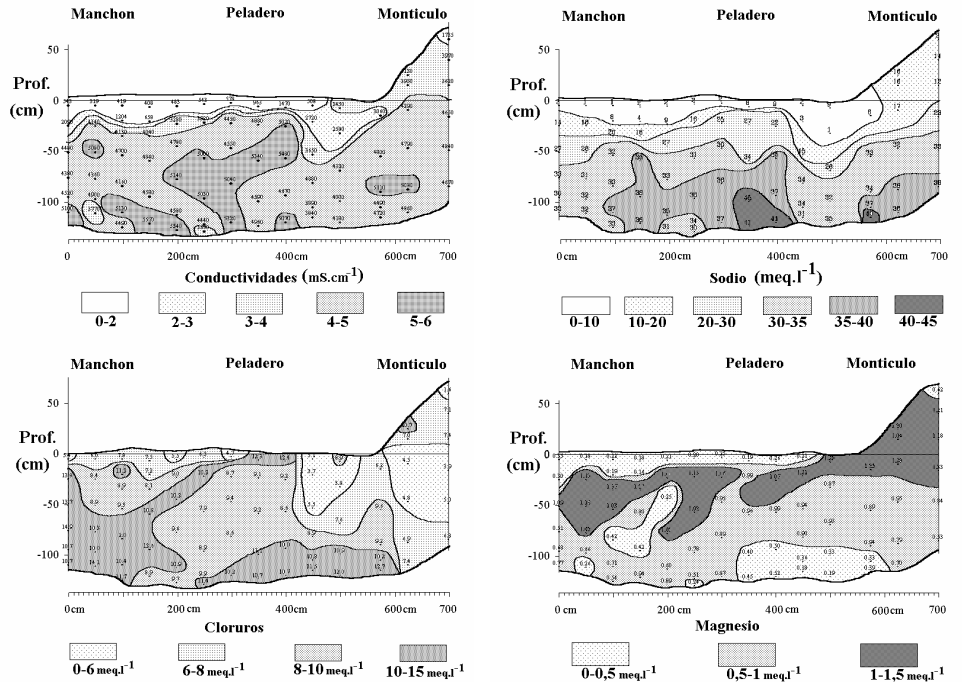
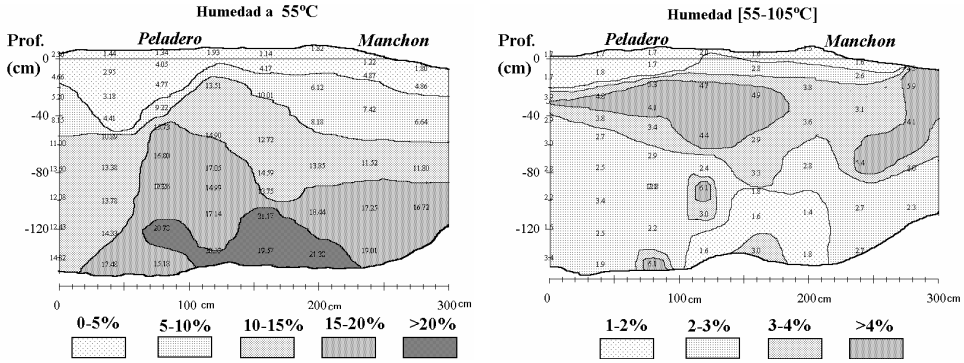


Figura 73. Resultados sobre las muestras de suelos del transecto de 8 m. Humedades masicas (%) a 55ºC y entre 55ºC y 105ºC, conductividades (mS cm^{-1}), y contenidos en iones Na^{+}, Cl^{-}, Mg^{2+}, de extractos 1:16. La mancha esta a la izquierda, el peladero (zona desnuda) al centro, y el montículo a la derecha.



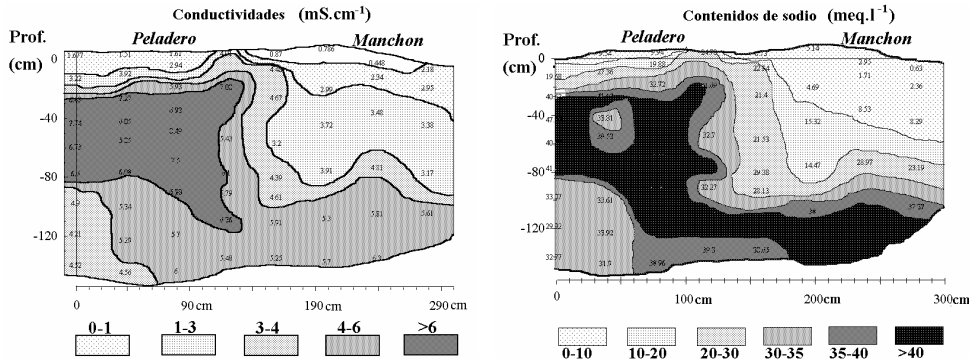


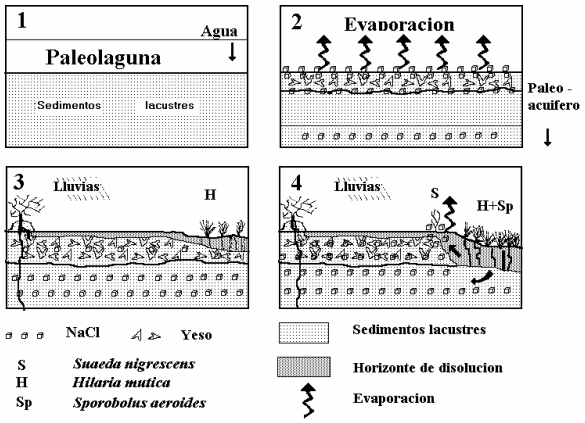
Figura 74. Resultados de las muestras de suelo del transecto de 3 m (Corte con *Suaeda sp.*). Humedades másicas (%) a 55ºC y entre 55ºC y 105ºC, conductividades (mS cm^{-1}), y contenidos en Na^+ (extractos 1:16). La mancha esta a la derecha, le peladero (zona desnuda) a la izquierda.

Conclusiones

El estudio de las características del suelo muestra que la presencia de manchones de vegetación está ligada al espesor más o menos importante de un horizonte enriquecido en yeso, probablemente producto de un acuífero salado que en lo sucesivo se encontraría hasta unos quince metros de profundidad. Este horizonte esta situado a unos diez centímetros de profundidad del peladero y al nivel de la superficie de este último en el montículo, no existe o de forma muy fina en el caso de la mancha.

Si se acepta la hipótesis de que el horizonte de yeso no originalmente reconstruido debido al nivel probable actual del acuífero, el conjunto estructural del perfil sería el producto, en esta caso el limitante de la disolución sería la repartición de los flujos (Cap. 4). Los dos ejemplos de manchas estudiadas (disolución completa de yeso, disolución solamente de la parte alta de este horizonte) muestran que diferentes situaciones se alcanzan según la intensidad de disolución que se presente. Una vez la disolución total, bajo la mancha, del horizonte de yeso, el lavado de la salinidad produce fuertes gradientes en los contenidos de cloruros de sodio, que inducen la repartición de la vegetación. Es muy importante mencionar que estos movimientos se producen en contenidos globales constantes como se muestra en la Tabla 35. De hecho, solo la repartición de los elementos parece cambiar a través del tiempo.

En lo que respecta al montículo, un origen eólico y por actividad de animales, puede ser propuesto para explicar el relieve que se instala alrededor del *Prosopis sp.* Bajo el montículo, el horizonte de disolución no aparece con relación al yeso, a pesar de que la salinidad es inferior a la del peladero. Siendo el montículo un lugar de infiltración importante, es probable que las aguas que se infiltran se saturen en yeso y que este hecho proteja al horizonte subyacente. Finalmente, un escenario puede elaborarse (Figura 75) que describe los diferentes posibles pasos del establecimiento de esta contracción particular de vegetación.

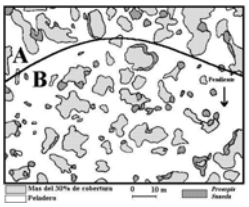


1-2 El fondo de laguna se origina o emerge a partir de un movimiento relativo entre el nivel freático y el fondo de la laguna. El yeso y la halita se concentran en los horizontes superficiales por efecto de la franja capilar de un antiguo acuífero.

3-Bajo la influencia del agua de la lluvia, una desalinización superficial se produce, la parte superior del horizonte yesoso se disuelve. En estos sitios donde esta disolución es suficiente, y donde las aguas superficiales tienen tendencia a acumularse, las plantas herbáceas se instalan para reforzar el fenómeno de disolución. El horizonte yesoso se adelgaza, pero permanece continuo, la desalinización no afecta el suelo de profundidad. Donde el horizonte de disolución es suficientemente importante una modificación del comportamiento físico del suelo comienza a producirse y se traduce por la presencia de ligeras fisuras de desecación.

4- Luego que la disolución es reforzada, la capa de yeso desaparece, la depresión es más importante lo que ayuda al almacenamiento de agua. La salinidad queda restringida a profundidad y bordes de la mancha bajo el efecto de los flujos hídricos centrífugos. El contraste del comportamiento mecánico, bajo la influencia de la disolución del yeso es muy importante: se opone a ello un suelo de manchas con fuertes modificaciones de volumen sobre un suelo petrificado de yeso muy rígido y sin aporte de agua.

Figura 75. Esquema descriptivo del posible escenario de constitución de una contracción de vegetación.



Los manchones de la Reserva de la Biosfera de Mapimí

Tercera parte:

El montículo: ejemplo de una interacción entre los estados de superficie, la fauna y *Prosopis glandulosa*.

Janeau J.-L., Aragón -Piña E., Reyes-Gómez V., García-Arévalo A.

Introducción

El montículo es un elemento importante del ecosistema que sobresale enormemente del marco de contracción en manchón debido a que es frecuentemente encontrado en los pastizales. Este trabajo tiene como meta la definición de las interacciones entre este elemento de superficie de este ecosistema y la fauna micro-mamífera y de algunos artrópodos. Se complementa con el estudio de las características hidrodinámicas del arbusto que genera el montículo.

Metodología

- Seleccionamos dos transectos de 500 metros de largo donde registramos los cambios del aspecto morfo-fisiológico del medio, los estados de superficie del suelo (la superficie del suelo, la vegetación y las reorganizaciones superficiales) y la actividad de la fauna (roedores). El primer transecto fue seleccionado perpendicularmente en sentido de la pendiente más importante del paisaje y el segundo paralelamente con el fin de observar la eventual incidencia del escurrimiento del agua sobre este ecosistema a esta escala de estudio. Las reorganizaciones superficiales fueron definidas de manera visual según la tipología de Casenave y Valentin, (1989). Su distribución espacial fue definida en función de los elementos encontrados que son, la mancha propiamente dicha, el contacto mancha-zona desnuda, la zona desnuda y el montículo. En lo que respecta a los micro-mamíferos su presencia se determinó por dos tipos de medios. Los directos, que consistieron en la identificación de las especies por captura utilizando las trampas convencionales (tipo Sherman, Tomahawk y Cepos) y los indirectos, que fue la identificación de excrementos, huellas y tipo de montículo, madriguera o morada. Estos últimos elementos son identificados sobre los transectos en función de las características de los hoyos de entrada a las cámaras de la madriguera (talla, pendiente y forma), excrementos (talla y forma) y las huellas. La actividad fue determinada por la ausencia de tela de araña, la presencia de huellas y de excrementos frescos y la acción de raspadura y pisoteo del suelo. La talla de las madrigueras

fue definida en tres categorías (pequeña, mediana y grande), con base a una decena de muestras tomadas al azar de cada categoría, en el área de nuestro estudio.

- Una madriguera activa de una rata canguro correspondiendo a un montículo de talla media fue abierta para definir su arquitectura (forma, talla, tipo de orificios, niveles y profundidad) y su composición (materiales vegetales transportados y depositados)
- Finalmente una simulación de lluvia fue usada para estudiar las modalidades de captación de la lluvia por un arbusto de *Prosopis glandulosa*. Una parcela de 1 m^2 fue dispuesta alrededor de un tronco de *Prosopis glandulosa*. La superficie del suelo de la parcela es cubierta por cemento. Alrededor del tronco se instaló un tubo colector de agua. Los flujos de agua tanto de la parcela como del tubo proveniente del tronco fueron seguidos de manera simultanea. Cuatro simulaciones fueron hechas sobre el mismo arbusto: a) arbusto completo con una intensidad de 41,28 mm h^{-1} durante 15 min. y b) de 28 mm h^{-1} durante 45 min, c) arbusto sin hojas con una intensidad de 14.16 mm h^{-1} durante 45 min, d) arbusto sin ramas (solo persiste el tronco) con una intensidad de lluvia de 44.16 mm h^{-1} durante 15 min. Enseguida, las hojas y las ramas fueron cuantificadas midiendo sus dimensiones para evaluar las superficies y volúmenes.

Resultados

Superficie relativa de los montículos.

Las superficies relativas encontradas en los dos transectos son coherentes con las informaciones deliberadas en el estudio de los estados de superficie realizadas precedentemente (Cap. 4). La evaluación del porcentaje de superficie cubierta por los montículos y las manchas son ligeramente superiores a las evaluaciones precedentes (Tabla 36).

Tabla 36**.** Porcentaje de ocupación de los estados de superficie encontrados.

Estados de superficie↓	Transecto nº 1	Transecto nº 2	Media
Montículos	6.74	3.8	5.27
Manchas de vegetación	39.02	40.38	39.7
Decantación (DEC)	36.12	24.58	30.35
Decantación con bioderma	3.28	10.16	6.72
Erosión	12.9	13.58	13.24
Estructural con fisuras	1.94	7.5	4.72

Relaciones del estado de superficie "montículo" con los otros parámetros

El análisis de componentes principales del ecosistema permite observar los parámetros en cada elemento del ecosistema, Figura 76. Los principales parámetros fueron: presencia de organismo capturado u observado (roedor, lagomorfo, arácnido o insecto), el diámetro del montículo o de la mancha, orientación y número de entradas en la madriguera para el caso de los roedores, tipo de organización del estado de superficie, especie vegetal asociada a la madriguera o a la mancha, tamaño de los arbustos de *Prosopis gladulosa* asociados a montículos. Los dos primeros ejes reagrupan el 26.85% de la varianza.

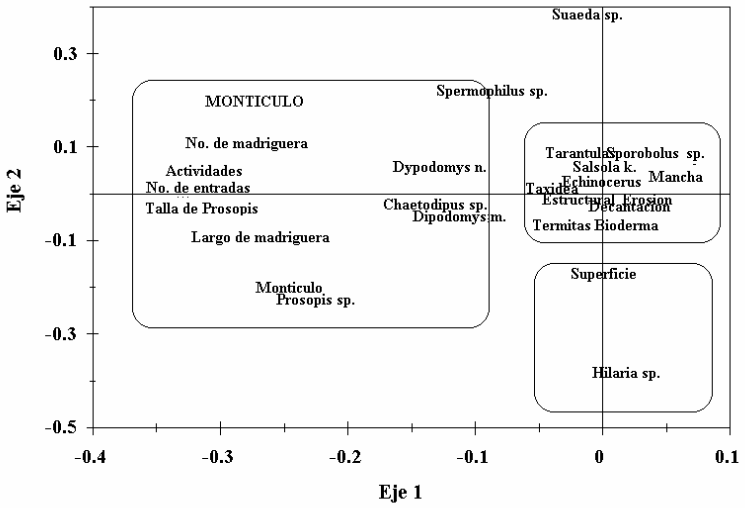


Figura 76. Ejemplo de resultados del análisis de componentes principales de datos colectados en los dos transectos. Espacios de variables según los dos ejes mayores de la nube de puntos.

A partir de este A.C.P., se observó que en la intersección de los ejes están reagrupados los parámetros de las costras de superficie demostrando una aproximación de la zona desnuda (Erosión) y la acumulación del agua de escurrimiento al pie del montículo (costras de decantación). El montículo es puesto en evidencia notablemente por los parámetros de cobertura del mezquite (*Prosopis sp.*).

La fauna de los montículos.

Lo esencial de la fauna que constituye los micro-mamíferos es dependiente de la localización de las madrigueras, de los montículos, lo que había que probar por el estudio de la organización espacial de las madrigueras. La organización al interior del montículo del hábitat es presentada por la descripción de un corte de montículo.

Las especies y su distribución espacial

Las especies encontradas directamente o indirectamente son:

- **cuatro roedores**, *Dipodomys nelsoni* y *Dipodomys merriami* (ratas canguro), *Chaetodipus penicillatus* (raton pequeño), *Spermophilus spilosoma* (ardilla terrestre) ;
- **un lagomorfo**, *Lepus californicus* (liebre),
- **un carnívoro**, *Taxidea taxus*,
- **un arácnido** (tarantula),
- **un nido de isópteros** (termita).

El transecto n° 1 posee 13 montículos con 18 madrigueras de roedores y el transecto n° 2 , 6 montículos con 8 madrigueras. La mancha de vegetación tiene una madriguera (Tabla 37).

Tabla 37. Especies encontradas en función de su área de distribución.

Numero de madrigueras por zona	Peladero	Mancha	Montículo	
Numero de transecto→ Especies↓	1 y 2	1y 2	1	2
Roedores				
Dipodomys nelsoni			5	1
Dipodomys merriami			7	2
Chaetodipus penicillatus			4	5
Spermophilus spilosoma			1	
Liebre				
Lepus californicus		1		
Carnívoro				
Taxidea taxus		1	1	
Otros				
Aracnido	1			
Termitas			1	
Total	1	2	19	8

La fauna ha sido observada en los diferentes transectos como sigue: los roedores fuertemente asociados a los montículos, la talla de las madrigueras de los roedores están perfectamente adaptadas a la talla del montículo. Los lagomorfos y los carnívoros están asociados a las manchas, es ahí donde se encuentran sus guaridas. Las termitas han adoptado el montículo y los arácnidos la zona de peladero.

Los roedores están fuertemente asociados a las formaciones tipo montículo dado que las especies más comunes de la zona son principalmente granívoras y consumen preferentemente los granos de mezquite y los pequeños granos de herbáceas de las manchas. Sabemos que la distribución espacial de los roedores de la reserva de Mapimí esta dada principalmente por el régimen alimentario y la talla del animal, sin olvidar los otros factores del medio pero de menos importancia que son: el tipo de suelo, la heterogeneidad del medio, la complejidad de la fisonomía vegetal, la producción primaria, la competencia y el comportamiento ínter específico.
Los otros elementos de la fauna tienen regímenes alimentarios diferentes: los lagomorfos son herbívoros. Según los invertebrados observados, los insectos, termitas, saltamontes son fitófagos, las hormigas y los arácnidos omnívoros (Rivera y Viggers, 1991).

En el marco de nuestra zona de estudio, pudimos observar también en un número mucho menor, otros roedores: una rata nopalera, *Neotoma albigula*; dos pequeños roedores *Perognathus flavus* y *Peromyscus eremicus*, (Cap. 5) y numerosos invertebrados muy abundantes dentro de las manchas, vegetación, diplópodos, ortópteros y gasterópodos.

Descripción de una madriguera

Abrimos una madriguera de talla mediana correspondiendo a una *Dipodomys nelsoni*, el roedor con mayor impacto en la zona de estudio. Las dimensiones son las siguientes (longitud, ancho y profundidad): 3.85 m x 2.40 m x 1.15 m, con 17 orificios externos y 3 niveles internos (Figura 77). Se observa que las ramas del Mezquite aportan un soporte ideal para su elaboración,

creando un micro-medio particular con una temperatura ambiente interna decreciente en función de la profundidad, de 42º C a 30 cm del suelo hasta 35ºC a la entrada de las galerías y 27ºC en las cámaras más profundas y ramificadas. La utilización de las galerías puede ser diferente, se observan cámaras de alimentación y galerías de seguridad (evacuación de urgencia en caso de peligro). La rata canguro es granívora según lo constatan para ambientes de playa Grenot y Serrano, 1982. La rata acumula preferentemente semillas de mezquite, así como granos de chamizo (*Atriplex canescens)* y de algunas gramíneas (sabaneta: *Hilaria mutica* y pajón : *Sporobolus airoides)*. Estos productos de colecta le sirven de alimentos y de material de nidificación. También, observamos una separación del material acumulado (galerías de granos, de vainas y de gramíneas); y dentro de la galería más profunda con 15 cm de diámetro eran acumuladas ramas de paja indicando que eran utilizadas con fines de reposo y de refugio.

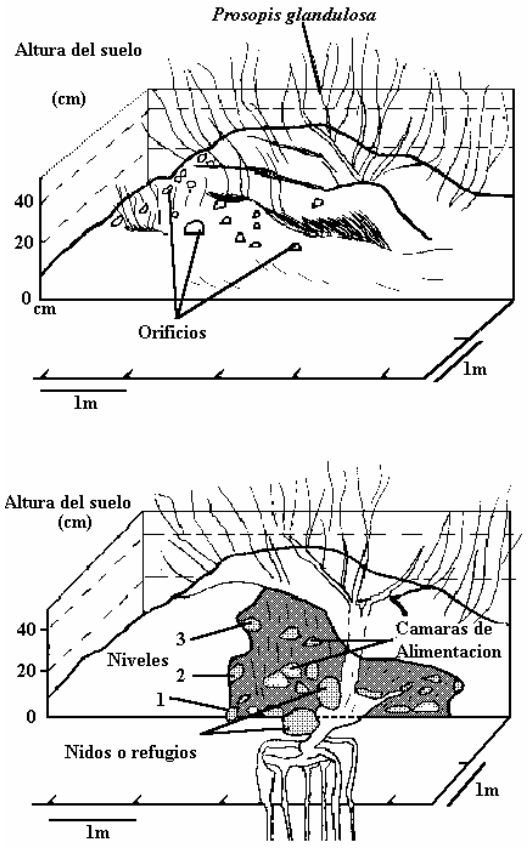


Figura 77. Aspecto externo e interno de una madriguera de rata canguro (*Dipodomys nelsoni*), la más importante en la zona.

Incidencias de madrigueras sobre el montículo.

La media de la superficie cubierta por los orificios de las madrigueras de roedores sobre los montículos es diferente en los dos transectos (TR1= 47 % y TR2 = 31 %; Mann-Whitney : U=15, Z=-2.14, P=0.03), mientras que para las manchas, solo un sitio de carnívoros fue observado. La actividad de madrigueras muestra que existe una dinámica proporcional similar en los dos transectos (2.2 a 1.8, respectivamente), para esto se tomó en cuenta solo el numero de madrigueras y el de orificios (entradas) presentes en los transectos paralelos situados en sentido del escurrimiento (TR2), ya que fue mínimo (U=5.4, Z=-0.41, P=0.68), Tabla 38.

Tabla 38. Porcentaje de la superficie cubierta por los orificios (entradas) en los montículos y de las manchas para las madrigueras activas por especies.

Madrigueras	Orificios % de superficie		Actividad (numero de individuos)	
Número de transecto	1	2	1	2
Especies				
Montículos				
Dipodomys nelsoni	50.0	25.0	3	1
Dipodomys merriami	47.5	37.5	3	1
Chaetodipus penicillatus	50.0	30.0	3	4
Spermophilus spilosoma	25.0		1	
Manchas de vegetación				
Taxidea taxus	50.0	10.0	1	1

Tabla 39. Clasificación de las madrigueras por clase de tallas en relación con las especies concernientes, y la importancia del montículo.

Clases de tallas de madrigueras	Alturas del montículo (m)	Longitudes del montículo (m)	Anchos del montículo (m)	Especies concernientes (nombre científico)
Pequeñas (n=12)				
Media	0.14	2.24	1.79	*Dipodomys merriami,*
Desviación	0.01	0.17	0.11	*Chaetodipus penicillatus,* *Dipodomys nelsoni,* *Spermophilus spilosoma* *Taxidea taxus*
Medianas (n=12)				
Media	0.25	3.25	2.41	*Dipodomys nelsoni*
Desviación	1.02	0.19	0,17	*Dipodomys merriami,* *Chaetodipus penicillatus*
Grandes (n=12)				
Media	0.36	4.70	3.86	*Dipodomys Nelson*
Desviación	0.02	0.27	0.21	

La clasificación de las madrigueras sobre los montículos demuestra que el roedor es el elemento de la fauna más activo para su elaboración, notablemente las ratas canguro (*Dipodomys*) que son los animales con más grandes influencias sobre las más grandes madrigueras (en volumen) y el pequeño roedor (*Chaetodipus*) sobre los montículos de talla pequeña. Esto debido a la relación entre la talla de las madrigueras y la talla del cuerpo del roedor (Tabla 39).

De igual forma, la formación y sobre todo el desarrollo de montículos están en función del número de madrigueras y consecuentemente de la abundancia de especies. De acuerdo a esto, se observa un número más importante de madrigueras y de montículos en el primer transecto (U=15.12, Z=-1.91, P=0.05; Tabla 40). Existe un modelo de distribución espacial de las madrigueras respondiendo a la necesidad de una adaptación de estos mamíferos al escurrimiento.

Tabla 40. Numero de madrigueras según su talla y las especies encontradas sobre los transectos.

Transecto →	Transecto nº1			Transecto nº2		
Tallas del orificio→ Especies↓	Pequeño	Medio	Grande	Pequeño	Medio	Grande
Montículo						
Dipodomys nelsoni	1	1	3	0	0	1
Dipodomys merriami	4	2	1	0	2	0
Chaetpodipus penicillatus	2	1	1	3	1	1
Spermophilus spilosoma	1			0		
Mancha						
Taxidea taxus	1		0	0		1
Total	9	4	5	3	3	3

Interacción entre el escurrimiento superficial y la situación de las madrigueras.

Los orificios de las madrigueras están sobre las pendientes o en la cúspide de los montículos con el fin de evitar la inundación y aprovechar la sombra y la alimentación proporcionada por el vegetal dominante (generalmente el mezquite, *Prosopis glandulosa*). Sin embargo, no hay diferencias en la orientación sobre los dos transectos (U=54.9, Z=-0.46, P=0.64). Las entradas son perpendiculares al eje de la pendiente general del medio y en la mayoría de los casos del lado contrario a la llegada del escurrimiento (IRE), más especialmente del lado paralelo al oeste del escurrimiento (U=32.9, Z= -3.02, P=0.003) y del lado Este (U=32.9, Z=-2.68, P=0.007). De igual forma, se observan numerosas entradas del lado paralelo Este en el sentido del escurrimiento (PEE), más numerosas que del lado paralelo (U=31.15, Z=-2.17, P=0.03,

Tabla 41. Orientación en medias de los porcentajes de los orificios de madrigueras.

	Numero de madrigueras		Lado derecho (%)		Pendiente abajo (%)		Lado izquierdo (%)		Pendiente arriba (%)	
Número de transecto Especies	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dipodomys Nelson	5	1	60	20	15	80	11		14	
Dipodomys merriami	7	2	21	20	3	50	20		17	30
Chaetodipus penicillatus	4	5	25	4	32, 5	56	7,5	20	30	7
Spermophilus spilosoma	1		100							
Taxidea taxus	1	1	30	20	70	70		10		

Hidrodinámica en los montículos

Como lo habíamos visto en el estudio de las organizaciones superficiales, el área relativa de los montículos no rebasa el 6%. Sin embargo adquiere importancia por las características muy particulares, que habíamos revelado en el capitulo precedente. De hecho, después de la simulación efectuada en estado seco inicial del suelo sobre el montículo, a pesar de las fuertes pendientes, intensidades de infiltración de más de 67 mm h^{-1} son observadas. La soltura del montículo, la falta de una organización superficial de los primeros centímetros del suelo protegidos por una cobertura aérea de *Prosopis glandulosa* y el estado de montículo, perforados de parte en parte por la madriguera nos permite comprender esas tasas de infiltración tan fuerte en esa zona. Sin embargo esta simulación fue realizada retirando la cobertura de vegetación arbustiva del montículo. Hubiera sido conveniente definir la influencia de esta cobertura sobre el escurrimiento superficial. Las Figura 78 y 79 muestran el tipo de curvas obtenidas, después de un tiempo que depende de la intensidad de la lluvia, el agua que fluye a través del tronco se estabiliza según un régimen permanente. Esto permite calcular para cada evento en régimen permanente, los valores medios de las intensidades absolutas (mm h^{-1}) y relativas (% de lluvia) características.

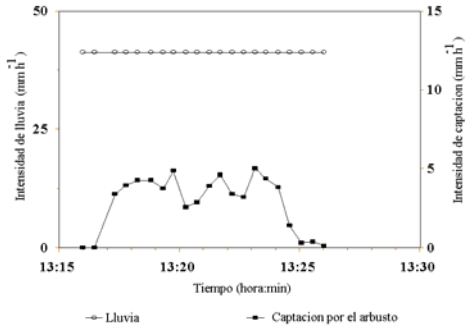


Figura 78. Captación por *Prosopis* de una lluvia de fuerte intensidad.

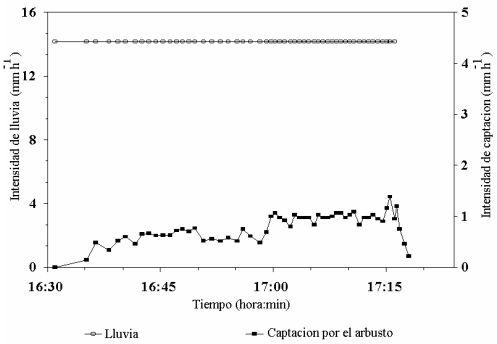


Figura 79. Captación por *Prosopis* de una lluvia de baja intensidad.

La superficie del canal alrededor del tronco es de 0.78% del total de la parcela de 1 m^2. La influencia del tronco concierne aproximadamente al 4% del escurrimiento de las dos intensidades de lluvia aplicadas. Las ramas producen una cierta concentración del agua que se conduce después al tronco. Las hojas tienen también cierta influencia sobre el escurrimiento en la base del tronco pues dicho volumen aumenta de 3 a 4 % cuando las hojas están presentes. Sin embargo, en régimen estacionario, no más del 10% de la lluvia desciende por el tronco. El efecto más importante es la conducción del agua al exterior de la parcela en forma de escurrimiento. Para intensidades bajas, por rebote sobre el tronco y el cemento más del 4.3% del agua de lluvia sale de la parcela mientras que el efecto de las hojas es de aumentar esta cantidad hasta en un 18%, Para las fuertes intensidades de lluvia el efecto de conducción de hojas es probablemente contradictorio por la violencia del impacto de las gotas de lluvia y solo una diferencia del 5% de la lluvia es observada (Tabla 42).

Tabla 42. Resultados sintéticos de los eventos de simulación sobre *Prosopis g.* considerando las intensidades medias a régimen permanente (en mm h^{-1} y % de la lluvia aplicada)

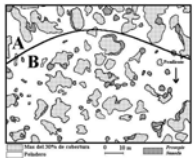
Repartición de agua en régimen permanente de simulación de lluvia	Agua del collar del tronco	Agua de la parcela	Lluvia	Lluvia que cae al exterior de la parcela
Pequeñas intensidades (≈14 mm h^{-1})				
Sin hojas (mm h^{-1})	0.56	12.98	14.16	0.611
(% de la lluvia)	(4.0%)	(91.7%)	(100%)	(4.3%)
Arbusto completo (mm h^{-1})	1.03	9.52	14.16	3.611
(% de la lluvia)	(7.2%)	(67.2%)	(100%)	(22.3%)
Fuertes intensidades (≈41 mm h^{-1})				
Sin hojas (mm h^{-1})	1.03	39.23	44.16	3.90
(% de la lluvia)	(2.3%)	(88.8%)	(100%)	(8.8%)
Arbusto completo (mm h^{-1})	3.85	32.47	41.28	4.964
(% de la lluvia)	(9.3%)	(78.6%)	(100%)	(12%)

Conclusiones.

Los mamíferos, y especialmente los roedores, tienen una gran importancia en el mantenimiento de la estructura de la vegetación como fue estudiado ya en otros desiertos (Beardsley, 1992; Brown y Heske, 1990) y en particular en el sistema estudiado: montículo-mancha-peladero. Las diferentes organizaciones espaciales por grupo de mamíferos se deben principalmente a los diferentes regímenes alimentarios y a la talla corporal, como había sido constatado por otros autores, y en una menor medida por su posición en la cadena alimentaria y su comportamiento (Grenot y Serrano, 1982; Mac Mahon, 1976). Las galerías, principalmente de ratas canguro, permiten una infiltración preferencial del agua justo a las raíces más profundas permitiendo una alimentación hídrica rápida manteniendo una higrometría ideal para las raíces superiores del arbusto. En contraparte, el roedor se beneficia del soporte de raíces para elaborar su madriguera, de la sombra, de los granos y los frutos que le "ofrece" el mezquite. Estamos pues ante interacciones para cada especie (simbiosis). El *Prosopis* concentra poca de agua en su parte basal, presentándose una tendencia de difundir el agua sobre los lados del montículo. Tomando en cuenta el 18% de la lluvia a intensidades bajas, este efecto contra resta un poco las facilidades de infiltración del suelo, produciendo una distribución sobre todo el montículo.

Se presenta un micro-ecosistema en equilibrio compuesto de montículos donde la alimentación hídrica y la disminución de la salinidad del suelo son posibles gracias a las zonas desnudas que juegan un papel de zona de captación de agua y producción de escurrimiento. El mantenimiento de la estructura está fuertemente inducido por la actividad de los roedores que dispersan los granos, acumulan los materiales necesarios a los montículos y activan la hidrodinámica interna.

Sus orificios de penetración a las madrigueras parecen jugar un papel activo en la evolución del montículo.



Los polígonos de *Suaeda sp.* en la playa.

Grunberger O., Janeau J. L., Reyes-Gómez V.M.

Introducción

Los polígonos de *Suaeda sp.* ya han sido descritos por Delhoume, Montaña y Cornet (1983) y Delhoume (1988). Se trata de una contracción de la vegetación particular y principalmente mono específica encontrada en lugares relativamente restringidos de la playa alta de la reserva de la biosfera de Mapimí. El objetivo de este trabajo es de enriquecer el conocimiento adquirido sobre estas organizaciones particulares poniendo acento sobre los procesos que son susceptibles de ser identificados en el origen y formación de tales organizaciones.

Antecedentes.

Según Delhoume (1988), las zonas de vegetación tipo poligonal de playa representan una unidad especifica de suelo. La génesis de la red poligonal esta explicada como "*los diferentes procesos físico químicos que se combinan y comienzan, por la aparición de líneas rectas en la superficie del suelo, en depresiones ligeras, de 10 a 30-40 m de largo. Las líneas corresponden de hecho a las grietas de retracción verticales del suelo teniendo su origen en la cúspide del horizonte arcilloso y atravesando este sobre 20 a 40 cm de espesor con un ancho pudiendo alcanzar varios centímetros. El horizonte de acumulación de yeso tiene tendencia a fluir dentro de los vacíos creados en el horizonte subyacente por la abertura de fisuras.*"

Metodología.

A partir de un vuelo aéreo de baja altitud (aproximadamente 400 m) se tomaron fotos que nos permitieron localizar tres sitios propicios para la realización de transectos edafológicos a través de líneas de *Suaeda sp.* Los tres perfiles fueron de un ancho de 50 cm, con una profundidad de 1.5 m, y una longitud que varia entre 3 y 4.5 m. La topografía relativa de los perfiles (unos con relación a los otros) fue determinada con un nivel. Las muestras para análisis fueron tomadas para los horizontes reconocidos cada 50 cm.

Resultados.

- Las tres zonas.

Visto del avión a baja altitud, parecen tres zonas bien delimitadas presentando formas poligonales (Figura 80).

- En la zona topográficamente más alta, los polígonos están formados en líneas constituidas por ligeras depresiones topográficas. Las líneas son en su mayoría discontinuas y la vegetación de *Suaeda* no se encontró en estas depresiones.

- La zona intermediaria es una zona que se parece a la descrita por los autores, los costados de los polígonos están ocupados por *Sueda sp.* y una cobertura baja de herbáceas. Las depresiones alternan entre profundidades débiles y zonas de hundimientos con profundidad más importante.

- En la zona topográficamente más baja, las líneas no están colonizadas por *Suaeda sp.* pero si por *Hilaria sp.* Las depresiones son muy poco profundas.

El hecho de que estas tres zonas compartan el carácter común de una cierta organización de tipo poligonal incita a definir tres zonas en estado distinto de un mismo fenómeno, sin embargo, su situación topográfica permite suponer otra lógica. En efecto, las líneas no colonizadas por *Suaeda sp.* están situadas en pendientes débiles, mientras que los polígonos descritos por Delhoume *et al* (1983) están situados en pendientes del orden del 0.2%.

Descripción de los transectos

No hay diferencias significativas entre los horizontes descritos por Delhoume (1988), y los horizontes encontrados en los tres sitios de corte efectuados. En resumen, el suelo reproduce el esquema observado en el estudio de las manchas (Cap. 4) con un horizonte de superficie donde el espesor depende de la importancia del estrato herbáceo, un horizonte de acumulación de yeso, y un horizonte subyacente arcillo-limonoso con trazas de reducción de nódulos de yeso a profundidad.

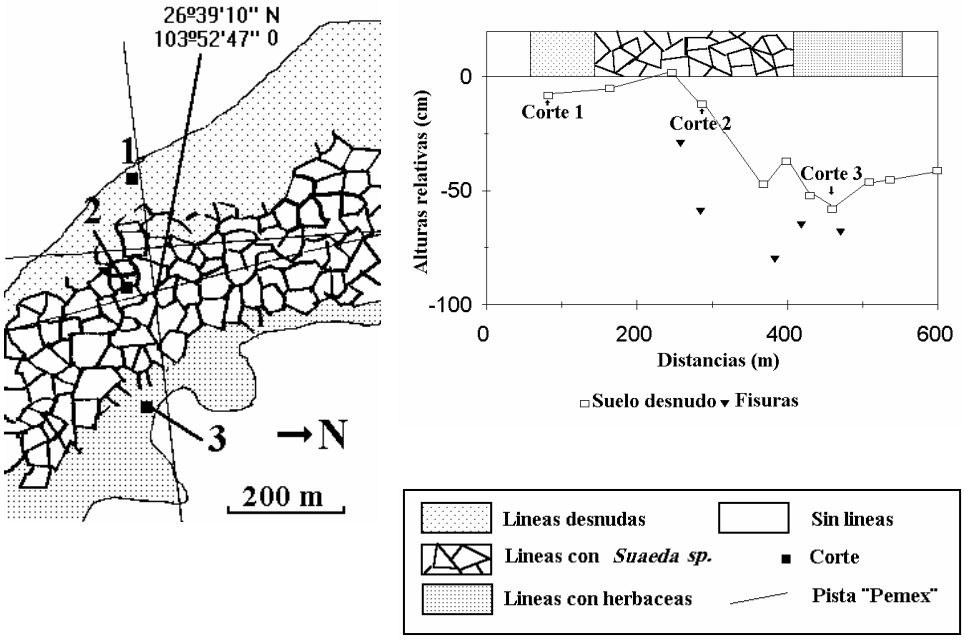
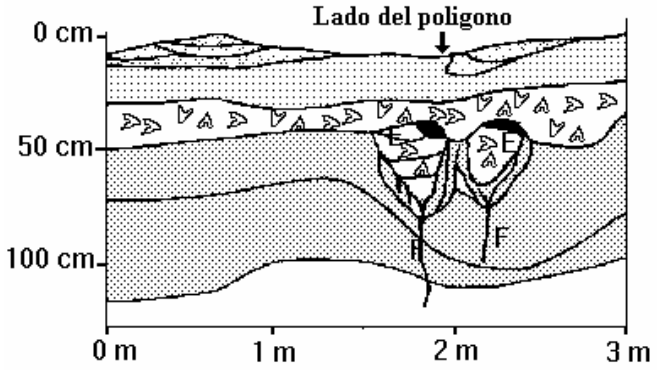


Figura 80. Esquema de situación de las diferentes zonas y de cortes edafológicos (a la izquierda). Perfil topográfico ubicando las fosas edafológicas (superior derecha).

A pesar de las similitudes descriptivas, nuevas estructuras son observadas:

En la parte alta (Figura 81) donde las líneas discontinuas y no cubiertas de vegetación, el corte Nº1 muestra dos estructuras anotadas como E que son cruces naturales, a la vertical de la depresión ligera. Se trata de túneles parcialmente repletos de material yesoso salido del horizonte de acumulación. La parte superior de estas estructuras permanece libre, y la parte derrumbada presenta arreglos de sedimentación entrecruzados. Los túneles están, profundamente implantados en los horizontes arcillosos rodeados por una red de pequeñas fisuras dirigidas al fondo del perfil.
En la parte intermediaria, donde las líneas presentan un carácter mas bien continuo y están cubiertas por *Suaeda sp.*. El corte esta situado en un lugar donde la depresión es muy baja. Sin embargo, el mismo fenómeno de remplazado es observado. El cruzado esta completamente aterrado y no invade completamente el horizonte arcilloso. Al contrario, existen fisuras muy importantes (varios centímetros) en el horizonte intermediario. A la vertical del túnel las fisuras toman una dirección horizontal. El derrumbamiento del cruce produce una gran depresión que es muy visible en el campo y que es descrita por Delhoume (1988).
En la parte baja donde solo ligeras depresiones son observadas, el corte es muy homogéneo. Solo las fisuras aparecen a lo vertical de la depresión en línea ocupada por *Hilaria sp.*.

Varias constataciones se imponen. La existencia de túneles se explica por la disolución del yeso en el horizonte de acumulación, por una agua circundante en la red interconectada. Las fisuras parecen existir independientemente de los túneles, a pesar de que las observaciones de los túneles se hacen conjuntamente.



↑ Corte Nº1 ↑

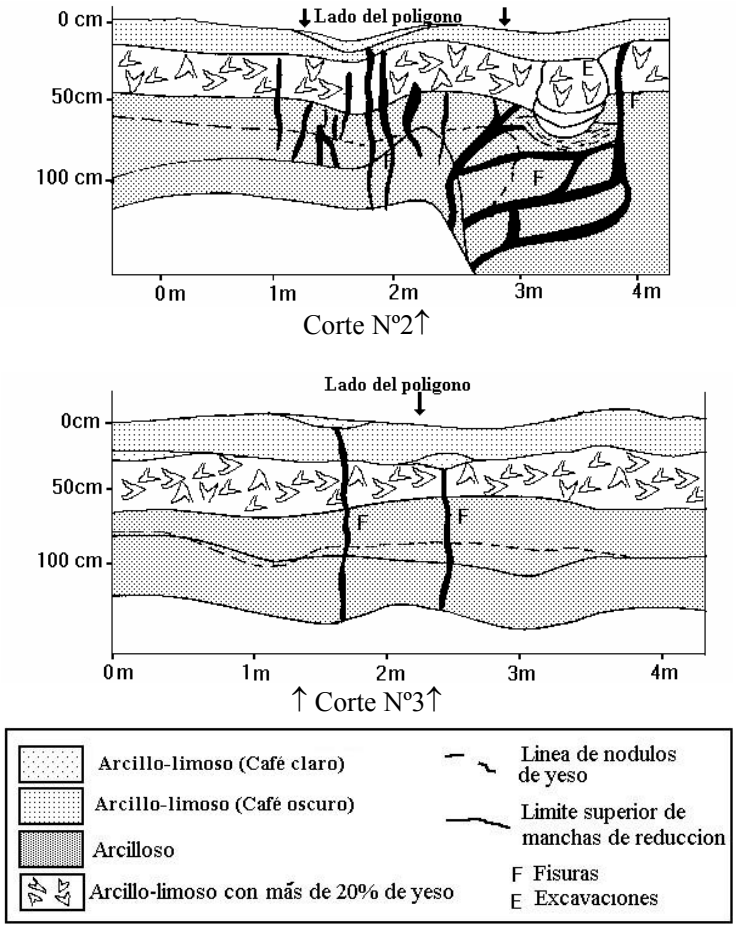


Figura 81. Descripciones esquemáticas de los tres cortes realizados en los polígonos.

Caracteres físico - químicos.

Humedades masicas a 55ºC.

Las humedades aumentan fuertemente con la profundidad donde son superiores al 8%. Sin embargo, una diferencia entre los perfiles se puede observar. En los cortes 2 y 1 (Figura 82), la humedad es más baja conforme a la vertical de las líneas, donde a una profundidad de 1 m no sobrepasa el 5%.

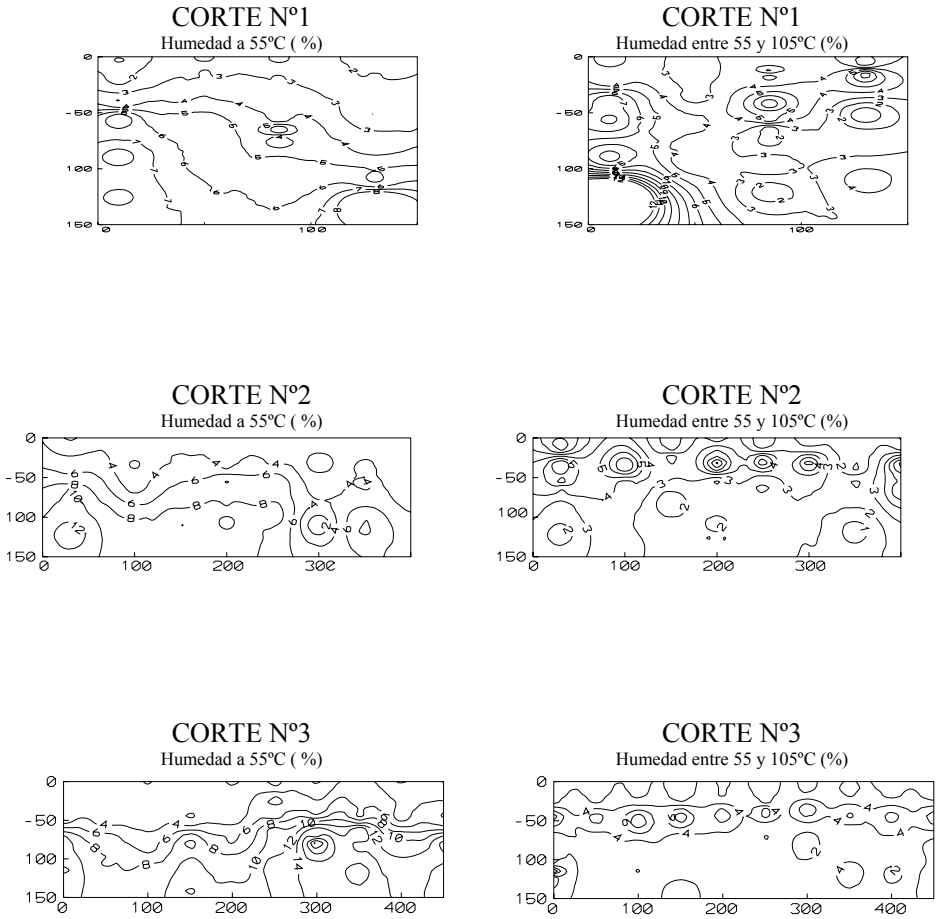


Figura 82. Curvas de iso-contenidos en agua (%) a 55ºC y entre 55ºC y 105ºC para los tres cortes efectuados.

Humedades masicas entre 55 y 105ºC.

El índice de yeso es coherente con las observaciones de campo. Un horizonte de acumulación de yeso aparece muy claramente a 50 cm de profundidad en los cortes 3 y 2. Una interrupción de este horizonte se nota fácilmente a nivel del túnel del corte 2 (Figura 82). En el corte 1, el índice del contenido de yeso se distribuye un poco diferentemente, el horizonte de acumulación aparece mucho más espeso fuera de la línea.

Conductividades y contenidos en iones de sodio.

Las conductividades del extracto 1:16 muestran un crecimiento muy neto con la profundidad. Los valores son inferiores a 2000 µS cm^{-1} justo hasta los 25 cm de profundidad, en los cortes 1, 2 y 3. La curva de iso-conductividad de 2000 µS cm^{-1} se sitúa en profundidades mayores conforme el eje vertical de los túneles para el corte 1 (Figura 83). La curva de iso-conductividad de 3000 µS cm^{-1} se establece a 50 cm aproximadamente para el corte 1, y también para los cortes 2 y 3 fuera de las líneas. Sin embargo, en estos dos últimos cortes, a la vertical de los túneles las conductividades se mantienen abajo de los 3000 µS cm^{-1} aún en profundidades superiores a 1 m. En lo referente a los contenidos en sodio del extracto 1:16 los mismos esquemas de reparticiones son observados. Sin embargo, contenidos mucho más elevados se observan en el corte 1, donde las concentraciones rebasan los 36 meq l^{-1}

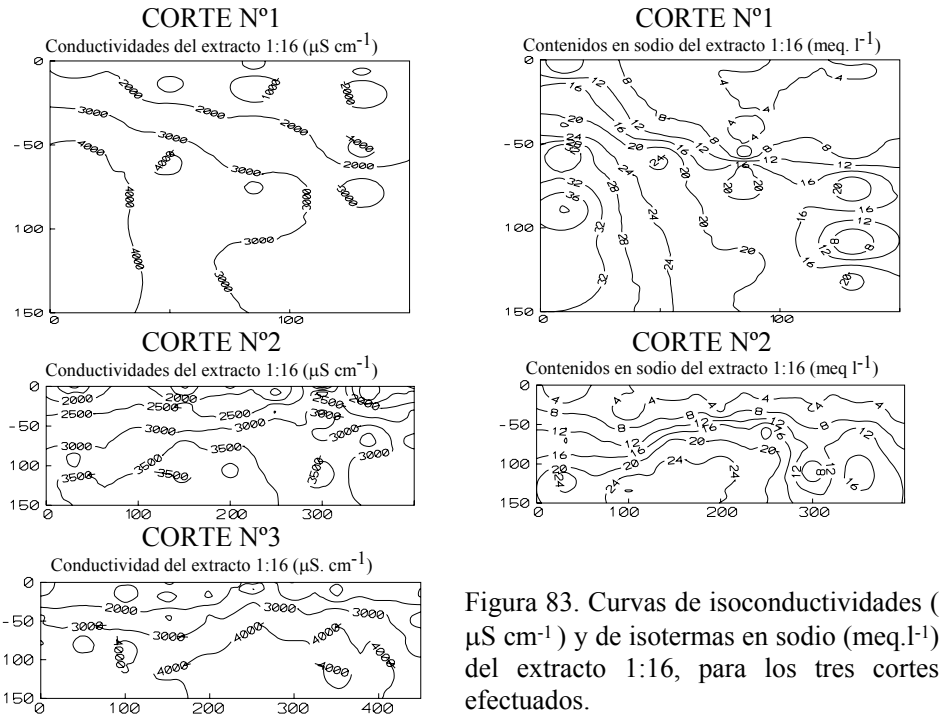


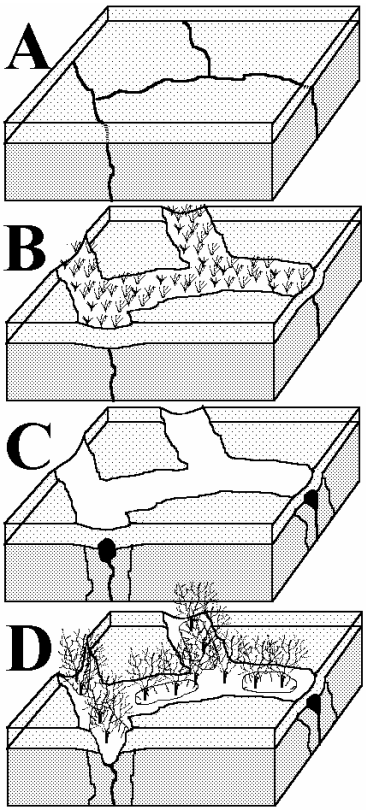
Figura 83. Curvas de isoconductividades (µS cm^{-1}) y de isotermas en sodio (meq.l^{-1}) del extracto 1:16, para los tres cortes efectuados.

Discusiones y conclusión.

Las líneas de *Suaeda sp*. observadas, están ligadas a las circulaciones preferenciales del agua que por disolución en el horizonte de acumulación de yeso originan una red de drenajes. El crecimiento de los drenajes seguido produce el derrumbamiento de la estructura y el drenaje subterráneo se transforma en un drenaje superficial. Sin embargo, este fenómeno está ligado a una red de fisuras que son al origen de la estructura poligonal. No obstante la red perdura o se reforma por la presencia de flujos.

La implantación de *Suaeda sp* está ligada a la posibilidad de acceso al horizonte arcilloso de profundidad. Este horizonte retiene, a lo largo de todo el año, una cierta humedad asociada a una salinidad elevada que solo *Suaeda sp.,* halófila por excelencia, puede soportar. La estructura en polígono puede existir sin que los drenajes existan, como en el caso nº1, donde esa estructura solo se traduce por la presencia de algunas fisuras y de algunas depresiones muy ligeras.

Basándose en los diferentes cortes, un escenario de evolución en el tiempo puede ser construido (Figura 84). Se supone que los diferentes estados observados hasta la fecha actual deben su evolución más o menos rápida a las diferentes condiciones de relieve. Un gradiente hidráulico muy bajo, que presenta una dificultad para la evacuación del agua de manera subterránea induce une evolución lenta donde los flujos no aparecen (corte 3, fase B). Con un gradiente hidráulico muy fuerte, la situación de pendiente arriba y con una red muy eficaz, el agua se escapa y la vegetación muere (corte nº1, fase C). El agua colectada conforma y dinamiza la red pendiente abajo. Finalmente, solo una red de fisuras, sometida a un gradiente elevado pero dentro de la red no se interrumpe en contra bajo, se beneficia de los aportes pendiente arriba, y termina por producir derrumbamientos que permiten la instalación de las líneas de *Suaeda sp*.



Fase A: Fase teórica supuesta, una red poligonal de fisuras se instala en el horizonte arcilloso, después de una contracción del horizonte arcilloso, producto de una deshidratación.

Fase B: La presencia de las fisuras en el horizonte arcilloso produce una discontinuidad en la permeabilidad y permite la instalación de micro depresiones por disolución superficial siguiendo el contorno poligonal de la red subyacente de fisuras. Las micro depresiones recibe una vegetación herbácea.

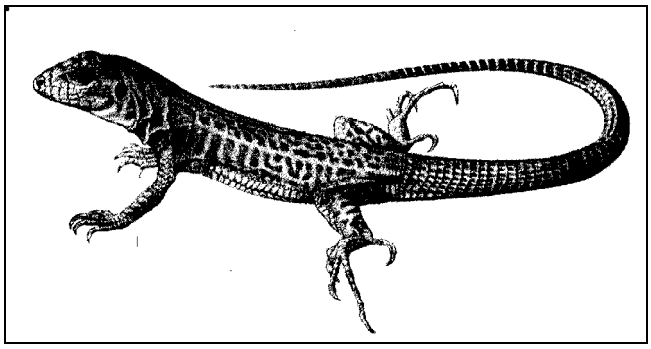
Fase C: La disolución se acentúa y se produce la aparición de flujos en forma de túneles en los horizontes subyacentes. El agua no se almacena más en las micro depresiones y la vegetación perece.

Fase D: La disolución continua, el derrumbamiento de túneles se produce generando depresiones que permiten a las raíces de *Suaeda sp.* de alcanzar el horizonte arcilloso donde pueden utilizar la humedad a pesar de la salinidad.

Figura 84. Posible escenario de la instalación de las diferentes formas poligonales descritas.

CAPITULO CINCO

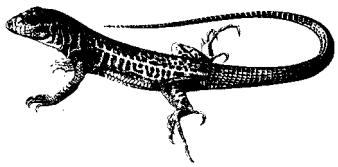
ALGUNOS EJEMPLOS DE COMUNIDADES BIOLOGICAS EN LA PLAYA



Una de las especies de lagartijas de playa

Las organizaciones vegetales o edafológicas, a pequeña y gran escala, inciden en las poblaciones de lagartijas y de roedores. La microfauna acuática de la laguna y de los cuerpos de agua temporales reflejan una adaptación muy importante a las variaciones de humedad y de salinidad propias de los medios. Estos tres ejemplos ilustran la estrecha correlación que existe entre la repartición de los contenidos en sales y la organización de las comunidades biológicas.

Los editores



Estructura espacial de un ensamble de lagartijas asociado con vegetación de playa baja

Gadsden H.

Introducción

Los términos ensamble[24] o comunidad (*guild*) se usan desde Root (1967) para designar a grupos de especies emparentadas que utilizan, dentro de un mismo ecosistema, un mismo tipo de recurso; como, por ejemplo, el ensamble de lagartijas insectívoras que cohabitan en la zona ecológica denominada playa por Montaña y Breimer (1988). En ese hábitat, coexisten seis especies de lagartijas insectívoras (Barbault y Maury, 1981). En este ensamble se observa una segregación ecológica de las especies, en función de la ocupación de tres microhábitats fundamentales: "manchas" de vegetación halófita, suelo desnudo o "peladero" y "montículos" de vegetación. Cada microhábitat contiene un máximo de tres especies de estos reptiles. Por otra parte, las diferencias en el tamaño y en las características de comportamiento producen una diferenciación marcada de la dieta alimenticia de las especies incluidas en este hábitat, lo que acentúa su segregación ecológica (Barbault y Grenot, 1977; Barbault *et al*., 1978). Asimismo, la diversificación espacial de las especies de lagartijas en Mapimí depende de la naturaleza del substrato, de la calidad del drenado, de la composición y de la densidad de la vegetación, así como de las condiciones microclimáticas (Grenot *et al.*, 1978).

Con base a las observaciones anteriores, este estudio analiza algunos aspectos de la estructura espacial de las principales especies de lagartijas que habitan en la playa baja. El presente trabajo tiene dos objetivos:

a) Calcular la densidad poblacional estacional y la amplitud espacial del nicho de las principales especies que componen este ensamble.

b) Estimar las áreas de actividad de los organismos recapturados dos o más veces.

Materiales y métodos

A principios de 1994 se delimitó, por medio de estacas, el área de estudio (2 ha), en una zona de playa baja (L1), ubicada dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, en el noreste de

[24] El término ensamble en este trabajo es análogo al concepto de comunidad.

Durango, México (26°42'40"N, y 103°52'01"O). Esta superficie se delimitó, a su vez, con subcuadrantes de 20 X 20 m (Tinkle y Ballinger, 1972; Tinkle y Dunham, 1986). El seguimiento fue estacional y se llevó a cabo de la primavera (mayo) de 1994 al invierno (marzo) de 1995.
El trabajo se centró en las tres especies de lagartijas más abundantes de esta zona [*Sceloporus edbelli* (antes *S. undulatus*), *Holbrookia maculata* y *Aspidoscelis inornata* (antes *Cnemidophorus inornatus*)]. En la primera captura (técnica de lazada) le fue asignado un número a cada individuo y se procedió a marcarlo permanentemente por ectomización de falanges (Tinkle, 1967). En cada captura se registraron los siguientes datos: sexo, longitud hocico-cloaca (LHC), con 1 mm de aproximación, ausencia o presencia de huevos (en el caso de las hembras), coordenadas del área de estudio, fecha y hora de captura. Posteriormente, los animales fueron marcados en el dorso con pintura, con el fin de minimizar las capturas repetidas y facilitar el conteo de individuos previamente marcados. De esta manera, se obtuvo la densidad poblacional absoluta. Fue asimismo posible estimar la densidad relativa por el método de Lincoln-Petersen, debido a que se trabajó en el campo por cortos períodos de tiempo (durante cada estación). Por lo tanto, se pudo considerar que las poblaciones estaban cerradas (Krebs, 1989). Se pudo igualmente conocer los puntos de distribución dentro del área de estudio, lo que permitió calcular las áreas de actividad de algunos individuos. Una vez obtenidos los datos, los animales fueron liberados en el mismo lugar de su captura. Las coordenadas fueron registradas en referencia a la estaca más cercana. Las áreas de actividad fueron calculadas, con ayuda de un planímetro, una vez trazada la gráfica de polígonos convexos que representan las posiciones más extremas de los individuos con más de dos capturas. Asimismo, se monitorearon periódicamente las áreas aledañas al sitio de estudio para detectar las eventuales migraciones o inmigraciones. Se calcularon también los centros de actividad de Hayne (1949), que resultan del promedio aritmético de la frecuencia de localización en el área y corresponden a la zona de uso más intenso. Estos procedimientos de captura-recaptura proporcionaron información acerca de la supervivencia y utilización del hábitat (Tinkle y Dunham, 1986). Con el fin de describir y comparar la distribución espacial de las especies estudiadas, se estimó su amplitud espacial de nicho (Levins, 1968) :

$$B = 1 / \sum P_i^2$$

donde P_i representa la frecuencia de la especie en el microhábitat i ($P_i = n_i/N$), n_i la densidad absoluta (o porcentajes de localizaciones) para el microhábitat i, y N la suma de las densidades (o porcentajes de localizaciones) en los tres microhábitats estudiados.

Con el fin de obtener los porcentajes de las localizaciones, se hizo un conteo, por avistamiento, de todos los individuos de las especies de la comunidad de lagartijas presentes en la zona (anotando el microhábitat en el que fueron inicialmente observados).
Tres observadores recorrieron, lentamente y de manera simultánea, separados entre sí por una distancia de seis metros sobre una misma línea, los transectos del área a diferentes horas del día y en distintos días durante la primavera (Maury y Barbault, 1981). De esta manera, se pudieron obtener porcentajes de avistamientos en cada uno de los tres microhábitats y, a partir de estos datos, se pudo estimar la amplitud espacial de nicho de las especies y compararla con la primera. En ambos casos, la estimación de la amplitud espacial de nicho se estandarizó a una escala de 0 a 1.0 (Hurlbert, 1978) de la siguiente manera:

$$B_A = \frac{(B-1)}{(n-1)}$$

Donde B_A es la amplitud espacial de nicho de Levins estandarizada, B es la estimación de la amplitud espacial de nicho de Levins, n es el número de posibles estados de recursos.

La vegetación predominante en las "manchas" está constituida por *Suaeda nigrescens*, *Sporobolus airoides* e *Hilaria mutica*. En los "montículos" predomina *Prosopis glandulosa,* en la parte más elevada. Los suelos presentes son de tipo yermosol calcáreo (Delhoume, 1997).
Los datos climáticos fueron obtenidos en la estación meteorológica de la Reserva de Biosfera de Mapimí, situada a aproximadamente 10 km al E del área de estudio. Las temperaturas anuales promedio son muy estables con una diferencia de 1.9°C entre los años más extremosos de 1980 (21.2°C) y 1987 (19.3°C). Sin embargo, se presenta un contraste marcado entre los períodos del año. El mes de julio es en promedio el más caliente (26.7°C) y el mes de enero el más frío (11.5°C). En promedio (1979-1994) se registró una precipitación pluvial de 269 mm/año (ver primera parte: marco del estudio).

Resultados y discusión

Durante el estudio fueron inventariados, en el área de trabajo: doce individuos de *Sceloporus edbelli*, diez de *Holbrookia maculata*, ocho de *Aspidoscelis inornata* y densidades muy bajas de otras especies como *Aspidoscelis gularis*, *Uta stansburiana* y *Phrynosoma cornutum* (ver taxa completa, en el anexo 3).

Tabla 43. Densidad absoluta y amplitud espacial del nicho (B) de 5 especies de lagartijas en la playa baja (primavera 1994). B = amplitud espacial del nicho, B_A= amplitud espacial estandarizada del nicho (densidad absoluta i/2ha).

Situación → Especie↓ (N)	Montículo	Peladero	Mancha	B	B_A
Sceloporus edbelli (8)	8	-	-	1.0	0.0
Holbrookia maculata (6)	3	2	1	2.5	0.8
Aspidoscelis gularis (2)	2	-	-	1.0	0.0
Aspidoscelis inornata (8)	1	1	6	1.6	0.3
Phrynosoma cornutum (2)	1	1	-	2.0	0.5

Densidad absoluta

Debido a la escasa abundancia, en esta área, de las distintas especies de lagartijas sintópicas, tan sólo fue posible determinar su densidad absoluta estacional a partir de la primavera de 1994 (Tabla 43) y hasta principios de 1995 (invierno). De esta manera, se pudo comparar con los cálculos de densidad relativa. En lo que se refiere a la densidad absoluta, *S. edbelli* -la especie más común- presenta una mayor densidad en la primavera y en el verano (8 y 7 individuos/2 ha, respectivamente). Para *H. maculata* también se observó una mayor densidad en primavera y en verano (6 y 5 individuos/2 ha, respectivamente). En cuanto a *A. inornata,* se detectó actividad exclusivamente en primavera (7 individuos/2 ha). En las especies restantes del gremio se detectaron densidades muy bajas. No obstante, la gran variabilidad interanual y espacial de la distribución de la lluvia registrada en el desierto Chihuahuense (Delhoume, 1997) repercute en la productividad primaria y, consecuentemente, en la producción de artrópodos, lo que influye evidentemente en la dinámica de las poblaciones de lagartijas (Whitford y Creusere, 1977).

Densidad relativa

Se determinaron estacionalmente (primavera y verano de 1994) las densidades relativas (al 95%) de las especies más abundantes. La escasa abundancia de individuos de las diferentes especies, en esta zona, permitió comparar métodos directos vs. métodos indirectos para el cálculo de densidades (Gadsden-Esparza y Aguirre-León, 1993). En relación a los últimos, se obtuvo para *S. edbelli* una densidad promedio de 9.5 ± 6.1 individuos/2 ha, la que en verano (8.0 ± 5.4 individuos/2 ha) es un poco inferior al índice de abundancia registrado por Maury y Barbault (1981) para esta especie (4.8 ± 3.7 individuos/ha) en otra área de la playa menos halófita (playa alta) en Mapimí. También se observó que esta especie está muy circunscrita a los montículos de vegetación y parece presentar un alto índice de territorialidad. Asimismo, su densidad promedio es similar al promedio de densidad calculado por Tinkle y Ballinger (1972) en Carolina del Sur con 8.0 ± 2.1 individuos/ha en una área donde predominan pinos y encinos. Para *H. maculata* se obtuvo una densidad promedio de 6.2 ± 2.8 individuos/2 ha, lo que representa la mitad del índice de abundancia registrado por Maury y Barbault (1981) para esta especie en una zona de playa alta con 6.2 ± 4.0 individuos/ha. Con respecto a *A. inornata*, se detectó actividad exclusivamente en primavera en esta área, y se estimó una densidad relativa de 9.5 ± 8.4 individuos/2 ha, siendo inferior al índice de abundancia registrado por Maury y Barbault (1981) en verano con 8.2 ± 6.5 individuos/ha.

Probablemente la escasa cobertura vegetal, más halófita en esta zona que en la playa alta (González Barrios, 1991), se traduce en una menor disponibilidad de recursos alimentarios (insectos) para las lagartijas de esta área (Whitford y Creusere, 1977), y, por consiguiente, en densidades más bajas de estos reptiles. Asimismo, Maury y Barbault (1981) señalan que las densidades de estas especies, en la playa alta, pueden ser incluso superiores a las que son calculadas por los índices de abundancia. De modo que las diferencias en densidad detectadas entre ambos tipos de playa se incrementarían aún más.

Amplitud espacial del nicho

Tanto por densidad absoluta como por porcentajes de localizaciones, los resultados de amplitud espacial de nicho fueron prácticamente los mismos (Tabla 44 y Figura 85). Se puede apreciar que la especie que tiene la mayor amplitud espacial de nicho en primavera es *H. maculata*, con un promedio estandarizado de $B_A = 0.7 \pm 0.05$. Esta especie fue principalmente observada en "montículos" y en "peladeros". No obstante, Dixon (1967) señaló que *H. maculata* es común

tanto en las dunas como las depresiones que las separan, y lleva a cabo su actividad forrajera en áreas más abiertas. En contraste, *S. edbelli* presenta la menor amplitud espacial de nicho con un promedio estandarizado de B_A = 0.02 ±0.02. Se observó que esta especie está estrechamente asociada con los "montículos" de *P. glandulosa* y tiene un carácter territorial muy acentuado. Las madrigueras utilizadas por esta especie en el "montículo" fueron principalmente de *Dipodomys nelsoni*, *D. merriami* y *Perognathus nelsoni* (Aragón-Piña, com. pers.). En otra zona ecológica de la Reserva de Mapimí en bajada superior, Gadsden-Esparza y Aguirre-León (1993) encontraron que *S. undulatus* también está estrechamente asociada con ciertos manchones pequeños de vegetación donde predominan *Agave asperrima* y *Opuntia rastrera*, asociadas a su vez con nidos de *Neotoma albigula*. En este último caso, los autores también observaron que las áreas de actividad de *S. undulatus* coinciden con su territorio. Una estimación de amplitud espacial de nicho intermedia con respecto a las dos especies anteriores se encontró en *A. inornata*, con un promedio estandarizado de B_A = 0.32 ± 0.02. Esta especie fue principalmente observada en "manchones" de vegetación con predominio de *S. airoides* y *H. mutica*. Dixon (1967) observó que *C. inornatus* es abundante en las depresiones interdunales, donde predominan la *Yucca* y diversas especies de pastos a las orillas de las dunas. El repertorio del comportamiento, selección de microhábitat y requerimientos de cobertura vegetal variaron en función de las especies del ensamble, revelando una tendencia de las mismas a la segregación, en este hábitat de playa baja.

Tabla 44. Porcentaje de localizaciones y amplitud espacial de nicho (B) de cinco especies de lagartijas en la playa baja (primavera de 1994). B = Amplitud espacial de nicho, B_A= Amplitud espacial de nicho estandarizada.

Ubicación→ Especies (N)	Montículo	Peladero	Mancha	B	B_A
Sceloporus edbelli (23)	96	4	-	1.1	0.0
Holbrookia maculata (22)	50	41	9	2.3	0.7
Aspidoscelis gularis (6)	83	17	-	1.3	0.2
Aspidoscelis inornata (15)	13	13	73	1.7	0.4
Phrynosoma cornutum (2)	50	50	-	2.0	0.5

Ámbito hogareño

Cinco machos y siete hembras de *S. edbelli* fueron detectados en el área de estudio durante 1994. En cuatro ejemplares (tres hembras y un macho) se observó un mínimo de 2 capturas. Se calculó el ámbito hogareño no ajustado, por el método del polígono mínimo convexo y el centro de actividad de Hayne (1949) para ambos sexos, obteniéndose lo siguiente: un área de actividad de 82 m² en el caso del macho y un promedio de 114 ±103 m² (N= 3) para las hembras. Sin embargo, en una zona de bajada superior (con predominio de *A. asperrima* y *O. rastrera*),

durante un estudio a largo plazo (1988-1991), Gadsden-Esparza y Aguirre-León (1993) obtuvieron, para *S. undulatus*, un promedio de ámbito hogareño de 915 ± 179 m² para los machos y de 179 ± 37 m² para las hembras. Esta tendencia de mayor ámbito hogareño en el caso de los machos de *S. undulatus* también es señalada en otros estudios como el de Ferner (1974). En el caso de *H. maculata* se detectaron, en total, cinco machos y cinco hembras durante1994. Tan sólo dos ejemplares (un macho y una hembra) fueron recapturados dos o más veces. Se calculó su ámbito hogareño, por el mismo método arriba mencionado, obteniéndose para el macho 913 m² y para la hembra 16 m². Asimismo, Hulse (1985) registró, para machos de la misma especie, un promedio de 958 ± 165 m² y, para hembras, de 653 ± 125 m². Por último, para *U. stansburiana* se calculó exclusivamente el área de actividad de un ejemplar hembra en 2.5 m², que es un ámbito hogareño mucho menor al calculado por otros autores como Tinkle (1967), el cual registró una superficie de actividad promedio de 239 m² para las hembras de esta especie. Por lo tanto, es necesario incrementar el número de recapturas de las principales especies de la comunidad de estos reptiles en la playa baja, con el fin de aumentar la confiabilidad de los resultados en cuanto al cálculo de las áreas de actividad. Sin embargo, se pueden observar muy escasas sobre posiciones a nivel de las áreas de actividad (Figura 85), tanto a nivel intraespecífico como ínterespecífico, indicándonos probablemente que ámbito hogareño equivale a territorio para las principales especies de este ensamble, como Tinkle (1967) lo señaló para *U. stansburiana*. Asimismo, con la estimación de la amplitud espacial de nicho de *S. edbelli* (B_A = 0.02 ± 0.02), queda de manifiesto que esta especie se ve prácticamente restringida a los "montículos" y a su entorno marginal, en donde encuentra refugio principalmente en las madrigueras de *D. nelsoni*, *D. merriami* y *P. nelsoni*. Es probable que esta última especie de lagartija también encuentre en este microhábitat -para su consumo- una mayor disponibilidad de insectos, asociados con los componentes vegetales del mismo.

Supervivencia

La tasa de supervivencia fue estimada para adultos y se calculó como el número de animales de edad x recapturados después de cuatro meses y que fueron originalmente marcados a la edad x-1 en la estación anterior (Howland, 1992). Para *S. edbelli*, se estimó un promedio de supervivencia de 0.63 (1.0 hembras, N =2 y 0.25 machos, N =4). Jones y Ballinger (1987) registraron una tasa de supervivencia similar para *S. undulatus* en Nebraska, con un promedio de 0.5 para organismos adultos, pero de un año a otro. No obstante, Tinkle y Ballinger (1972) registraron para la misma especie de lagartija, una mortalidad anual de adultos mucho más alta por depredación, en una población de Texas. Esto último podría explicar la baja densidad promedio de organismos en Texas (2 individuos/ha), comparada con la que fue detectada por Gadsden-Esparza y Aguirre-León (1993) en la bajada superior en Mapimí (10 individuos/ha) y, en este trabajo, en la playa baja (aproximadamente 5 individuos/ha), considerando que una baja densidad no revela una adaptación inadecuada de las especies al medio. Durante el mismo lapso de tiempo que en la anterior especie (cuatro meses), en *H. maculata* se encontró un promedio de supervivencia relativamente bajo de 0.16 (N =6). Judd (1976) menciona que en *Holbrookia propinqua,* pocos individuos viven por más de un año y por tanto presentan porcentajes de supervivencia muy bajos, como parece ser el caso de *H. maculata* que habita en la playa baja de Mapimí. Sin embargo, Jones y Ballinger (1987) encontraron diferencias significativas en supervivencia

(adultos de uno o dos años) entre *S. undulatus* y *H. maculata*, teniendo esta última especie una mayor tasa de supervivencia.

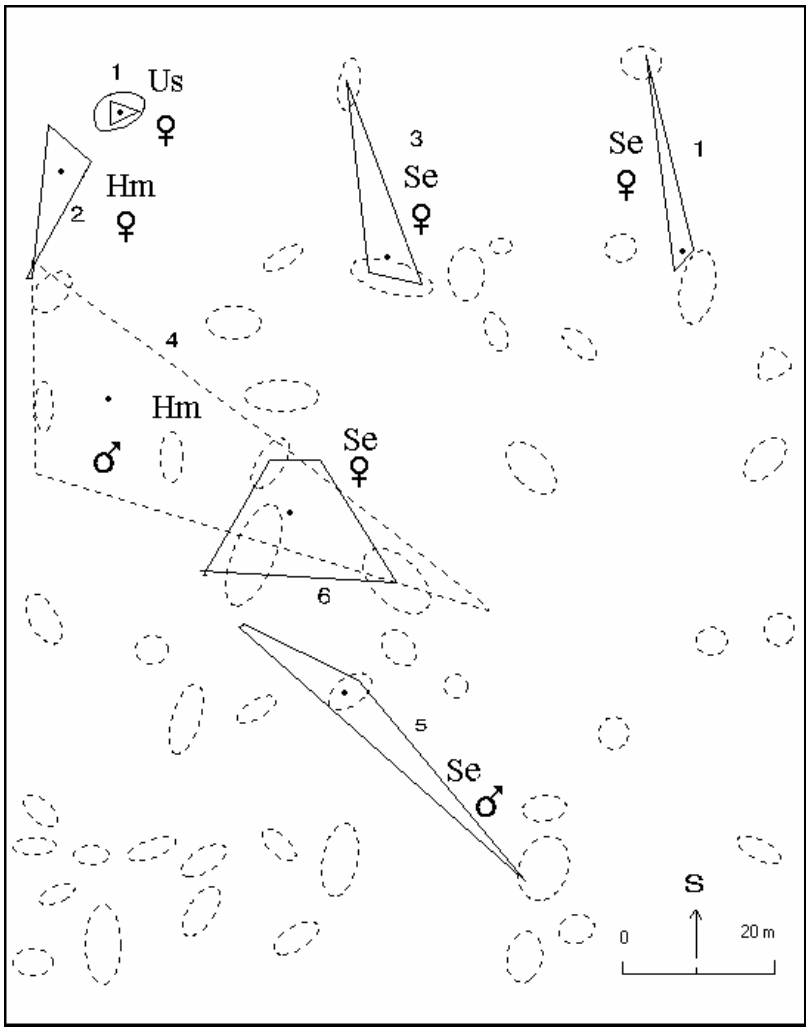


Figura 85. Ámbito hogareño (1994) de tres especies de lagartijas en una zona de playa baja (manchas) por polígono mínimo convexo no ajustado (Hm = *Holbrookia maculata*, Us = *Uta stansburiana*, Se = *Sceloporus edbelli)*. Las elipses representan montículos, el centro de actividad de Hayne se indica con un punto y los números corresponden a los individuos monitoreados.

Las tasas de supervivencia de este trabajo pueden haberse visto afectadas por pérdidas de algunos animales por medio de la emigración. Sin embargo, estas pérdidas no pudieron ser considerables porque los límites del área de estudio fueron sometidos a un minucioso monitoreo, en todo

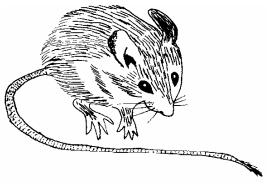
momento. Los animales marginales fueron periódicamente capturados y marcados. Sin embargo, otro factor que pudo haber influido en estos cálculos fue el tamaño reducido de las muestras, producto de las bajas densidades de las distintas especies de lagartijas que conforman este ensamble de reptiles en la playa baja.

Conclusiones

La mayor densidad relativa en primavera se encontró en *S. edbelli* (11.0 ± 6.8 individuos/2ha), seguida por *A. inornata* (9.5 ± 8.4 individuos/2ha) y, finalmente, por *H. maculata* (6.0 ± 0 individuos/2ha). En verano la mayor densidad relativa se obtuvo para *S. edbelli* (8.0 ± 5.4 individuos/2ha), seguida por *H. maculata* (6.5 ± 5.6 individuos/2ha). En esta estación no se detectó actividad en *A. inornata*. Las densidades registradas en este hábitat son significativamente inferiores a las que habían sido obtenidas en otros trabajos. Es probable que la escasa cobertura de vegetación en esta zona, más halófita que en playa alta, genere una menor disponibilidad de recursos alimenticios para las lagartijas, de manera que en la playa baja tienden a presentarse densidades más bajas de estos reptiles.

La especie que tiene la mayor amplitud espacial de nicho en primavera es *H. maculata* (B_A = 0.7 ± 0.05) que habita generalmente en "montículos" y en "peladeros". En contraste, *S. edbelli* presenta la menor amplitud espacial de nicho (B_A = 0.02 ± 0.02) y se observó estrechamente asociada con los montículos". Probablemente esta última especie encuentre también en este microhábitat una mayor disponibilidad de insectos, para su consumo, asociados con los componentes vegetales del mismo. En *A. inornata* se obtuvo una amplitud espacial de nicho intermedia con respecto a las dos especies anteriores (B_A = 0.32 ± 0.02) y se observó en "manchones" de vegetación. Por otro lado, existen muy pocas superposiciones de las áreas de actividad, tanto a nivel intra como ínter específico, lo que nos permite pensar que las áreas de actividad funcionan como territorios distintos entre las principales especies de este ensamble.

El repertorio de comportamiento, la selección del microhábitat y los requerimientos de cobertura vegetal variaron en función de las especies de este ensamble, lo que se traduce como una tendencia a la segregación de las mismas en este hábitat de playa baja. La diversidad estructural del medio ambiente parece determinar la estructura y la dinámica de los nichos ecológicos de estas especies, confiriéndoles una distribución específica en el espacio y dando como resultado una asociación con una configuración geométrica particular.



Utilización del espacio por una comunidad de roedores en una zona de manchas de vegetación de la playa baja.

Aragón Piña E. E.

Introducción

Los roedores de zonas áridas cohabitan gracias a la segregación ecológica en el uso del microhábitat. Se organizan evitando la competencia interespecífica mediante diversos mecanismos: número restringido de especies, diferencias en la alimentación, la organización social, los ritmos de actividad, etc. En el desierto Chihuahuense, la distribución y la diversidad de los roedores varían en función de la diversidad y abundancia de la vegetación, que dependen –a su vez- de factores fisiogeográficos y climáticos (Mc Mahon 1976, Schmidly 1974).

De esta manera, en un ecosistema semidesértico como el Bolsón de Mapimí, para un mismo hábitat, el número de especies de roedores puede variar de 2 a 8, en función de las características del microhábitat. Las especies coexisten gracias a una separación ecológica, generada -directamente- por las diferencias en los regímenes alimentarios e -indirectamente- por las diferencias en el tamaño corporal de las especies (Brown 1990, Grenot y Serrano 1982, Rosenzweig 1974). Además, la diversidad en Mapimí parece estar relacionada con la heterogeneidad del medio, la complejidad estructural de las comunidades vegetales, las precipitaciones pluviales y la producción primaria (Grenot y Serrano 1982). Cabe, asimismo, señalar que la abundancia y la densidad de las especies dependen en gran medida de la producción primaria anual –a su vez- estrechamente vinculada con las lluvias, que pueden variar considerablemente. Por otra parte, los cambios estacionales son producto de los diferentes eventos del ciclo de vida de cada especie de roedor.

El objetivo del estudio consistió en conocer la composición y estructura (diversidad, uniformidad riqueza específica, abundancia relativa y densidad de las especies comunes), así como la organización espacial (movimientos y áreas de actividad) de una comunidad de roedores en un patrón particular de vegetación de la playa baja.

Metodología

Captura

El estudio se realizó en un cuadrante de 5.72 ha, en el cual fueron colocadas trampas cada 20 m, durante mayo (primavera), junio (verano) y septiembre (otoño) de 1994. Se utilizó la técnica de captura, marcaje y recaptura. Los animales fueron capturados con ayuda de trampas "Sherman" de 75 x 90 x 230 mm, cebadas con avena. Los roedores fueron marcados, mediante ectomización de falanges, para su reconocimiento, y liberados en el sitio de captura. Para cada individuo

capturado se registraron los siguientes datos: fecha, sitio, especie, peso, sexo, condición reproductiva y longitudes somáticas (total, cuerpo, cola y oreja).

Diversidad y equitatividad

La diversidad se calculó por el Índice de Simpson 1949 (Krebs 1989), que concede mayor importancia a las especies comunes y cuyos valores oscilan entre 0 (baja diversidad) a 1 (alta diversidad).

$$D = \sum_{i=i}^{i=s} P_i^2$$

en donde pi es la proporción de individuos de la especie i, y s el número de especies.

La equitatividad (E') es una medición de la distribución de las abundancias de las especies y se calculó según

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{i=s} p_i^2}{D'max}$$

en donde D es el recíproco de la diversidad y D'_{MAX} = 1/S en donde S es el número de especies en la muestra.

La diversidad se calculó asimismo por el Índice de Shanon-Wiener 1948 (Krebs 1989) que concede mayor importancia a las especies raras y alcanza un valor máximo de 5 en comunidades biológicas.

$$H' = -\sum_{i=1}^{i=s} p_i . \log_2 . p_i$$

$$H' = 3{,}3219.(\log_{10} N - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=s} n_i . \log_{10} n_i)$$

en donde $p_i = n_i/N$ es la frecuencia de especies en el sitio i, N= número total de individuos de todas las especies, n_i= número de individuos de la especie i y 3.3219 = factor de conversión de log 10 a log2.

La equitatividad (J') basada en el índice de Shanon- Wiener es :

$$J' = \frac{H'}{H'max}$$

en el que H' es la diversidad de Shanon -Weiner y H'max = log (s), (s el número de especies).

Riqueza específica, abundancia relativa y densidad

La riqueza es el número de especies. La abundancia representa el número y/o porcentaje de individuos de cada especie y únicamente se calculó la densidad de las especies más comunes, objeto de varias recapturas, mediante el método de Schnabel 1938 (Krebs 1989):

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{i=s} M_i . n_i}{\sum_{i=1}^{i=s} R_i}$$

en donde M_i es el número total de individuos marcados en la población el día i, R_i es el número de recapturas en ese día (Krebs 1989).

Desplazamientos y áreas de actividad

Las áreas de actividad fueron calculadas por el método del polígono convexo circunscrito al punto de captura, que consiste en delimitar figuras cuadradas o rectangulares, cuyos centros son las trampas. El área de actividad se delimita conectando los vertices de estos cuadrados, formando polígonos convexos cuya área constituye una aproximación del área de actividad (Stickel 1954).

Se realizaron asimismo pruebas de Mann-Whitney para detectar diferencias estadísticas en los análisis de la información.

Resultados y discusiones

Diversidad y equitatividad

El análisis de la estructura del ensamble muestra que en la playa baja las diversidades fueron mayores (1.18 <1/D< 1.29 y 2 <H'< 2.59, Tabla 45) y similares entre las estaciones, comparadas con las que fueron encontradas en la playa alta en 1977 (1.43 <H'< 2.34), 1978 (1.14 <H'< 2.29) y 1979 (1.89 <H'< 2.38) (Grenot y Serrano 1982). También los valores revelan la existencia de 2 ó 3 especies comunes (índice de Simpson) y 1 rara (índice de Shanon-Wiener), en tanto que las equitatividades muestran que las densidades son similares entre las especies y en función del periodo estacional (Tabla 45).

Tabla 45. Variación estacional de los índices de diversidad de Simpson (1/D) y de Shanon Wiener (H') y de los índices de equitatividad, respectivamente (E y J') en la unidad de la playa baja.

Estación → Índices↓	Primavera	Verano	Otoño	Media
Riqueza	4.0	5.0	7.0	5.3
Diversidad (1/D)	1.90	2.43	2.98	1.23
Equitatividad (E)	0.631	0.74	0.76	0.71
Diversidad (H')	1.205	1.60	1.97	2.30
Uniformidad (J')	0.602	0.715	0.691	0.672

Riqueza específica y abundancia relativa

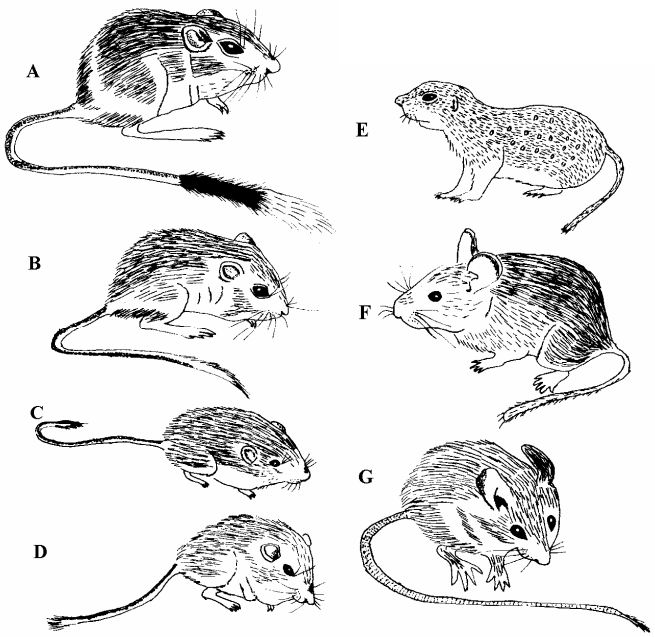
La riqueza de especies fue de 4, variando estacionalmente de 4 a 7 (Figura 86). Los roedores encontrados fueron: cuatro heterómidos, dos ratas canguro (*Dipodomys nelsoni y D. merriami*), dos ratones de abazones (*Chaetodipus penicillatus* y *Perognathus flavus*), 2 cricetidos (1 rata

nopalera *Neotoma albígula* y un ratón *Peromyscus eremicus*) y una ardilla de tierra (*Spermophilus spilosoma*) (ver taxa completa, anexo 3).

Se encontró que existen tres especies comunes (*Dipodomys nelsoni, D. merriami* y *Chaetodipus penicillatus*) y una especie poco común (*Neotoma albígula* o *Peromyscus eremicus*) (Tabla 46, Figura 86). No se encontraron diferencias significativas en la comunidad de roedores por temporada ($P > 0.05$). Además, las especies de roedores fueron las mismas y las más abundantes que las que Grenot y Serrano (1982) reportaron en la playa alta, con excepción de 2 especies (Tabla 46).

Tabla 46. Variación estacional de la abundancia relativa en número y porcentaje (entre paréntesis) de los roedores capturados en 1994 en los cuadrantes de 5.72 ha de la playa baja y durante la primavera de 1979 en la playa alta (Grenot y Serrano 1982). El asterisco indica otras especies de la playa alta (*Sigmodon hispidus* y *Onychomys torridus*).

Estación→ Especies↓	Primavera	Verano	Otoño	Total	"Playa alta" (Grenot y Serrano, 1982)
SCIURIDES					
S. spilosoma	1 (3.2)	2 (3.9)	1 (1.8)	4 (2.8)	(1.2)
HETEROMYDAE					
D. nelsoni	21 (67.8)	31 (59.6)	28 (50.9)	83 (57.2)	(56.9)
D. merriami	8 (25.8)	8 (15.3)	11 (20.0)	29 (20.0)	(15.1)
C. penicillatus	1 (3.2)	9 (17.3)	10 (18.3)	21 (14.5)	(12.8)
P. flavus		2 (3.9)	2 (3.6)	5 (3.5)	(8.1)
CRICETIDAE					
P. eremicus			2 (3.6)	2 (1.3)	(1.2)
N. albígula			1 (1.8)	1 (0.7)	(4.7)
Otras especies*					
Total	31	52	55	145	



	Especies	Talla del cuerpo **Máx-Mín** (mm)	Talla de la cola Máx-Mín (mm)	Talla de la pata Max-Mín (mm)	Talla de oreja Máx-Mín (mm)	Masa Máx-Mín (g)
A	*Diplodomys nelsoni*	135-95	200-150	46-41	47-12	112-52
B	*Dipodomys merriani*	105-77	150-120	37-31	15-10	55-21
C	*Chaetodipus penicillatus*	79-60	100-73	21-18	9-6	20-10
D	*Perognathus flavus*	55-50	50-42	15-14	8-4	10-4
E	*Spermophilus spilosoma*	190-135	75-70	29-27	8-6	104-58
F	*Neotoma albigula*	178	135	29	22	150
G	*Peromyscus eremicus*	87-75	107-95	18-18	19-16	19-19

Figura 86. Especies encontradas en la unidad de playa baja con vegetación en manchas. Los nombres de las especies y del género, así como las dimensiones observadas, están contenidos en la tabla al pie de la figura.

Densidad

Las comunidades de roedores varían estacionalmente en función de los cambios del medio, principalmente en el rubro de la producción primaria anual, la cual depende –a su vez- de las lluvias. También varían en función de las diferentes actividades de cada especie, tales como: apareamientos, almacenamiento de alimentos, reclutamiento de juveniles y reducción del

metabolismo en invierno, por falta de recursos. Con base a lo anterior, cabe señalar que el estudio se llevó a cabo en un año de muy escasas precipitaciones y, por lo tanto, de baja productividad.

Las densidades fueron calculadas para las especies más abundantes, encontrándose que *Dipodomys nelsoni* tuvo una densidad promedio y un error estándar de 1.2 ± 0.4 ind/ha, *D. merriami* 0.5 ± 0.32 ind/ha y *Chaetodipus penicillatus* 1 ± 0.3 ind/ha (Tabla 47).

Tabla 47. Densidad de las tres especies más abundantes. El asterisco (*) señala la imposibilidad de calcular la densidad debido al bajo número de recapturas.

Estación→	Primavera		Verano		Otoño		Media	
Superficie→ Especies↓	5.72 ha	1 ha	5.72 ha	1 ha	5.72 ha	1 ha	5.72 ha	1 ha
D. nelsoni	4.70	0.82	10	1.75	5.4	0.94	6.7	1.2
D.merriami	*		1	0.17	3.6	0.63	2.8	0.5
C. penicillatus	*		7	1.22	4.6	0.80	5.7	1.0

Estacionalmente, las mayores densidades se presentaron como sigue: *D. nelsoni*, en verano, que corresponde a la época de nacimientos y primeros reclutamientos (23% hembras lactantes, 32% juveniles y 45% machos con testículos escrotados. *Ch. penicillatus* en verano, estación que corresponde a los apareamientos y a la gestación (22% gestantes, 33% no reproductores y 45% machos con testículos escrotados). *D. merriami,* durante el otoño, que coincide con los primeros reclutamientos (27% juveniles, 27% hembras lactantes, 37% machos con testículos escrotados y 9% no reproductores. También se observó, en primavera, un escaso número de recapturas de las dos últimas especies mencionadas, debido a la actividad reproductiva de la especie.

Desplazamientos y áreas de actividad

De igual manera, se estimaron los movimientos de las especies más comunes. Estacionalmente *Dipodomys nelsoni* presentó diferencias significativas en los desplazamientos, siendo éstos mayores en verano (DRS = 78.9 ± 16.8 m, n = 9) que en otoño (DRS = 34 ± 2.52, n = 16) (U = 10.5, Z = 1.93, P = 0.05), en tanto que las áreas de actividad no variaron (P > 0.05). *D. merriami* no presentó diferencias estacionales ni a nivel desplazamientos ni en las áreas de actividad (P > 0.05), al igual que *Ch. penicillatus* (P > 0.05). Las recapturas durante todo el muestreo revelaron que las tres especies cubren áreas de actividad de hasta cerca de 2 ha, sin encontrarse diferencias estadísticas entre las especies (Tabla 48). En la playa alta Grenot y Serrano (1982) señalaron desplazamientos similares de estas mismas especies, pero áreas de actividad mayores.

Tabla 48. Desplazamientos (m) y áreas de actividad (m²) estacionales y totales de los roedores predominantes de la playa baja.

Estaciones↓	Especies→ Parámetros↓	*D. nelsoni*	*D. merriami*	*Ch. penicillatus*
Primavera	DRS ± ES (m)	70.21 ± 22.7	72.9 ± 9.6	141.4 (n=1)
	DmR-DMR (m)	20-179 (n=8)	63.3-82.5 (n=4)	
	S (m^2)	2171.4 ± 591	1300 ± 526	4400 (n=1)
	Mini-Maxi (m^2)	400-4800 (n=7)	400-2400 (n=4)	
Verano	DRS ± ES (m)	78.9 ± 16.8	53.8 ± 11.6	89.4 (n=1)
	DmR-DMR (m)	20-141.4 (n=9)	20-72.1 (n=4)	
	S (m^2)	2267 ± 791.6	1700 ± 341.6	2800 (n=1)
	Mini-Maxi (m^2)	400-7600 (n=9)	800-2400 (n=4)	
Otoño	DRS ± ES (m)	34 ± 2.5	64 ± 12.8	148.62 ± 25.9
	DmR-DMR (m)	20-44.7 (n=12)	20-189.7 (n=12)	72.1-181 (n=5)
	S (m^2)	1446.2 ± 332.2	2771.43 ± 746.3	3200 ± 810
	Mini-Maxi (m^2)	400-5000 (n=9)	800-5800 (n=7)	400-4800 (n=5)
2 ó 3	DRS ± ES (m)	72.06 ± 11.38	68 ± 11	96.5 ± 12.8
Estaciones	DmR-DMR (m)	20-241.7 (n=30)	20-160 (n=13)	60-141.4 (n=6)
	S (m^2)	4553.9 ± 1374.2	5600 ± 1982.9	21000 (n=1)
	Mini-Maxi (m^2)	400-14200 (n=13)	1200-12600 (n=5)	
Playa alta	Dmr - DMR (m)	40-180 (n=7)	> 126 (n=2)	40-180 (n=8)
Verano - Otoño	Mini-Maxi (m^2)	5150-15600 (n=7)	8150-20000 (n=2)	6500-15700(n=8)

DRS = distancia media entre las recapturas sucesivas, ES = error estándar, DmR = distancia mínima entre recapturas sucesivas, DMR = distancia máxima entre recapturas sucesivas y S = área de actividad.

Conclusiones

La comunidad de roedores que habita la zona de manchas de la playa baja presenta una diversidad escasa si se le compara con las encontradas en unidades geomorfológicas de la playa alta y de la bajada. La riqueza específica estuvo directamente relacionada con la diversidad fisonómica-florística. Los roedores predominantes fueron los heterómidos, es decir especies granívoras que dependen principalmente de los recursos alimentarios que les proporcionan los vegetales predominantes (pastizal de sabaneta, *Hilaria mutica* y mezquite, *Prosopis glandulosa, Sporobolus airoides*. Se encontraron asimismo herbívoros (cricétidos) y omnívoros (esciúridos).

Las bajas densidades reportadas en este estudio se debieron probablemente a que 1994 fue un año de fuerte sequía y a la relativa pobreza de la vegetación, producto de la salinidad del medio, sin que haya sido posible evaluar el impacto de la actividad del ganado vacuno en el sitio.

No obstante, a pesar de las escasas densidades, los roedores coexisten debido a que el ensamble presenta una marcada organización estructural y espacial, basada en una segregación en la utilización del nicho de cada especie. Dicha segregación opera en función de sus requerimientos alimentarios (tamaño de los granos) y de su tamaño corporal, como estrategia que permite un equilibrio en la comunidad.

Estudio preliminar de los macro-invertebrados acuáticos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí

Valdez Ramírez M.E., Dejoux C.

Introducción

Desde su creación, la Reserva de la Biosfera de Mapimí ha dado lugar a un número importante de estudios sobre la fauna, realizados tanto por investigadores mexicanos como extranjeros. Representativa de los medios semidesérticos y desérticos del norte de México y de los Estados Unidos, esta zona constituye una entidad ecológica donde el agua ha sido elemento clave de su evolución. No obstante, los ecosistemas acuáticos se observan escasamente representados. Ciertamente, ésta es la razón principal por la que ningún estudio hidrobiológico ha sido efectuado antes del presente trabajo. Si se considera, por ejemplo, los diferentes trabajos de ecología y de biología, relativos a los invertebrados, es posible observar que dichos estudios conciernen únicamente la entomofauna terrestre o, de una manera más general, la línea de los artrópodos. Rivera y Viggers (1992) realizan una descripción de la composición faunística de los artrópodos terrestres, también determinan los artrópodos terrestres de la entidad fisiográfica vegetal llamada "magueyal"; Rojas (1991) efectúa un estudio sobre las especies del género *Pogomimex* Mayr (*Hymenoptera, Formicidae*); Haces Hil (1992) describe los artrópodos terrestres de la entidad fisiográfica llamada "matorral de *Larrea*".
Para completar el inventario de la fauna de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, nos pareció necesario integrar un estudio taxonómico de los agrupamientos animales que habitan en el conjunto de los medios acuáticos de la región. Éste es el objetivo principal del presente trabajo. Nuestro estudio constituye un trabajo preliminar y estamos convencidos de que otros trabajos similares serán realizados posteriormente para completar los conocimientos relacionados con la biodiversidad.

Este primer estudio hidrobiológico se refiere a tres medios acuáticos diferentes:

- Se trata en primer lugar de un medio temporal salino: la laguna de Las Palomas. Este medio, que puede llegar a desecarse cada año, también puede llegar a representar una importante extensión de agua, cuando las precipitaciones anuales son elevadas (Cap. 1). Por su situación geográfica, pero sobre todo por la dinámica de las aguas que lo alimentan cada año, este biotopo acuático es siempre salino.
- El segundo medio estudiado es una represa temporal: el presón de San Ignacio.
- El tercero está representado por otros dos presones permanentes, por lo menos a escala de varios años: los presones de San Carlos y El General.

Más allá de la elaboración de un simple inventario faunístico, nos pareció interesante investigar de qué manera pueden los organismos acuáticos establecer o mantener sus poblaciones en estos medios, frecuentemente alejados unos de otros, generalmente temporales, o que presentan –dada su elevada salinidad durante un periodo del año- un muy escaso número de organismos que logran subsistir. Con el objetivo de dar respuesta a esta interrogante, el presente estudio fue realizado en dos fases.

- Durante la primera fase, abril de 1993, antes de la temporada de lluvias, se realizó una serie de muestreos basados en la extracción del suelo desecado de la laguna de Las Palomas. Este muestreo fue realizado con el objetivo de colectar las formas de resistencia existentes en la capa superficial de suelo con potencial para dar origen a las poblaciones de invertebrados durante los años lluviosos (los años de inundación de la laguna).
- Durante el periodo de lluvias, las comunidades de macro-invertebrados acuáticos se mantienen durante varias semanas en los cuerpos de agua temporales. El inventario principal fue efectuado durante esta segunda fase, tanto para la laguna de Las Palomas como para los presones antes mencionados.

Material y métodos

Descripción de la zona de estudio

☞ La laguna de Las Palomas está situada en el suroeste del Bolsón de Mapimí y cubre aproximadamente 18.800 km^2, en el Estado de Durango, principalmente. Una importante red fluvial alimenta la laguna, de manera temporal y en función de la abundancia de las precipitaciones.

El arroyo "La Cadena", que desemboca en la laguna, se origina en la parte sur del Estado de Chihuahua; también es denominado "arroyo de La Parida". El desagüe promedio de este arroyo fue estimado por Tamayo (1982) en cerca de 104 millones de m^3.
"La Vega" y el arroyo "La Calavera" son dos cursos de agua de régimen temporal que alimentan la parte sur de la playa del Bolsón de Mapimí. Se trata de zonas más bien bajas y extensas, con numerosos canales e interconexiones. Se encuentran en esta zona otros dos afluentes de régimen hídrico similar que la alimentan: "La India", al sur, donde se reúne con La Vega en una zona baja, y una depresión al norte que se articula con las aguas que derivan de la playa. Estas corrientes, que son atrapadas en una zona endorreica baja, conforman el lecho de la laguna de Las Palomas (Figura 87).
El fondo de la cuenca, de esta manera constituye una laguna de régimen temporal, con una reducida tasa de renovación debido a las escasas precipitaciones y afectada por una fuerte evaporación. La salinidad de la laguna varía en función de la intensidad de su aprovisionamiento y de la tasa de mezclado con el acuífero salino (Cap. 3). La laguna está separada de las salinas de Carrillo por un dique levantado en la parte sur del sistema (Figura 87) . Este dique fue construido con el fin de evitar el desbordamiento del agua hacia la zona de explotación (Cap. 6).
Los presones -El General, San Carlos y San Ignacio- forman parte del embalse de Las Palomas y se utilizan principalmente para las actividades de ganadería. No existen datos relacionados con su batimetría, ni con sus características hidrobiológicas, químicas y físicas.

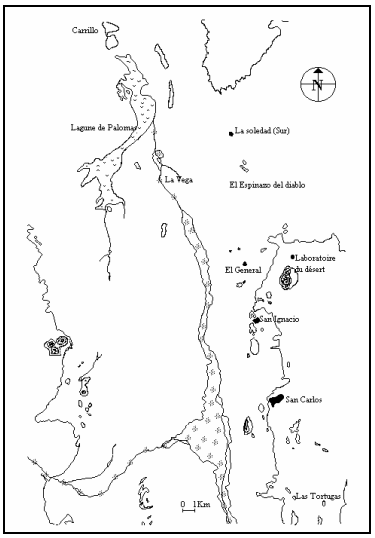


Figura 87. Mapa de situación de la laguna de Las Palomas y presones de muestreo.

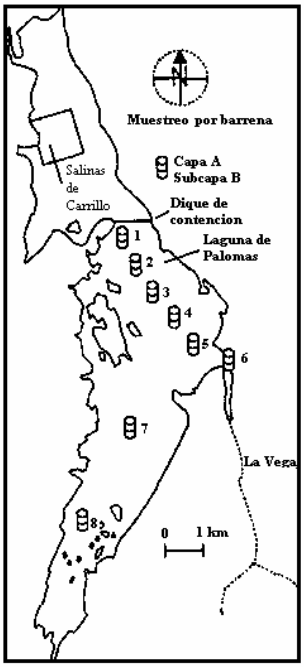


Figura 88. Ubicación de los muestreos en la sebkra de la Laguna de Palomas

Plan de muestreo

Síntesis de los modos de colonización de los medios acuáticos.

Las concentraciones salinas pueden fluctuar en grandes proporciones y la colonización de los organismos vivos resulta difícil, a consecuencia de la escasez de lluvia. Esta colonización se lleva a cabo de dos maneras. Por una parte, algunos organismos presentan una fase aérea en su ciclo de desarrollo (insectos principalmente), que les permite migrar hacia, y entre, los puntos de agua. Por otra parte, los organismos no voladores, desarrollan formas de resistencia que permanecen en el sitio después de la desecación del medio y se reactivan durante la inundación. No es posible dejar de tomar en cuenta el posible transporte de ciertos organismos a través del desplazamiento de algunos animales, por ejemplo las aves acuáticas, aquí no pretendemos abarcar todas las posibilidades.

En el marco de la sebkra, si la precipitación anual es relativamente fuerte, el manto de agua puede alcanzar el extremo sur de la laguna, pero este tipo de inundaciones no se registra a menudo (Cap. 1). Por lo tanto, la alternancia anegación-desecación, interrumpe la continuidad de los ciclos biológicos. En estas condiciones, algunos organismos se ven forzados a desarrollar formas de resistencia para sobrevivir a la aridez y reactivar su ciclo durante la avenida de las aguas. La parte más profunda de la laguna, y por supuesto la que se mantiene anegada durante más tiempo, es la zona más cercana al dique de retención. Esto nos permite entonces pensar que, *a priori*, ésta es la parte de la laguna donde se puede encontrar el mayor número de formas de

resistencia. Estos elementos diversos fueron por lo tanto considerados para definir los sitios de muestreo tal como son presentados en la .

Primera fase de muestreos: formas de resistencia

Con el fin de investigar sobre la eventual presencia de estas formas en la Reserva de Mapimí, se decidió estudiar el lecho de la laguna de Las Palomas. Para la obtención del material, fueron seleccionados 8 puntos o sitios de muestreo dentro del lecho inundable de la laguna (Figura 88). Los primeros puntos fueron seleccionados en función del gradiente de salinidad originado en la zona donde La Vega vierte sus aguas hacia el interior de la laguna. Durante la época de lluvias, el agua que escurre hacia la parte noroeste de la laguna forma un delta. La desecación progresiva de la laguna produce un aumento en la concentración de sales hacia la parte norte, cerca de las salinas, y una disminución hacia la parte sur. Con base a lo anterior, cabe suponer que la estrategia de resistencia a la desecación no es la misma para todos los organismos que colonizan estos medios. Las muestras fueron obtenidas mediante perforación de la capa superficial del suelo, con ayuda de barrenas cilíndricas de 12 cm de altura por 10 cm de diámetro. Para cada muestra, la capa superficial y más desecada, llamada capa "A", fue separada de la capa subsuperficial, llamada "B" y más húmeda. Para la conservación y transporte de las muestras hasta el laboratorio, se utilizaron recipientes de plástico perfectamente sellados.

Preparación y seguimiento de los cultivos de muestras de suelo de la laguna.

Previo a la puesta en cultivo, una pequeña porción de cada muestra fue utilizada para determinar el porcentaje de humedad. Este cálculo fue establecido con base a la diferencia entre la masa de suelo fresco y la masa de suelo desecado en una estufa a 50° C, durante 3 semanas. Los cultivos fueron realizados en recipientes individuales, en un volumen de 4 litros de agua destilada, a una temperatura de 40° C, durante 31 días.

Colecta de otros organismos acuáticos de la Reserva

Después del periodo de lluvias de 1993, se efectuó una segunda serie de muestreos. Durante este periodo, fueron muestreados cuatro medios: el acuífero de la laguna de Palomas[25] y los presones El General, San Carlos y San Ignacio (Figura 87). Con este fin, fueron utilizadas diferentes herramientas de recolección: un tamiz, una red entomológica y una "red-draga" confeccionada para colectar la capa superficial de sedimentos en el fondo. Para cada embalse, se llevaron a cabo diferentes tipos de muestreo:

- en la capa superficial del bordo y, con ayuda de una pequeña embarcación, en el plano interior del embalse;
- en la vegetación acuática sumergida;
- en diferentes puntos aleatorios en el fondo.

[25] El acuífero de Las Palomas linda con la laguna en la parte norte. Se trata de na reserva de agua salada, que es utilizada para la producción de las salinas. Debido al déficit hídrico registrado en 1993 –año del estudio- la laguna no fue alimentada, razón por la cual seleccionamos este sitio para el muestreo del medio salino.

Los organismos recolectados fueron fijados en alcohol al 70% antes de ser transportados al Laboratorio del Instituto de Ecología de Durango.

Resultados

Estudio relacionado con las formas de resistencia

Variación de la salinidad durante el estudio

Los resultados relacionados con la evolución de la conductividad eléctrica de cada medio de cultivo están contenidos en la Tabla 49. En total, se efectuaron 5 mediciones durante el experimento.

Tabla 49. Variación de las conductividades en los medios de cultivo con el suelo de la laguna de Las Palomas

N° de muestra	Conductividad eléctrica en $mS.cm^{-1}$				
	1 Hrs.	24 Hrs.	48 Hrs	12 dias	31 dias
1ª	30.7	28.5	32.7	35.7	40.8
1B	4.8	13.2	19.2	23.5	25.4
2ª	23.9	26.2	30.8	38.8	35.2
2B	7.0	11.5	24.1	28.8	26.8
3A	16.8	17.8	22.6	30.0	31.8
3B	4.1	9.3	21.3	26.7	26.0
4A	5.7	7.6	16.5	27.0	19.0
4B	1.4	2.1	4.6	9.3	10.5
5A	27.3	38.0	51.0	65.2	95.0
5B	21.3	n.m.	12.9	19.4	20.4
6A	3.39	10.0	18.0	6.6	13.9
6B	1.82	2.5	6.0	5.1	3.7
7A	27.4	32.3	37.4	46.5	45.5
7B	46.0	77.0	21.7	25.5	26.2
8A	17.4	21.4	28.5	13.0	42.5
8B	10.0	11.6	14.0	18.7	24.4

n.m. no medido.

Estos resultados revelan que para ciertos medios de cultivo la concentración de sales es relativamente constante durante el experimento. No obstante, para la mayoría de las muestras, los valores presentan fluctuaciones generalmente con tendencia a aumentar.
De manera general, nuestras observaciones muestran que el agua destilada, utilizada para la puesta en cultivo de los sedimentos, se carga progresivamente de sales durante el curso de la experimentación. Esto se debe esencialmente a la alta concentración de sal en las muestras de suelo. Sin embargo, como lo vimos en la parte correspondiente (Cap.3), en la sebkra -cuando la capa de agua aumenta *in situ*- la salinidad se modera (C.E. del orden de 4000 $\mu S\ cm^{-1}$).

Variaciones del porcentaje de humedad del suelo de la laguna de Las Palomas en periodo seco.

La variación del porcentaje de humedad registrada se presenta en la Figura 89. Estos resultados permiten constatar que las tasas de humedad más elevadas se presentan en los sitios 1, 2 y 3 (hacia el norte de la laguna). Estos valores disminuyen progresivamente hacia la parte sur. Estos

tres sitios representan en realidad la zona más profunda del lecho de la laguna, donde la inundación y la humedad logran perdurar más tiempo. Esto resulta particularmente claro en la capa subsuperficial, que conserva un porcentaje de humedad similar en los tres sitios.

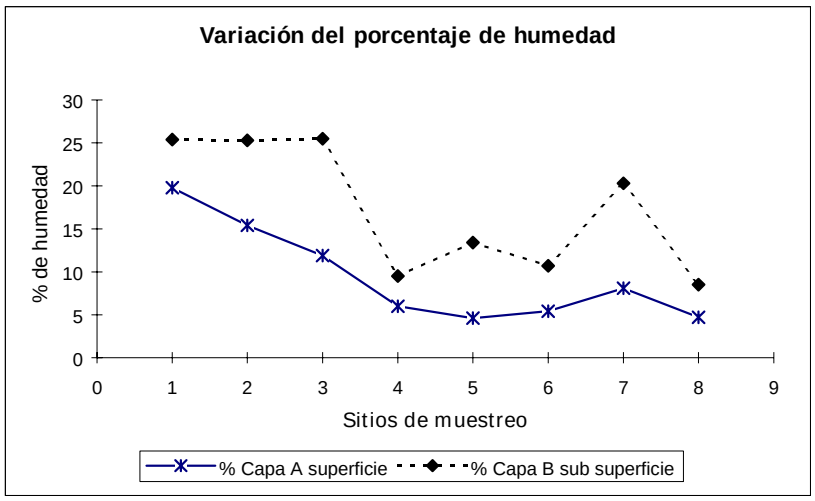


Figura 89. Variación del porcentaje de humedad de las capas superficiales y subyacentes del estrato de la laguna de Las Palomas.

En la superficie, la disminución de la humedad es regular a partir del dique, muy probablemente debido a la intensa exposición solar del suelo. Para esta capa se observa la misma tendencia decreciente de humedad conforme se avanza hacia el sur (sitios 7 y 8).
Aunque escasa, del orden del 5%, la humedad calculada en 55º C persiste en los suelos del lecho de la laguna a una profundidad de 3 a 4 cm. Este porcentaje resulta suficiente para mantener en estado latente algunas formas biológicas de resistencia.

Seguimiento de los cultivos

Las muestras de suelo fueron puestas y mantenidas en cultivo durante 31 días (mayo de 1993). La reactivación del metabolismo de las formas de resistencia contenidas en estas muestras, fue observada después de entrar en contacto con el agua. Los organismos desarrollados fueron recolectados y fijados, después de dos a tres días contados a partir de su primera observación. La distribución y número total de los individuos están contenidos en la Tabla 50.

El análisis de estos resultados permite, en primer lugar, confirmar la existencia de ciertos organismos en los primeros centímetros del suelo de la laguna desecada bajo formas de resistencia que les permiten subsistir hasta que los flujos anuales vuelven a inundar la laguna. El número de individuos y su diversidad específica son, en la mayoría de los casos, más abundantes en la capa superficial (muestras “A”), que en la capa subsuperficial (muestras “B”).
Se podría esperar que el porcentaje de humedad, más elevado en profundidad que en superficie, fuera un factor favorable a la permanencia en latencia de estas formas biológicas y que esto se tradujera en una mayor abundancia durante la puesta en cultivo. Éste no fue el caso ya que

nuestro estudio se refiere principalmente a organismos planctónicos, cuyas únicas formas de resistencia son huevos. Éstos tienen una densidad apenas superior a la del agua y una vez expulsados por los adultos, se acumulan sobre la superficie del sedimento, debido a que no pueden penetrar más profundamente. Los que se encontraron en la capa "B" pudieron haber sido desplazados por la acción de otros animales (ganado, por ejemplo) o bien por simple gravedad cuando las partículas de la capa superficial del suelo se depositan en las grietas de desecación.

Tabla 50. Distribución total y número de organismos obtenidos a partir de los medios de cultivo de los sitios muestreados en el sedimento seco de la laguna de Las Palomas.

	Sitios muestreados															
Material ↓	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B
Ostracodo (sp. ind.)	20	4	4	13	2	19	>50			4	23				1	
Eucypris sp		3	3	3	3	44	4		6	23				2	2	2
Cypinotus sp	6	19	26	15		13				6		1			5	6
Artemia salina		7	2	5		1	1			15	3					
Cladoceros (sp. ind.)				3		>50										
Chydoridae			3			33	6									
Daphnia sp						3										
Daphnia lergi.							1									
Daphnia pulex												1	35			>90
Daphnia longipinis																
Total	26	33	38	39	5	163	62	0	6	48	26	2	35	2	8	98

Las filtraciones de los medios de cultivo fueron realizadas una vez por semana. No se encontraron organismos en todos los cultivos, pero las muestras con escasa presencia son minoritarias. De acuerdo con nuestras observaciones, la velocidad de eclosión y la frecuencia de presencia de huevos variaron en función de cada cultivo. Los resultados están contenidos en la Tabla 51.

Al relacionar la velocidad de eclosión y la frecuencia de presencia de huevos con la ubicación de las muestras en el lecho de la laguna, es posible observar que en el sitio 6A, estos dos factores revisten una importancia particular. Este sitio corresponde al desagüe de La Vega (Figura 88), lugar donde coinciden el aporte de agua más elevado de la laguna y la concentración de sales más baja. Por lo que respecta a la velocidad de eclosión, es también en el sitio 6A donde los primeros individuos fueron detectados. Las velocidades de eclosión varían en función de las diferentes muestras. No se detectó una modalidad específica de eclosión, pero fue posible observar que la aparición de los organismos es más acelerada en las muestras que lindan con la zona de aporte de agua. Es probable que en la zona más alejada, las formas de resistencia hayan permanecido durante mucho más tiempo en el sedimento y que su capacidad de transformación haya disminuido.

Al comparar la escasa superficie de cada muestra (112 cm^2) con la extensión del lecho de la laguna, observamos la importante densidad de estas formas de resistencia (huevos de los organismos planctónicos) que desarrollan esta estrategia de supervivencia.

Tabla 51. Frecuencia de las observaciones y densidad de recolección de los organismos en cada medio de cultivo.

Sitios muestreados	Número de días transcurridos después del inicio del cultivo de las muestras									
	4	5	6	10	13	17	19	21	24	31
1 A	-	-	-	-	-	-	-	-	*	**
2 A	-	-	-	-	**	**	**	-	**	*
3 A	-	-	*	-	**	*	*	-	*	**
4 A	-	-	-	***	***	*	*	-	*	**
5 A	-	-	-	*¤	-	*¤	-	-	-	-
6 A	*	**	-	*	***	**	**	*	*	**
7 A	-	-	-	-	-	**	-	-	-	-
8 A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 B	-	-	-	-	*	*	*	-	*	-
2 B	-	-	-	-	*	***	-	-	*	*
3 B	-	-	-	*	*	-	*	-	**	*
4 B	-	*	-	-	-	-	*	-	-	-
5 B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*¤
6 B	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-
7 B	-	-	-	-	*	-	-	-	*¤	**
8 B	-	-	-	-	*	*¤	*	-	-	-

*¤ Observación y recolección de organismos por filtración, * = 1 a 2 individuos, ** = 3 individuos, *** = $\geq$ a 4 individuos.

Inventario de los medios de agua dulce de la Reserva de Mapimí

Es importante señalar que, en esta parte de nuestro estudio, las especies descritas no corresponden exclusivamente al vaso lacustre de laguna de Las Palomas, sino, como ya se explicó anteriormente, al acuífero ubicado en la parte norte de esa laguna.

Los resultados del inventario efectuado en los diferentes medios se presentan en la Tabla 52. En total, 37 unidades taxonómicas fueron registradas, entre las que se distinguen las siguientes 13 familias: Chironomidae, Notonectidae, Belostomidae, Corixidae, Gerridae, Velliidae, Dyticidae, Haliplidae, Beatidae, Caenidae, Aeshnidae, Coenagrionidae y Lestidae. No han sido, por el momento, identificados otros grupos taxonómicos. Se trata de algunas muestras de moluscos, ostrácodos, oligoquetos y copépodos.

Tabla 52. Inventario de los macro-invertebrados acuáticos, observados en los primeros « presones » y la laguna de Las Palomas de la Reserva de Mapimí.

Relación Órdenes-familias↓	Situación → Especies↓	San Carlos	San Ignacio	El General	Acuíf. Pal.
Oligoquetos	Sp. 1		1 (F)		
	Sp. 2	1 (V)			
Ostracodos	Sp. 1		1 (V)		
	Sp. 2				1 (V)
Copépodos,	Spp.		32 (S)		
Moluscos,	Sp. N.d.	8 (V)	3 (V)		
Dípteros					
Chironomidae	Polypedilum sp.			4 (V,F)	
	Sp.2		S (1)		
Hemípteros					
Notonectidae	Sp. 1			2 (V)	
	Sp. 2		1(V)		
	Sp. 3	3 (V)	21 (V)	7 (V)	
	Sp. 4	4 (V)	11 (V)		
	Sp. 5				1 (S)
	Notonecta sp	4 (V)		40 (V)	
Belostomidae	Sp. 1		14 (V)	2 (V)	
Corixidae	Sp. 1				
	Tenagobia sp.	40 (V)			
Gerridae	Sp.1			2 (V)	
Velliidae	Sp.1			1 (V)	
Coleópteros					
Dytisidae	Sp. 1			2 (V)	
	Sp. 2		2 (V)	4 (V)	
	Sp. 3			1 (V)	
	Sp. 4		1 (V)	7 (V)	
	Sp. 5		1 (V)	1 (V)	
	Sp. 6				1 (S)
Haliplidae	Sp. 1				1 (V)
	Sp. 2				3 (V)
	Sp. 3				2 (S)
Efemerópteros					
Beatidae	Sp. 1	12 (V)		1 (V)	
	Sp. 2	6 (B)			
Caenidae	Sp. 1	1 (V)			
Odonatos					
Aeschnidae	Anax walsinghami	4 (V)		1 (V)	
Coenagrionidae	Enallagma civile	9 (V)		1 (V)	
Lestidae	Lestes alacer		1(V)		
	Celina sp.			1 (V)	2 (S)
Total de unidades	Taxonómicas	11	13	16	7

Acuíf. Pal.: acuífero de la laguna de Las Palomas, V: vegetación, S: superficie, F: fondo, n.d.: no determinado.

Discusiones y conclusiones

Los resultados presentados en la primera parte del estudio, aportan una idea poco precisa de la composición faunística de la laguna de Las Palomas, en donde tan sólo se detectan 11 grupos taxonómicos que perduran (bajo una forma de resistencia) de un ciclo hidrológico al siguiente.

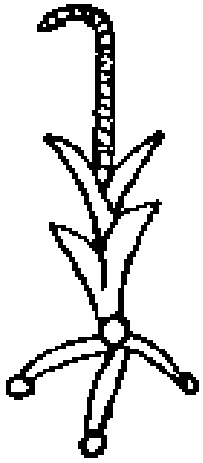
Sabemos que la biodiversidad es un indicador del grado de organización y eficacia en base al cual son utilizados la energía, el espacio y el tiempo (Alcocer y Williams, 1993). La biodiversidad de los medios acuáticos salinos o que presentan "condiciones extremas", es escasa si se le compara con la de los medios dulceacuícolas (Margalef, 1983 Dejoux, 1993). Por otro lado, es posible encontrar una cierta homogeneidad del hábitat, una delimitación del ecosistema y una escasa complejidad en las relaciones tróficas establecidas (Williams, 1972). Si a estas características agregamos la inestabilidad física particular de la zona semidesértica, descubrimos que los organismos que habitan este medio, o que sobreviven en él, tienen una gran capacidad de adaptación. Sólo un escaso número de especies es capaz de lograrlo, pero se ha demostrado que generalmente este tipo de adaptaciones procede de una estrategia reproductiva capaz de procrear un gran número de individuos (Colburn, 1988).
No resulta por lo tanto casual que el conjunto de formas recolectadas en el sedimento desecado pertenezcan al grupo de los crustáceos (ostrácodos, cladóceros y conchostrácos). Sabemos que todos los organismos adaptados a los medios temporales producen estadios de resistencia, frecuentemente huevos, en el curso de su ciclo vital.
Cabe señalar que, incluso en caso de no haber recibido aportes permanentes de sales –producto de la lixiviación de las zonas aledañas y de la evaporación- en el laboratorio, las muestras de suelo puestas en cultivo revelan cierta tendencia a registrar aumentos en su concentración de sales, con excepción de unos cuantos casos. Es también posible observar la aparición de un cierto número de especies eurihalinas, algunas de las cuales -como *Artemia salina*- pueden soportar fuertes concentraciones de salinidad (hasta 250 $g.l^{-1}$). Aun cuando otras especies identificadas, como *Daphnia pulex*, *D. longipinis* y *D. lergi*, soportan un cierto grado de salinidad, son sin embargo características del grupo de los organismos dulceacuícolas. En realidad, las aguas de la laguna de Las Palomas se tornan salobres después de ser alimentadas por el arroyo y de ser sometidas al efecto de la evaporación. Existe por lo tanto un periodo durante el cual el medio puede alojar, para su desarrollo, a organismos planctónicos, de ciclo vital corto, que garanticen la presencia de un estadio resistente a la llegada del periodo desfavorable. Cuando la salinidad aumenta, tan sólo los organismos mejor adaptados sobreviven, como *Artemia salina*, en el caso de este estudio.

El aumento artificial de la salinidad, en los medios de cultivo, hubiera probablemente provocado la aparición de otros organismos que requerirían -para la continuidad de sus ciclos- una concentración más elevada en sales. Se trata, por supuesto, tan sólo de una hipótesis debido a que observamos que las muestras que registran la mayor conductividad (4B, 6B, 8A) corresponden a las que reportan menor número de eclosiones (Tabla 51).

El inventario realizado, en los escasos estanques de agua dulce presentes en la zona, aporta en parte un conocimiento nuevo que permite la determinación de su diversidad biológica. La fauna recolectada forma parte de las entidades taxonómicas que pueblan, a la vez, la zona semidesértica del norte de México y el sur de los Estados Unidos. Cabe, sin embargo, señalar que un gran número de taxones no pudo ser identificado a nivel específico. La continuidad de este estudio, en esa dirección, permitiría un análisis biogeográfico fino ubicando a la Reserva en su corredor sur-norte, como ya se ha hecho para otros estudios.

CAPITULO SEIS

Las actividades humanas de la playa y de la sebkra de la Reserva de la Biosfera de Mapimí.



Espiga de maíz
Glifo azteca de la tierra aluvial.

Las actividades humanas que se practican en la playa y en la sebkra, en parte están vinculadas con la presencia de salinidad en el medio explotado.

- *La ganadería y los manejos hidropastorales asociados, así como algunos de los experimentos de cultivos se llevan a cabo en medios cuyo funcionamiento ya ha sido analizado (Capítulo 4).*
- *La explotación de las salinas continentales representa la principal alternativa para las actividades vinculadas con la producción vegetal, sin embargo esa actividad depende de la calidad del acuífero principal (Capítulo 3).*

Los editores

El ganado bovino en las zonas de playa de la Reserva de la Biosfera de Mapimí

Hernández L. y Barral H.

Introducción

Una de las principales actividades económicas de la Reserva de la Biosfera es la cría extensiva de bovinos, lo que explica que una serie de investigaciones sobre ese tema haya sido realizada en el transcurso de los últimos diez años. Sin embargo, si bien es cierto que la playa representa, con sus 41.500 hectáreas, el 26% de la superficie de la Reserva (Montaña y Breimer, 1988), no se ha efectuado ningún estudio relacionado con la cría extensiva específica de este tipo de medio.
El objetivo de este trabajo consiste en tratar de hacer una evaluación de las potencialidades de este tipo de medio para la cría, a través del análisis de cuatro factores importantes:

- Los recursos forrajeros.
- Los recursos de "resguardo" microclimático.
- Los recursos de agua (acuíferos y presones).
- La propiedad de la tierra.

Los tres primeros puntos son considerados como factores limitantes para desarrollar una actividad ganadera en un ecosistema semiárido y el último punto nos permite evaluar, para cada propiedad, la infraestructura útil para el ganado en cada propiedad (agostaderos, establos, cuerpos de agua).

El clima

Tomando en cuenta las características climáticas de la zona (Capítulo 1) y, de conformidad con los criterios establecidos por Barral (1988), es posible diferenciar, en términos de recursos forrajeros, tres períodos climáticos particulares. Esta distinción está basada en las alturas de las precipitaciones y las temperaturas, pero sobre todo en la presencia de agua en los presones y las depresiones, y la presencia de pastizales verdes. Por lo tanto, distinguiremos 3 estaciones :

1. seca y caliente (abril, mayo, junio),
2. húmeda (julio, agosto, septiembre y octubre),
3. seca y fresca (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo).

Los recursos forrajeros

Según el mapa de vegetación trazado por Montaña (1988), las playas constan de 26 unidades de vegetación definidas con base a 7 especies arbustivas y 4 especies herbáceas (Tabla 53, Figura 90). De estas unidades, únicamente las áreas de pastizales presentan un interés para la cría de ganado.

Tabla 53. Unidades de vegetación en zonas de playa en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, según la tipología de Montaña (1988).

Código	Especies leñosas	Especies herbáceas
A10	*Atriplex acanthocarpa, Haplopappus heterophyllus, Larrea tridentata Prosopis glandulosa*	
B2	*P. glandulosa*	*Hilaria mutica, Panicum obtususm Sporobolus airoides*
C1 A C4	*L. tridentata, P. glandulosa*	
C8	*Allenrolfea occidentalis, Suaeda suffutescens*	
C9	*H. heterophyllus, L. Tridentata*	
C10	*Atriplex occidentalis, Atriplex acanthocarpa*	
C12	*H. heterophyllus, L. tridentata P. glandulosa*	
C13	*Atriplex canescens, A. occidentalis H. heterophyllus, L. Tridentata*	
C14	*A. acanthocarpa, P. Glandulosa*	
C15	*A. canescens, A. occidentalis*	
C16	*A. acanthocarpa, S. suffrutescens*	
D2	*P. glandulosa*	*S. airoides*
D3	*S. nigrescens*	*H. mutica*
D4	*P. glandulosa*	*H. mutica, S. airoides*
D5	*P. glandulosa*	*H. mutica, S. airoides*
D6	*P. glandulosa, S. nigrescens*	*H. mutica,*
D7	*P. glandulosa*	*S. airoides*
D8	*L. tridentata, P. glandulosa*	*H. mutica*
D12	*H. heterophyllus, L. Tridentata*	*S. airoides*
D13	*A. acanthocarpa, P. glandulosa S. suffrutescens*	*S. airoides*
D14	*A. acanthhocarpa, S. suffrutescens*	*Sporobolus spiciformis*
D19	*A. acanthocarpa, P. Glandulosa*	*H. mutica*
D20	*A. acanthocarpa, P. glandulosa S. nigrescens*	*H. mutica, S. airoides*

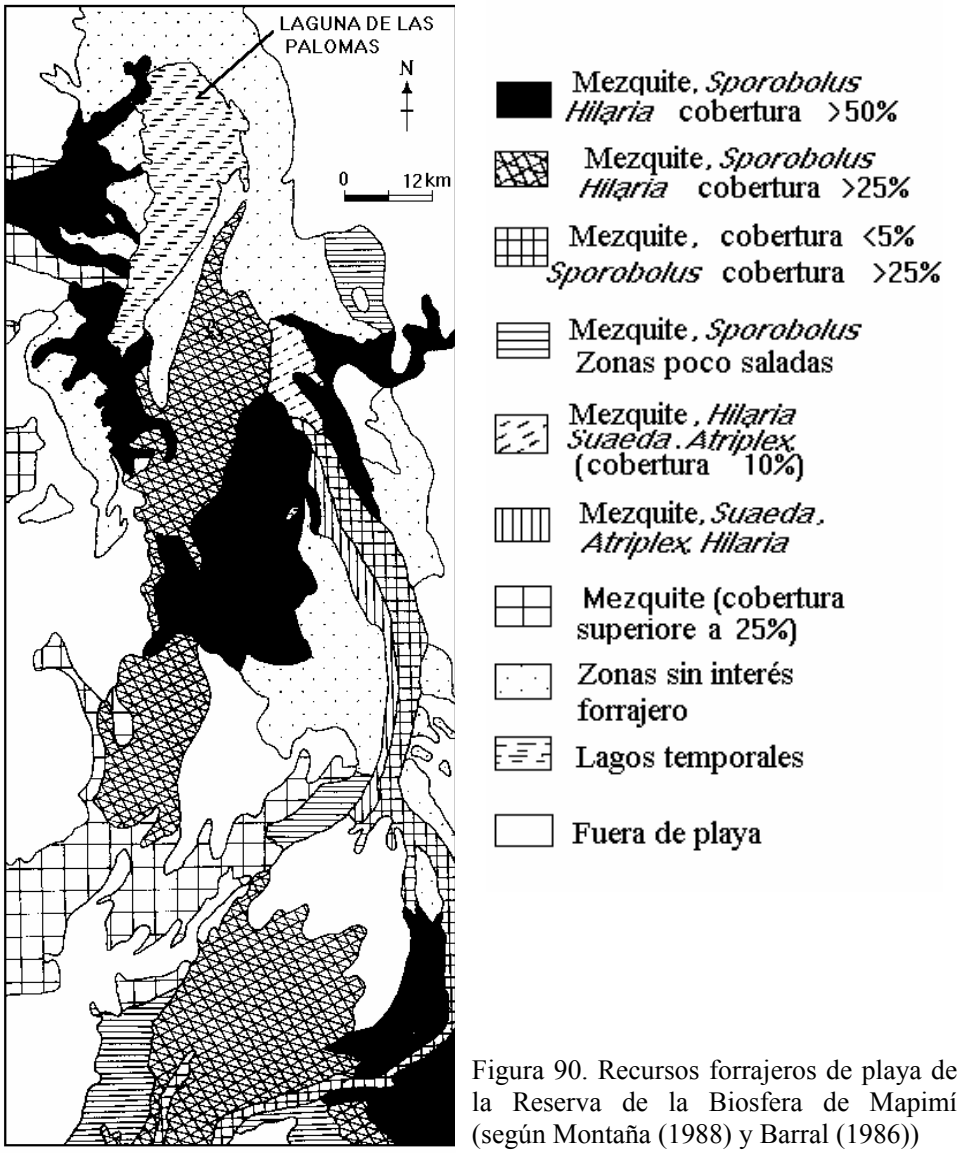


Figura 90. Recursos forrajeros de playa de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (según Montaña (1988) y Barral (1986))

Los recursos de resguardo microclimático

En las zonas desérticas, la escasez de sitios de "resguardo" sombreados constituye un factor restrictivo para el ganado. Los ganaderos pueden contrarrestar esta carencia, mediante la

construcción de sombreaderos[26]. En la Reserva, no existe este tipo de infraestructura y los lugares sombreados son producto de árboles grandes y de amplia cobertura (que proyectan sombras extensas). En particular, en la playa, únicamente el mezquite (*P. glandulosa*) puede ser utilizado para este efecto, siempre y cuando su índice de cobertura y sus dimensiones sean suficientemente importantes.

Los recursos de agua

En las condiciones climáticas de este tipo de ecosistema, la disponibilidad de agua es el factor clave para mantener una actividad ganadera. Los ganaderos tratan de compensar esta escasez de agua mediante la construcción de presones[27]. En la zona de playa, existen 11 presones y dos pozos (Capítulo 3.3). El agua de los pozos es utilizada para el consumo humano y para el ganado (Kaus, 1993).

La propiedad de la tierra

La zona de playa de la Reserva está dividida entre un rancho privado y 6 ejidos[28]. Se trata del Rancho San Ignacio y de los ejidos Estación Carrillo, La Soledad Norte, La Soledad Sur, La Flor, Los Álamos y San Ignacio de Yermo. Con excepción del caso del ejido Estación Carrillo, dedicado principalmente a la explotación de salinas continentales (ref. parte dedicada a las salinas, mismo capítulo), las demás explotaciones están dedicadas a la cría de ganado bovino extensivo destinado a la exportación. En 1989, Kaus (1993) estima que su población bovina es de 2000 cabezas sobre un área acumulada de 66 000 hectáreas.
Aun cuando la delimitación de las propiedades mediante alambradas de púas sea obligatoria desde 1880, tres de los ejidos dedicados a la cría de ganado no siguen esta especificación, lo que da como resultado una superficie de 16 685 hectáreas sin alambradas. El Rancho San Ignacio, los ejidos La Flor y San Ignacio del Yermo cuentan, además de las alambradas que delimitan la propiedad (49 321 hectáreas), con alambradas internas que delimitan las áreas destinadas al manejo del ganado. En esas tres explotaciones, ubicadas en zona de playa, hay 9 presones y un pozo. Por el contrario, en los tres ejidos no delimitados por alambradas, tan sólo hay un presón y un pozo en las áreas de playa.

Discusión

Se cuentan 8 mosaicos de vegetación de playa que responden al criterio de la presencia simultánea de coberturas importantes de mezquite (para la sombra) y de herbáceas, lo que las

[26] Literalmente = proveedores de sombra

[27] Pequeñas presas

[28] Propiedad colectiva de la tierra

hace aptas para su explotación como tierras de agostadero. Con base a los índices de cobertura de arbustivos y herbáceas, estos mosaicos pueden agruparse en 6 categorías (Figura 90). De las 41 500 hectáreas de playa, el 58% puede por lo tanto ser utilizado por el ganado. Las especies herbáceas más importantes son *Hilaria mutica* (*toboso*) y *Sporobolus airoïdes* (*zacatón alcalino*). Es justamente la presencia de esta última especie la que convierte a la playa en una unidad de paisaje de gran importancia para el ganado. Hickey y Springfield (1966) demostraron que la *Sp. airoides* florece incluso en años secos.

Del 58% utilizable por el ganado, 18 400 hectáreas están conformadas por áreas de pastoreo de calidad superior, debido a la presencia de amplias zonas de herbáceas con mezquite y tasa de cobertura superior al 25%.

Sin embargo, el 8% de la zona de playa, aun cuando incluye especies forrajeras y mezquites, presenta escaso interés para la cría, debido a coberturas vegetales inferiores al 10%.

En los "talwegs" que limitan las zonas de playa (La Vega, El Bajo), las coberturas de mezquite son inferiores al 5%, en tanto que en las áreas de *H. mutica*, las coberturas son superiores a 25%. Esta característica hace que los talwegs de esta zona sean diferentes a los de la región oeste de la Reserva, en donde constituyen una zona de pastizales de muy buena calidad (Hernández, 1994). Sin embargo, la falta de áreas sombreadas puede verse compensada por la topografía de los talwegs, cuyos ribazos constituyen refugios adecuados para los bovinos.

Por lo tanto, el 34% de las zonas de playa no parece ser adecuado para su utilización como tierras de agostadero debido a la escasez de pastizales.

Los ejidos, que no están delimitados por alambradas, tan sólo cuentan con dos cuerpos de agua, en tanto que en estas zonas se mantiene una carga de 20 ha por unidad animal^{-1}, lo que eleva a 800 cabezas de ganado la riqueza pecuaria de los 3 ejidos (Kaus, 1993). En consecuencia, sin una política de apoyo al desarrollo de infraestructuras hidráulicas, la ganadería en esas explotaciones no es factible a largo plazo.

Finalmente, las zonas en la ribera oeste de la Laguna de Las Palomas son señaladas como zonas subutilizadas por el ganado. Sin embargo, esta parte de la playa pertenece al ejido Estación Carrillo, dedicada sobre todo a la explotación de salinas continentales.

La viabilidad de la cría de bovinos en las zonas de playa presenta dos alternativas:

- La necesidad de mantener al ganado en las cercanías de los cuerpos de agua con el fin de evitar que pierda peso durante sus recorridos entre los pastizales y los puntos de abrevamiento. Sin embargo, esta práctica tiene un costo ecológico elevado, debido a que provoca la sobreexplotación de los pastizales en las cercanías de los cuerpos de agua. Además, en la parte oeste de la Reserva, aun cuando corresponde a otros ecosistemas, Hernández (1994) demostró que esta práctica disminuye de manera considerable la productividad forrajera.

- El imperativo de utilizar los diferentes hábitats de cada explotación en función del tipo de recurso. Para ilustrar esta estrategia, Barral (1988) demuestra la manera en que el ganado, por sí solo, explota de manera diferenciada cada hábitat de la Reserva. Señala que, a pesar de la gran riqueza forrajera de las playas, la escasez de cuerpos de agua, la convierten en una zona preferentemente utilizada en estación húmeda.

Conclusiones

En la playa de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, existen siete zonas de explotación de los recursos:

- Una dedicada a la explotación de salinas (Estación Carrillo), lo que ha permitido mantener en buen estado la cobertura forrajera de la zona de playa que le corresponde.

- Un rancho (San Ignacio) y dos ejidos (La Flor y San Ignacio del Yermo) con nueve presones, un pozo y pastizales delimitados que hacen posible una explotación diferenciada de los mismos a lo largo del año.

- Tres ejidos (La Soledad Norte, La Soledad Sur y Los Álamos) que tan sólo tienen dos presones y cuyo ganado debe explotar diferencialmente el medio a lo largo del año, aprovechando los recursos de cada hábitat como lo señala Barral (1988).

Este simple diagnóstico del uso, que el ganado bovino da al medio playa, requiere de estudios complementarios sobre este tipo de hábitat, en donde los aspectos más importantes por tratar serían los siguientes:

- el aspecto socio-económico de las dos unidades de producción, en función de los dos tipos de usos diferentes (ejidos La Flor y La Soledad);

- el impacto de estas prácticas sobre la vegetación y los suelos de playa.

La presencia y abundancia de las dos especies forrajeras (*H. mutica* y *S. airoides*) con características fisiológicas diferentes en cuanto al tiempo necesario para la germinación y sus modos de consumo de agua (A. De Alba, 1983; Besnard, 1992) hacen que sea crucial la promoción de la playa de la Reserva para uso ganadero.

La siembra artificial de *S. airoides*, la realización de obras hidráulicas para uso agropecuario (Capítulo 6.2) más adecuadas que las actuales y la construcción de presones capaces de captar agua durante gran parte del año, serían las vías adecuadas por explorar si se pretende alcanzar un manejo más eficaz del medio, debido a que, con una carga igual o ligeramente superior, se lograría una mejor conservación del medio.

Los sistemas de fomento de pastizales en la playa

Vital Rumebe A., Alberteau K., Grünberger O.

Introducción

Con el fin de reforzar la producción vegetal natural en las playas del desierto de Chihuahua se utilizan dos tipos principales de sistemas. Sin embargo, debido a la diversidad de medios requeridos, cabe señalar que los operadores no son los mismos.

- El *Surcado Lyster* (nombre que se da localmente al método), implantado por agencias gubernamentales.
- Los *bordos*, procedimiento más accesible para los propietarios de ranchos.

Estos dos tipos de sistemas están presentes en la Reserva de la Biosfera. Debido a que las micro-obras fueron realizadas desde 1986, ya es posible establecer un diagnóstico a largo plazo, así como la comparación entre ambos métodos.

Materiales y métodos

El surcado Lyster.

En 1986, la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos)[29], realizó un programa de gran importancia en el sur del Estado de Chihuahua. La Reserva se vio afectada parcialmente en su parte norte, en donde 873 hectáreas de playa fueron acondicionadas. El sistema empleado está inspirado en el de las "terrazas", aun cuando no se llevó a cabo ninguna nivelación. Dos camellones dobles (Surcado Lyster) delimitan una banda que se adapta a las curvas de los niveles. En la parte alta de esta franja, una zona permanece intacta, es decir sin arar: es una zona de recolección de agua que debe escurrir hasta la zona de infiltración, en la parte baja, tratada para favorecer la infiltración (Figura 91). El tratamiento de la zona de infiltración consiste en un subsoleo que rompe las costras, en función de una serie de surcos separados por una distancia de aproximadamente 90 cm y paralelos a los camellones dobles del fomento. De acuerdo con un documento de la SARH, el equilibrio entre las zonas se ve regulado por la fórmula de Anaya, Tovar y Macías (Velasco-Molina, 1991).

Es decir :

[29] La SARH fue la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. En este caso, la estructura descentralizada depende del Estado de Chihuahua. Desde 1992, la medición de las lluvias (hasta esa fecha a cargo de la SARH) es responsabilidad de la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)

$$\frac{Db}{Znt} = \frac{1}{CR}\frac{Eca - P}{P}$$

Donde: Db = distancia entre los camellones dobles, Znt = ancho de la zona no laboreada, CR = coeficiente de escurrimiento, Eca= altura de agua requerida para las plantas, P= pluviosidad anual.

Cabe señalar que, en este caso, la relación entre la distancia que separa los camellones y el ancho de la zona sin laborear es del orden de 2, lo que permite pensar que los factores CR y Eca se compensan para obtener ese valor. Por ejemplo, para un valor de CR=0.8 y para una pluviosidad de 269 mm, Eca debe medir 699.4 mm, con el fin de obtener una relación de 2.

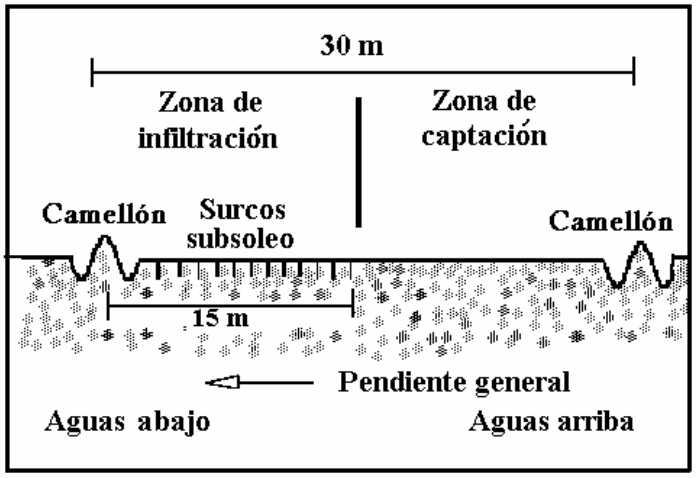


Figura 91. Esquema que describe el manejo de hidropastoreo tipo Surcado Lyster.

Los bordos.

Los bordos están conformados por un pequeño terraplén en forma de arco, generalmente orientado perpendicularmente a la pendiente, con base a una apreciación visual (Figura 92). De carácter rudimentario, estos trabajos son realizados, con ayuda de un tractor, por el propietario del rancho.

En la Reserva, varias zonas –ubicadas en su totalidad en el rancho San Ignacio, son sometidas a este proceso. La realización de estas adaptaciones obedece a una lógica doble:

- fortalecimiento del potencial forrajero de zonas particularmente desfavorecidas;
- inhabilitación de las zonas sin vegetación, con el objeto de que no sean utilizadas como pistas ocasionales de aterrizaje por aviones ligeros[30].

[30] Los moradores de las playas indican que las zonas desnudas, debido a su relieve plano, constituyen pistas de aterrizaje fortuito "adecuadas para las avionetas de los traficantes de drogas" con destino a los EUA. Dada la orografía y el aislamiento del Bolsón de Mapimí, el alcance del sistema de radar es muy corto, lo que facilita los aterrizajes para carga o descarga y el abastecimiento de combustible. Ciertos propietarios de los ranchos pretenden evitar los aterrizajes, mediante la invalidación de todas las zonas desnudas y fraccionando con terraplenes todas las secciones de pistas susceptibles de ser utilizadas para este efecto de tráfico.

Esto explica que, en ciertas zonas, los bordos presenten orientaciones muy disparatadas, sin respetar el principio de orientación con respecto a la pendiente. En la Reserva, más de 1000 ha son tratadas en tres sitios diferentes.

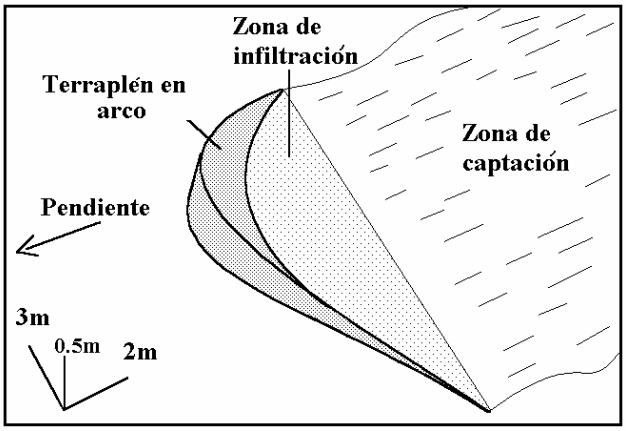


Figura 92. Esquema que describe el fomento de hidropastoreo tipo Bordo.

Métodos de campo y de laboratorio.

Los estados de superficie fueron descritos a lo largo de líneas (transectos), siempre perpendiculares al fomento y en función de la pendiente cuando se trata de una línea de referencia en medio natural. A lo largo del transecto se registró la posición en relación con los elementos del sistema. Ciertos transectos se trazaron a simple vista, tratando de representar de manera óptima las variaciones de la topografía. Los transectos fueron entre 150 y 200 m, en el caso del surcado Lyster, y de entre 20 y 30 m en el caso de los terraplenes. Se extrajeron muestras de suelos superficiales (5-20 cm), un punto de cada cuatro de los de medición de la topografía en Surcado Lyster y en la totalidad del perfil para las infraestructuras de tipo terraplén. Las muestras fueron analizadas en laboratorio en donde fueron pesadas, a 55ºC y a 105ºC. Una lixiviación con relación 1:16 permitió medir la C.E., el pH y los contenidos de iones cloruros, en ciertos casos los contenidos de iones Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}.

Resultados sobre el Surcado Lyster.

Cobertura global

Las coberturas de estados de superficie, en el seno del sistema de fomento, pueden ser comparadas con las del medio natural (Tabla 54). Se observa una disminución de las superficies con vegetación conforme aumenta la superficie de suelo desnudo, el cual aumenta en 16% para el caso de las superficies acondicionadas para este tipo de fomento. Las películas estructurales se desarrollaron principalmente a expensas de las costras de decantación. En lo que se refiere a la vegetación, *Sporobolus sp*. sucede a *Hilaria sp*. y sobre todo *Prosopis sp*. que representa, en este caso, la cobertura más escasa. Por el contrario, los retoños de gramíneas son mucho más frecuentes, lo que representa la única mejora aportada por el sistema en términos de productividad forrajera. La situación es similar en lo que se refiere a las zonas cultivadas antes de

ser acondicionadas. En las zonas de cultivo sin fomento, la cobertura vegetal se presentó con valores superiores al medio natural (Cap. 6).
Una primera conclusión es que este tipo de fomento no aportó una mejora en las potencialidades forrajeras del medio; por el contrario, se empobreció tanto cuantitativa como cualitativamente según lo revela la evolución de las coberturas registradas.

Tabla 54. Cobertura aérea (%) de los diferentes estados de superficie encontrados en las zonas naturales, zonas de manejo por Surcado Lyster en 1986, cultivadas en 1959 y manejadas en 1986, sólo cultivadas en 1959. Medidas efectuadas en noviembre de 1991.

Estados de superficie observados↓	Cobertura aérea media (%)			
	Zona natural	Zona de manejo	Cultivada y manejada	Zona cultivada
º Suelo desnudo	47.0	53.4	65.3	41.2
Costra estructural	Nd	7.0	17.3	Nd
Costra estructural con un horizonte arenoso	4.9	21.0	27.3	18.8
Costra de decantación	1.7	6.9	13.4	5.5
Costra de decantación con bioderma	40.4	18.5	7.3	16.9
ºCoberturas con vegetación	45.2	28.6	27.0	48.0
Hilaria mutica (Buckl.)	10.9	0.5	0.5	31.7
Sporobolus airoides (Torr.)	0.8	14.6	8.0	0.1
Chloris virgata Swartz	18.6	6.1	10.1	8.3
Parthenium incanum HBK	4.5	4.5	4.5	1.0
Pectis angustifolia Torr.	Nd	1.1	0.2	6.4
Portulaca oleracea L (Port.)	Nd	0.4	2.3	0.1
Prosopis glandulosa Torr.	10.4	1.4	1.4	0.4
ºCoberturas con desechos vegetales	0.5	0.8	nd	0.3
Prosopis glandulosa Torr.	0.5	0.8	nd	0.1
Hilaria mutica (Buckl.)	Nd	nd	nd	0.2
ºCoberturas con vegetación no identificada	7.4	17.2	7.8	10.4
Retoños de Poaceae	6.0	14.0	6.7	5.5
Poaceae no identificada	0.1	1.7	0.6	4.3
Plantas no identificadas	1.3	1.5	0.5	0.6

El relieve

Las pendientes son calculadas a partir de la media móvil de las alturas medidas en los transectos. Una amplitud de 5 mediciones permite amortizar los efectos locales (surcos, camellones, hormigueros). El relieve natural registra pendientes muy escasas: 50% son inferiores a 0.3‰ y el 80% de las mediciones indican pendientes inferiores a 0.5‰). Si las pendientes, que están orientadas en el mismo sentido que el fomento son consideradas como positivas y las que tienen sentido inverso, como negativas, es posible construir el histograma de la Figura 93. Revela que si bien las pendientes en el mismo sentido que el sistema de fomento dominan, existe una proporción significativa en sentido contrario a ella.

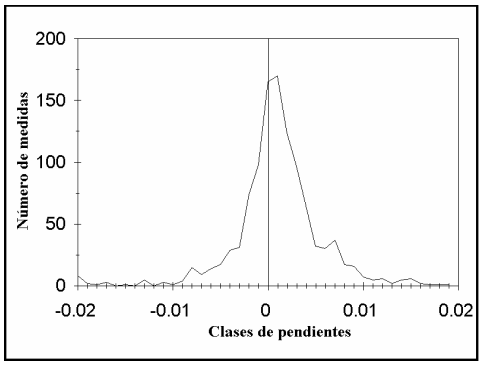


Figura 93. Histograma de pendientes (clasificadas como positivas con una orientación en función del fomento).

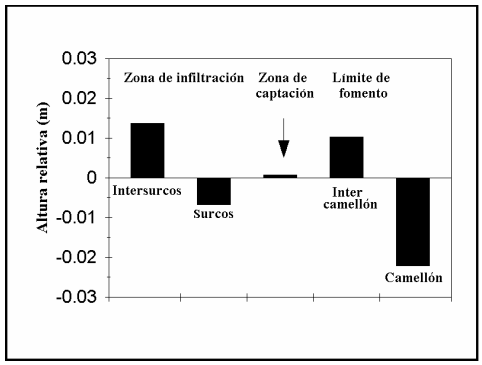


Figura 94. Media de las alturas relativas (con relación a la media móvil sobre 5 valores) de los elementos del fomento de hidropastoreo tipo Surcado Lyster (año 1993)

El relieve del fomento ha evolucionado de manera considerable desde la realización de los trabajos. La identificación de sus elementos y las mediciones de topografía permiten poner en evidencia esta evolución.

Las alturas relativas promedio de los elementos revelan que un cierto relieve residual es todavía perceptible y que ese relieve es del orden de 2 cm para los surcos de la zona de infiltración (Figura 94) y de 3 cm para los camellones que limitan las unidades. Sin embargo, en términos de altura positiva, los surcos sobresalen más que los camellones.

Las conclusiones del estudio de las pendientes revelan que los relieves residuales de los trabajos son todavía suficientes para inducir, considerando las muy escasas pendientes de la zona, un efecto significativo. Un relieve residual continuo de 2 cm, dispuesto sobre una pendiente de 0.5‰ puede teóricamente tener una influencia en 40 m de terreno, aguas arriba.

Organización del medio

Las películas superficiales revelan una determinada organización en el perfil promedio de las unidades del fomento (Figura 95). Las costras de decantación, dominantes en la zona alta del área de recolección (zonas a-b, hasta 55% en promedio), adquieren una importancia relativa inferior en las cercanías de la zona de infiltración. En esta última, las superficies relativas en costras estructurales y de decantación se equilibran.

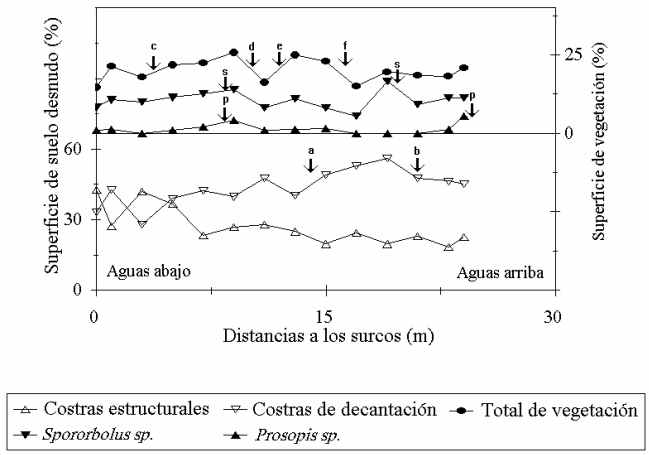


Figura 95. Evolución media de los estados de superficie en función de la distancia a los surcos (Transectos de 1994).

En lo que se refiere a la vegetación, su distribución es bastante uniforme entre zona de infiltración y zona de recolección. Sin embargo, se observa que, de un lado y otro del límite que define las unidades de fomento, la cobertura total de la vegetación es mayor (zonas c-d y e-f de la figura). *Sporobolus sp*. se establece preferentemente en el centro de la zona de recolección y el principio de la zona de infiltración (zonas señaladas con una s), en tanto que *Prosopis sp*. prefiere la proximidad del surco o camellón, en la zona de recolección y el principio de la zona de infiltración (zonas señaladas con la letra p). Con relación a la presencia de crecimiento vegetal de 1991, que revelaba la importancia de la función de los brotes jóvenes de gramíneas en la zona de infiltración, la cobertura de crecimiento de 1994 revela que su implantación (en 1991) no resistió la sequía de los años 1992 y 1993.

Fragmentación del medio

El trabajo del suelo en surcos produce invariablemente una organización repetitiva inferior al metro del relieve en un espacio que no puede ser evidenciado por transectos medianos tales como el de la Figura 95, debido al gran intervalo adoptado por los tipos de distancia (1.5 m). Sin embargo, a detalle, a partir de las diferencias de los relieves iniciales, se origina muy rápido una organización de los estados de superficie en bandas de amplitudes inferiores al metro, en donde alternan costras de desecación o de erosión con costras de decantación o de escurrimiento. La vegetación tiene una clara preferencia por la parte baja de los surcos. Debido al almacenamiento preferencial de una cierta humedad en los puntos bajos, esta organización de las costras de superfice se transforma poco a poco en organización de los estados de superficie, en donde muy a menudo alternan costras de erosión o películas estructurales con costras de decantación o vegetación (Cazenave y Valentin, 1989). Si se traza un transecto de descripción de los estados de superficie, en una parcela recientemente labrada en forma perpendicular a los surcos anteriores, todas las observaciones son inferiores a 1 m.

El deterioro de esta organización en banda -resultado de la fragmentación del medio- se debe a que las bandas de vegetación o de organizaciones superficiales se conectan entre sí, y convergen con los surcos en los puntos de erosión parcial. En este caso, se observa en el mismo transecto perpendicular a los surcos anteriores, segmentos de descripción de estados de superficie sobre distancias superiores al metro.

En el medio natural, el porcentaje de registros inferiores al metro es relativamente bajo (5-20%), depende de la organización natural del medio el porcentaje de las observaciones del estado de superficie. Cabe por lo tanto suponer que el hecho de volver a su estado natural se ve acompañado por una desfragmentación del medio para acercarse a las condiciones naturales. De esta manera, para la zona de infiltración de un medio recientemente labrado, todas las distancias que separen las mediciones serán inferiores a 1 m, debido a que los surcos están separados por una distancia de 90 cm. A medida que la erosión "aplana" los surcos, esta distancia promedio evolucionará hacia distancias promedio entre mediciones propias del medio natural.

El porcentaje de superficie representado por cifras inferiores a 1 m permite por lo tanto calcular el porcentaje restante de los surcos, que llamaremos Índice de Conservación (IC).

Se utiliza la fórmula siguiente:

$$INFA = INFN.(PP/100) + (100 - PP)$$

$$PP = \frac{(INFA - 100)}{((INFN/100) - 1)}$$

En la que:

INFA es la proporción de superficie cubierta por observaciones de longitud inferior a un metro dentro de la banda del fomento (%).

INFN es la proporpoción de superficie cubierta por observaciones de longitud inferior al metro dentro del medio natural (%).

PP es la proporción de la zona al estado natural dentro del fomento (para un manejo de este tipo PP=50% cuando es reciente, PP=100% cuando está destruido).

IC es calculado (índice de conservación en %) por la fórmula siguiente:

$$IC = \frac{PP - 100}{-50}$$

En la Tabla 55, se ilustra un ejemplo de este concepto.

Tabla 55. Superficie relativa de las obsrevaciones inferiores a 1 m (%) y el cálculo de los índices de conservación de los surcos (%) ejemplo de los transectos efectuados en 1994.

Transectos	Superficie relativa de observaciones <1 m	Estado	Cálculo de IC (%)
MNID y MNP	18.26	natural	0%
FMEZ	20.59	manejado	6%
FD	24.04	manejado	14%
FC	40.12	manejado	53%
F	48.28	manejado	73%
FVC	49.62	manejado	77%
FF	53.16	manejado	80%
Teorico	59.14	manejado	100%

La tabla revela la variedad de situaciones en el interior de los transectos realizados. Cabe señalar que ciertos transectos revelan una fragmentación muy elevada con un índice de conservación cercano al estado inicial (FF y FVC).

Conclusiones sobre el Surcado Lyster

Los trabajos de fomento realizados en 1986 no mejoraron la potencialidad forrajera del medio. En efecto, éste fue sometido a una fuerte presión de pastoreo, debido a que se encuentra dentro del territorio del Rancho La Soledad, en donde esta presión es más fuerte que en el Rancho San Ignacio. A pesar de una fuerte erosión, el surcado y los camellones siguen operando debido a la muy escasa pendiente del medio, que sigue estando, en general, muy fragmentado. Los perfiles promedio revelan que la zona de captación no desempeña adecuadamente su función de impluvio para la zona de infiltración debido al predominio de las costras de decantación (costras comunes en zonas de estancamiento de agua). Por el contrario, parecería que la altura residual de los surcos es suficiente, si se considera una pendiente de 0.5%, como para que las dos zonas estén aisladas desde el punto de vista hidrodinámico. El agua se acumula preferentemente por contacto con la zona de infiltración en donde se registran los porcentajes más elevados de coberturas vegetales.

Resultados del método de Bordos

Cobertura global

La zona que fue objeto del tratamiento es una zona de muy escasa cobertura vegetal, probablemente por la combinación de la pendiente y un cierto grado de salinidad. Los trabajos efectuados no revelan ningún efecto positivo (Tabla 56), en lo que se refiere a las coberturas ya que la proporción de suelo desnudo tiende a aumentar. La proporción de costras de decantación disminuye en beneficio de las costras de erosión. *Hilaria sp*. es sustituida por una vegetación más halofita: *Suaeda sp*. y *Atriplex sp*. El único aspecto positivo podría ser un cierto aumento de humedad en la zona tratada.

Tabla 56. Coberturas aéreas y humedad del suelo para los diferentes estados de superficie encontrados en las zonas naturales y manejadas por el método de bordos en 1986 (mediciones efectuadas en 1994).

	Coberturas aéreas (%)		Humedad del suelo (% peso)	
	Referencia natural	Manejo en bordos	Referencia natural	Manejo en bordos
Costras	**82.76**	**89.01**		
Decantación	68.97	46.15	3.62	6.63
Estructurales	8.62	4.40	4.04	5.38
Erosión	5.17	38.46	3.30	4.13
Vegetación	**8.62**	**7.70**		
Suaeda Sp.		3.30		7.10
Atriplex Sp.		4.40		7.09
Hilaria Sp.	8.62		3.66	
Diversos	**8.61**	**3.30**		
Mantillo	6.90	1.10		
Vegetación muerta en pie	1.71	2.20	2.97	13.39

Relieve

La zona de fomento o manejo en bordos revela pendientes más pronunciadas que en el caso del Surcado Lyster; la pendiente es del orden de 1%. El relieve de la obra está siempre presente y el levantamiento de tierra "sobrepasa" por 4 cm la altura promedio. La depresión en la parte alta es menos importante que la depresión en la parte baja del arco, que es del orden de 4 cm (Figura 96). Los dos centímetros de diferencia pueden explicarse fácilmente debido a la sedimentación en la zona de infiltración. El estado de los arcos es muy variable. Algunos de ellos son apenas visibles, otros registran relieves superiores a los 10 cm.

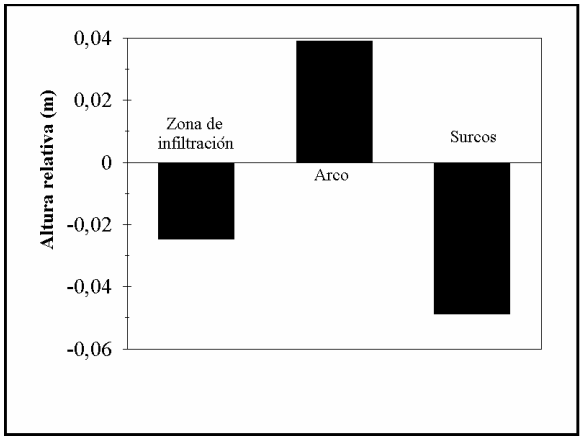


Figura 96. Media de las alturas relativas (con relación a la media móvil sobre 5 valores) de los elementos del fomento hidropastoral tipo bordos (año 1993)

Fragmentación y organización del medio

Una determinada organización en los estados de superficie se produjo en función de la posición y en relación con el levantamiento de tierra del arco (Figura 97). Se observa muy claramente que en la parte alta del arco, la vegetación se instala, al igual que en las inmediaciones de la parte baja. Las costras de decantación son más importantes aguas arriba y decrecen al aproximarse al arco, en beneficio de la vegetación. En el arco, predominan las costras de erosión, así como en la parte baja del arco, después de la depresión. La influencia del levantamiento de tierra en las organizaciones superficiales es de cerca de 10 m en la parte alta y de 5 m en la parte baja. La evolución de los estados de superficie revela que el sistema funciona ya que logra captar agua en beneficio de una vegetación que se establece en ambos lados del arco. Sin embargo, esta captación es insuficiente con respecto de la captación natural y resulta benéfica para una vegetación distinta de la vegetación natural. Esto se explica porque al llevar a cabo el levantamiento de tierra para construir el terraplén se arroja a los lados (poniendo al descubierto) un suelo más salino que el de la superficie. La vegetación que logra instalarse en este tipo de suelo revela por lo tanto una característica mucho más halofita. Sin embargo, esta instalación depende de la cobertura total del medio.

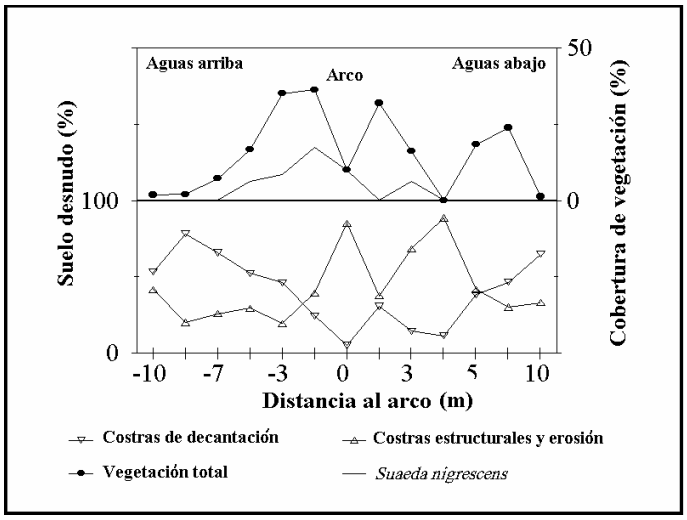


Figura 97. Evolución media de los estados de superficie en función de la distancia a los arcos, fomento tipo bordos de 1986. (Transectos de 1994).

Conclusiones

Ninguno de los dos sistemas resultó eficaz en la playa de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Elaborados en condiciones diferentes, pero ambos basados en la acumulación de agua mediante captación del escurrimiento, su funcionamiento es insuficiente debido a razones diversas. El Surcado Lyster se ve afectado por las muy escasas pendientes, en donde el escurrimiento se

dispersa y una elevación continua de 1 cm es capaz de modificar de manera importante las direcciones y las zonas de acumulación. Su zona de infiltración seccionada por el relieve de los surcos residuales recibe poca agua, misma que en su mayoría permanece en la zona de recolección. En la zona de infiltración, las plantas se instalan en la depresión del surco. El sistema de bordo permite una cierta acumulación de agua en una zona determinada en donde surge vegetación específica, pero esta vegetación difiere de la natural debido a la presencia de horizontes más salinos de profundidad que son expuestos en la superficie. El sistema ideal sería el que lograra captar todo el escurrimiento, a pesar de las escasas pendientes. Inspirándose en las disposiciones naturales, cabría imaginar una estructura de captación cerrada, más que una disposición en función de curvas de nivel, siempre muy teóricas a escala local en una playa. Si el concepto de pendiente conserva su sentido (pendientes superiores a 1‰), la disposición en banda podría conservarse, a condición de que la zona de infiltración sea trabajada de manera paralela a la pendiente (Figura 98).

En caso de que las pendientes sean tan escasas, que la pendiente general no pueda ser definida a escala de la decena de metros, se debería trazar un diseño cerrado. Sin embargo, en donde se presentan manchones de vegetación (Cap. 4), el acondicionamiento debería recurrir al proceso que consiste en una zona desnuda que alimente de manera radial una zona de vegetación en depresión topográfica. Debido al éxito relativo obtenido de manera involuntaria por la estructura del campo cultivado en 1959, es probable que la delimitación de zona cerrada baste para desencadenar el proceso. Se podría entonces, en una segunda etapa, tratar mediante fragmentación de costras las zonas que presentan películas de decantación, con el fin de garantizar la perennidad del sistema.

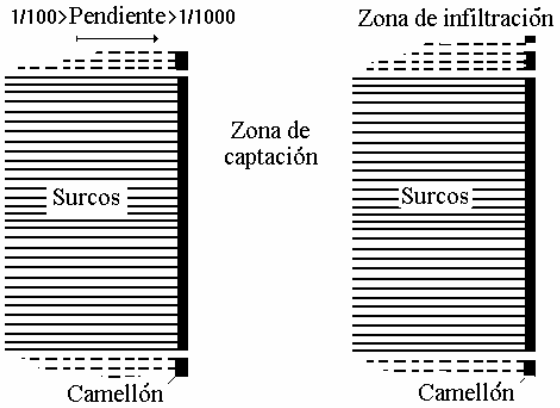


Figura 98. Esquema ilustrando el acondicionamiento particular de la zona de infiltración del *Surcado Lyste*r en el caso de un terreno con pendiente muy débil.

Las salinas de Carrillo: un ejido de producción de sal continental en el Desierto Chihuahuense

Liot C., Grünberger O.

Introducción

Las salinas de Carrillo se localizan en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera de Mapimi (véase mapa anexo). La producción de sal representa un buen ejemplo de actividad alternativa en el desierto de Chihuahua, en relación con las dos actividades principales que son la ganadería extensiva (Barral, 1991) y el cultivo de riego. El propósito del presente trabajo es definir las modalidades de explotación de los recursos salinos, tanto desde el punto de vista de la organización social, como de los procesos técnicos. Los factores que controlan el sistema de producción emanan de la conjunción entre la herencia de la historia, la organización social actual y el uso relativamente eficiente de los recursos naturales (salmueras y clima).

Historia de las salinas

Las primeras salinas conocidas en el área fueron explotadas a partir de finales del siglo XIX, bajo el nombre de «Planillas de Navarro », en el sector suroeste de la laguna de Las Palomas. Actualmente, están abandonadas. En 1930, españoles y habitantes de Jiménez (Chihuahua) crearon las planillas[31] en el norte de la laguna. En 1944, la empresa **i**nglesa « Salinas de México » compró las planillas y construyó las charcas, conocidas actualmente como las « nuevas salinas », en un sector desocupado entre las antiguas salinas y la parte norte de la laguna. Para trabajar en dichas salinas, la empresa transfirió a empleados de Aguascalientes y Zacatecas, estados donde administraba otras salinas. El ejido « Laguna de Palomas y estación Carrillo » fue creado en 1964, pero no fue sino hasta 1973 cuando fue expropiada la empresa y los beneficios generados por la producción de sal fueron cedidos al ejido.

[31]Ver definición de « charcas » y « planillas » en el capítulo : Organización del trabajo

El ejido y el pueblo

En 1991 – cuando se realizó el presente estudio – en el ejido de producción trabajaban 112 personas, de una población total de alrededor de 800 habitantes. El trabajo en las salinas constituye una actividad exclusivamente masculina, que se realiza principalmente en las charcas, bajo el control de las autoridades ejidales, es decir: el comisario, el secretario, el tesorero y el consejo de vigilancia. Además, pequeñas planillas son renovadas y administradas por la iniciativa individual. Algunas mujeres y adolescentes del pueblo trabajan ocasionalmente en la cosecha de productos de los cultivos de riego: melón, sandía, fríjol y chile. Algunas familias son dueñas de un pequeño rebaño de vacas que crían de manera extensiva.
La edad límite de admisión en el ejido es legalmente de 16 años, sin embargo parece que el acceso a la condición de ejidatario está restringida a un número determinado de personas, ya que un número considerable de pobladores de 16 años y más no son aceptados. Cada ejidatario es responsable de dos planillas, cuya producción es administrada individualmente, y de una parcela de charca, bajo el control de las autoridades ejidales.
El ejido se encarga de la venta, del pago de impuestos a la Secretaría de Hacienda, del pago de salarios a los ejidatarios, proporcionalmente a su producción y de la contratación de préstamos con los bancos.
La sal se vende, por tonelada, cuando se carga en camiones o en costales de 50 Kg. cuando se transporta por tren. La sal de Carrillo es utilizada en la fabricación de alimentos para el ganado y en la industria química. Los clientes principales son: La Central de Ganadería Regional, Industria Química de la Laguna (Torreón) y Productos Químicos de León (Guanajuato). Según las declaraciones de impuestos realizadas ante la Secretaría de Hacienda entre 1983 y 1990, el monto de las ventas anuales se eleva a un promedio de 8 553 toneladas. El precio de venta, en 1990, era de 100 pesos[32] por tonelada, lo que representa un ingreso bruto anual promedio de 855.000 pesos para el ejido y de 7.600 pesos para cada ejidatario.

El ejido obtuvo, en febrero de 1990, dos préstamos garantizados con la producción:

- El primero, de 150.000 pesos, con plazo de 4 años y tasa de interés variable (en 1991: 16%), para la instalación de la electricidad y la compra de bombas eléctricas.
- El segundo, de tipo industrial, de 99.000 pesos y con plazo de 1 año, para el arreglo y mantenimiento de las charcas y planillas inundadas en 1990.

Por consiguiente, se descuenta a cada ejidatario 20 pesos del precio de venta por tonelada, destinados al mantenimiento de las estructuras colectivas y al reembolso de los préstamos.

Impacto del clima sobre la producción

Se desarrolla una técnica de tipo artesanal: el agua bombeada de un acuífero salino se canaliza en estanques al aire libre, donde se evapora como consecuencia de los efectos combinados del viento y del sol. El clima constituye, por lo tanto, el primer factor limitante de la producción. De

[32] Los precios se dan en nuevos pesos

manera general, las condiciones naturales son muy propicias. El promedio anual de evaporación es de 2 805 mm, en tanto que el promedio de las precipitaciones anuales es de 264 mm (Cornet, 1988). Sin embargo, las condiciones climáticas varían en función de la época del año y el 71% de las precipitaciones se registra durante el verano cuando la tasa de evaporación alcanza su máximo (un promedio de 348 mm en el mes de junio). Además, el desierto de Chihuahua sorprende por la variabilidad espacial y temporal de las lluvias. Entre 1991 y 1992, se observó una variación de 30 % en las precipitaciones anuales medias, en tanto que los estudios espaciales revelaron variaciones de 200 % sobre una superficie de 30 km^2 (Delhoume, 1991). En síntesis, la producción de sal debe enfrentar la paradoja siguiente: en verano, una evaporación elevada pero fuertes precipitaciones y, en invierno, escasas probabilidades de precipitación pero un índice de evaporación poco elevado.

El clima influye, de manera directa o indirecta, en todas las etapas de los procesos técnicos. De manera directa, la capacidad de evaporación del aire determina la velocidad de concentración de la salmuera. Las lluvias caen en los estanques y retrasan el proceso de concentración. Además, un número considerable de escurrimientos procedentes de los bordos cae en los estanques y aumentan el nivel de agua, que se incorpora a las lluvias directas. Estos escurrimientos provocan la erosión de los bordos y, al cargarse de sedimentos, ensucian la salmuera y merman la calidad de la sal producida. De manera indirecta, las lluvias retrasan los trabajos, ya que los ejidatarios no trabajan cuando llueve y las brechas se llenan de lodo, impidiendo el acceso de los vehículos de carga a las salinas.

Organización del trabajo

Las modalidades varían en función del tipo de estanque: las planillas requieren de una planificación individual, en tanto que el trabajo en las charcas se organiza de manera colectiva

- Las antiguas salinas (Figura 99) constan de 240 planillas, estanques rectangulares de 20 m de largo por 5 m de ancho y 1 m de profundidad, excavados en el suelo con pico y pala. Con la tierra extraída se forman bordos a los lados del estanque. Cada ejidatario posee dos planillas. El estanque se llena hasta un nivel de 50 cm. La salmuera se concentra por evaporación durante el tiempo necesario. Se remueve de vez en cuando con una pala de madera, con el fin de eliminar la costra de sal que se forma en la superficie y así acelerar el proceso de evaporación / concentración. La cosecha se realiza cuando se observa un nivel de 8 cm de salmuera en el fondo del estanque. Cada planilla produce alrededor de 6.5 toneladas por cosecha.

- Las charcas (Figura 99) se dividen en dos tipos de estanques: las *concentradoras* y las *cristalizadoras*. El conjunto está formado por dos concentradoras y tres cristalizadoras. A diferencia de las planillas, las charcas no son excavadas sino que son delimitadas por pequeños bordos realzados. Las concentradoras son estanques de 150 m de largo por 100 m de ancho, en los que el agua de bombeo procedente del acuífero salino reposa durante cinco días, con el fin de concentrarse y depositar las impurezas y sedimentos finos antes de ser transferida a las cristalizadoras por medio de una red de canales. Las cristalizadoras miden 200 m de largo por 100 m de ancho y son llenadas con una lámina de agua de 20

cm. La cosecha se realiza cuando el nivel de agua se reduce a 3 cm. Cada ejidatario administra una parcela de 50 m de largo por 4 m de ancho, delimitada por estacas de madera. Cada cristalizadora produce alrededor de 600 toneladas de sal por cada cosecha.

En ambos casos, la cosecha se lleva a cabo con pala y se acumula la sal en pequeños montículos a lo largo del estanque o de las parcelas. Estos montículos son dejados durante por lo menos un día para que el grado de humedad de la sal disminuya, por gravedad. Posteriormente, la sal es transportada en carretillas hasta los márgenes del estanque, donde se apila en grandes montículos. De esta manera, se deja secar la sal durante un tiempo variable, en función de la disponibilidad de los camiones de carga. Los camiones la transportan hasta el punto de carga final, a un lado de la vía del ferrocarril. En este punto, la sal permanece en los camiones y es pesada en una báscula especial y posteriormente empacada en costales de 50 kg para ser transportada vía tren.

En términos de tiempo, se estima que se dedican alrededor de dos días a la cosecha y otros dos días a la carga y acondicionamiento de la sal para su transporte y venta, así como para el llenado de los estanques. Cada cosecha requiere por lo tanto de alrededor de cuatro días completos de trabajo. Como se verá más adelante, el tiempo que transcurre entre dos cosechas puede variar de dos semanas a varios meses según la temporada del año.

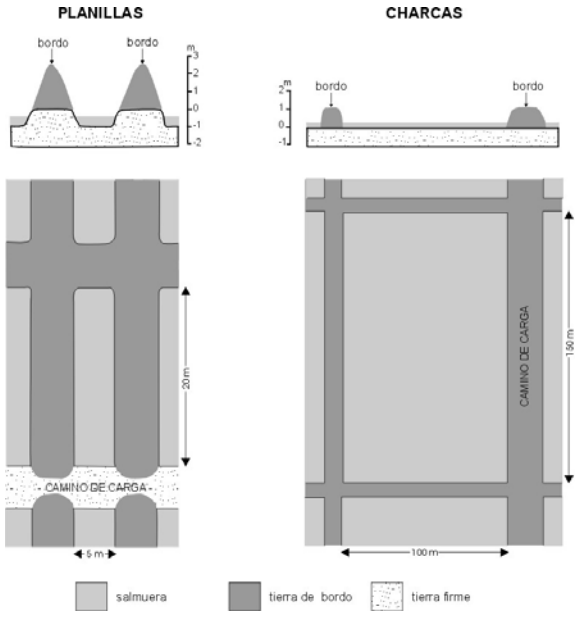


Figura 99. Los dos sistemas de producción de sal del ejido Carrillo : las planillas y las charcas.

Calidad de las salmueras y ciclos de concentración

Un ciclo completo de concentración del acuífero fue monitoreado en laboratorio en pequeños estanques experimentales (Figura 100) (Liot, 1992). La salmuera inicial presenta una densidad de 1.13 y al final del ciclo la densidad es de 1.22. El balance de los cloruros revela que su precipitación (cristalización) inicia realmente de manera significativa cuando el volumen se reduce a la la mitad, con un cierto retraso con respecto al balance de la fase líquida, debido a

ciertos cristales suspendidos en la superficie de la lámina de agua. Estas características indican que el agua del acuífero presenta un alto contenido en sales, equivalente a 150 g/l de cloruro de sodio. Tomando en cuenta que esta agua es cuatro veces más concentrada que el agua de mar, podemos concluir que el acuífero de esta zona presenta una ventaja significativa con respecto a las salinas marinas.

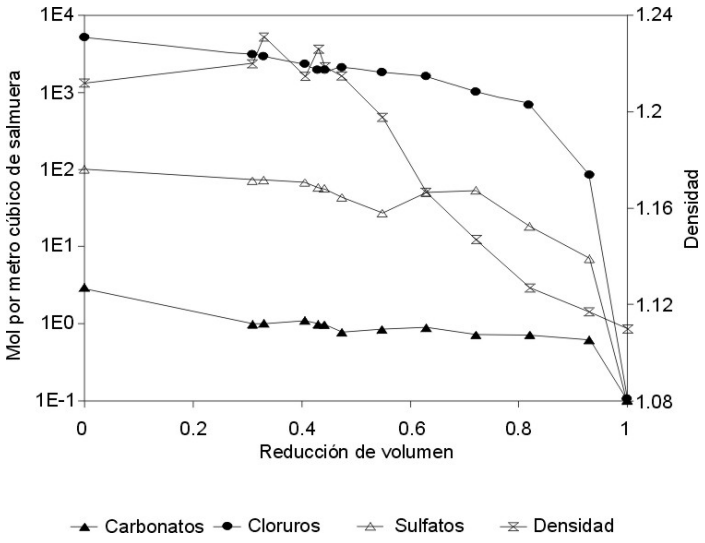


Figura 100. Calidad de los depósitos salinos durante un ciclo de concentración por evaporación.

Estimación de la producción potencial

Los únicos datos de producción disponibles son las facturas (a menudo incompletas) y las declaraciones de pago de impuestos a la Secretaría de Hacienda. Con el fin de conocer mejor el impacto del clima sobre la producción, se elaboró un modelo conceptual con base a los datos físico-químicos medidos en campo y en laboratorio y a los datos técnicos de organización de la producción. Este modelo relaciona los datos climáticos diarios de precipitación y evaporación con los niveles de salmuera en las charcas y las planillas, tomando en cuenta varios factores: los efectos de la salinidad (Pouyaud, 1986), el tamaño de los estanques (Schawb, 1990), los escurrimientos en los bordes de los estanques, la duración de las actividades de cosecha, transporte y llenado de los estanques y los retrasos eventuales de dichas actividades provocados por la lluvia. La muestra un ejemplo de simulación de evaporación para una charca y una planilla. Los valores negativos indican las cosechas, los picos señalan el llenado de los estanques o los efectos de la lluvia y las bajas representan el efecto de la evaporación. Este modelo se aplicó a cinco charcas y cinco planillas con los parámetros climáticos de un período de siete años (de 1983 a 1990, excluyendo el año 1988 por falta de datos). Los resultados de esta simulación se resumen en la Tabla 57

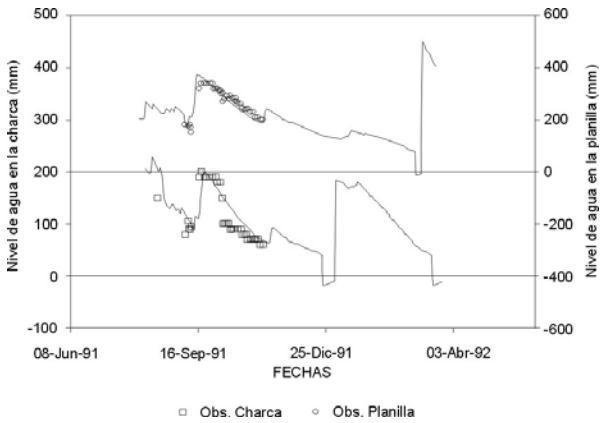


Figura 101. Ejemplo de simulación en comparación con observaciones de campo de los niveles de salmuera en las planillas y en las charcas.

Entre los años extremos, se observa una diferencia relativa de 95 % (de 11 825 toneladas a 23 150 toneladas), frente a una variación del déficit pluviométrico anual (que equivale al total de la evaporación menos el total de las precipitaciones) de 42 % (de 2076 mm a 2961.7 mm), cifras que subrayan el hecho de que la producción amplifica las variaciones anuales. La relación que se establece entre los niveles de salmuera evaporados en los estanques y el déficit pluviométrico puede ser llamada "eficiencia" ya que representa el rendimiento del sistema frente a la energía disponible (capacidad evaporatoria del aire). Por una parte, se observan grados de eficiencia de 39 % para las charcas y de 35 % para las planillas (Grünberger *et al.*, 1993). La ligera diferencia entre los dos tipos de estanques se debe al efecto del tamaño, al alto contenido de sales y a la organización del trabajo, que varían entre ambos estanques. Por otra parte, para los años lluviosos (con un déficit pluviométrico inferior a 2 400 mm), el grado de eficiencia de las charcas es claramente más elevado que el de las planillas. Sin embargo, para los años secos, la eficiencia de las charcas permanece estable con un promedio de 0.42 y la de las planillas varía más con un promedio general de 0.4. Durante años húmedos, el sistema de charcas parece más adecuado que el de planillas y, en los años secos, ambos sistemas presentan una eficiencia similar.

Tabla 57. Producción potencial (en toneladas de sal), eficiencia climática (relación entre la evaporación de la salmuera y la evaporación climática) y jornadas de trabajo potencial para los años en base a los cuales se aplicó el modelo.

Años	Producción potencial del sistema	Eficiencia potencial (evaporación de la salmuera comparada con la evaporación climática)		Jornadas de trabajo por ejidatario al año
	(toneladas)	Charcas	Planillas	
1983	23150	0.418	0.473	236
1984	17650	0.393	0.410	180
1985	13950	0.355	0.266	142
1986	11825	0.328	0.241	120
1987	13950	0.357	0.267	142
1989	20650	0.403	0.348	211
1990	17925	0.468	0.363	183
Media	17014	0.392	0.351	173.4

Existe una fuerte correlación entre el número de cosechas y el déficit pluviométrico a escala de un año. El número de días de trabajo requerido para la producción potencial por año y por ejidatario es en promedio de 173, alcanzando un máximo de 236 y un mínimo de 120. Si se considera un año de 260 días laborables, quedan entre 24 y 140 días disponibles para otras actividades. La dificultad de programación de las otras actividades reside en la necesidad de una compatibilidad temporal y de una previsión de las fechas de trabajo en las salinas (en especial las fechas de cosecha).

Compatibilidad temporal

Como se ha visto, la actividad salinera es una actividad temporal debido al impacto de los parámetros climáticos. La Figura 102 presenta la distribución anual de las cosechas calculadas para los 7 años considerados en el modelo conceptual.

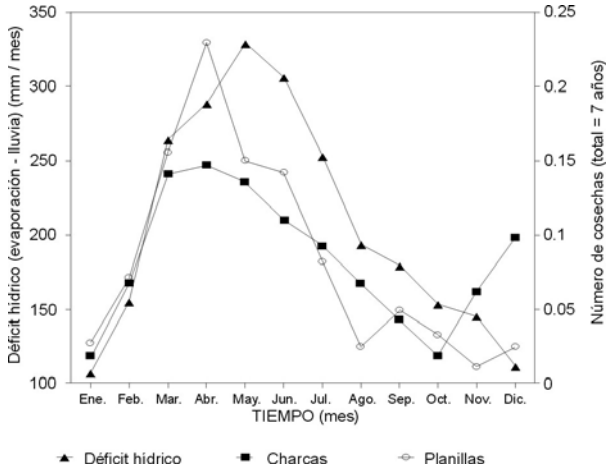


Figura 102. Distribución, a lo largo de un año, de las cosechas potenciales de las planillas y las charcas, en relación con el déficit hídrico mensual promedio.

De la observación de la Figura 102 se desprenden los siguientes puntos:

- Más de la mitad de las cosechas se realiza durante una temporada muy corta, entre los meses de mayo y junio
- Esta tendencia es más acentuada en las planillas que en las charcas
- Los picos de frecuencia de las cosechas se observan durante el mes de abril, en tanto que el déficit pluviométrico presenta su máximo durante el mes de mayo. Este hecho se puede explicar por la coincidencia de dos tipos de cosechas, en relación con la duración de los ciclos de evaporación:
    - las cosechas cuyo ciclo se inicia durante los meses de noviembre o diciembre,
    - las cosechas cuyo ciclo ha sido retrasado por las lluvias de verano.

- Finalmente, ambos sistemas presentan una actividad muy baja durante los meses de cultivo de temporal.

Previsión de la duración del ciclo de evaporación

Es posible prever la duración del ciclo de evaporación en base a la fecha de relleno del estanque con salmuera nueva (Figura 103 y Figura 104). De esta manera, se puede observar que si el ciclo empieza entre los meses de octubre y diciembre, durará de 80 a 120 días para las charcas y de 150 a 200 días para las planillas. El mes de febrero parece el más adecuado para empezar un ciclo y asegurar su corto plazo: entre 90 y 125 días para las planillas y entre 40 y 60 días para las charcas.
Otra manera de mejorar el control de la duración del ciclo de evaporación sería de provocar variaciones en el nivel de lámina de agua inicial en los estanques, según la temporada del año.

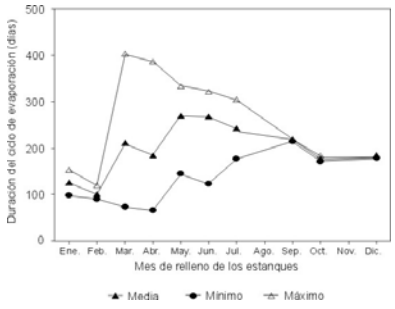


Figura 103. Duración del ciclo de evaporación (en días) en relación con el mes de relleno de los estanques para las planillas.

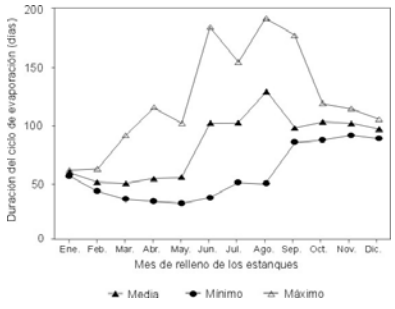


Figura 104. Duración del ciclo de evaporación (en días) en relación con el mes de relleno de los estanques para las charcas.

Conclusiones

El poblado de Carrillo se ve beneficiado por condiciones naturales muy favorables para la extracción de una sal de cloruro de sodio de muy buena calidad y de gran pureza. Las salmueras utilizadas provienen de un acuífero poco profundo que presenta altos contenidos de sales, lo que otorga al ejido una gran ventaja con respecto a las salinas marinas. Además, el ejido heredó una importante infraestructura de producción, construida por Salinas de México, y que es actualmente aprovechada en tan sólo un 50%. Además de estas ventajas, algunas mejoras técnicas podrían permitir a las salinas de Carrillo aumentar su producción: como, por ejemplo, modificación de los bordos de los estanques para impedir el escurrimiento, protección de los montículos de sal en temporada de lluvias, posibilidad de prever la duración del ciclo de evaporación en función de los datos meteorológicos, como se hace en regiones donde el clima es menos propicio (Huelen, 1992).

Con una deuda de más de 250 000 pesos, el ejido deberá aumentar su producción con nuevos aportes, tanto humanos como técnicos, si quiere enfrentar las consecuencias acumulativas de la modificación del artículo 27 de la Reforma Agraria (Luna, 1991) y del control creciente del mercado por las imponentes salinas de Guerrero Negro, en Baja California, que colocan al país en el rango de primer exportador de sales del mundo.

Los cultivos de playa:

Evolución después del abandono

Vital Rumebe A., Grunberger O.

Introducción

Debido a condiciones edáficas y climáticas desfavorables, la agricultura en la Reserva de la Biosfera representa una actividad marginal. Sin embargo, luego que las condiciones lo permiten, los habitantes de la reserva utilizan esas oportunidades para cultivos (y lo han hecho en el pasado). Estas oportunidades son en años excepcionales durante los cuales los cuerpos de agua naturales o artificiales constituyen almacenamientos de agua suficientementes productivos para asegurar la irrigación de una parcela pequeña (Figura 105).

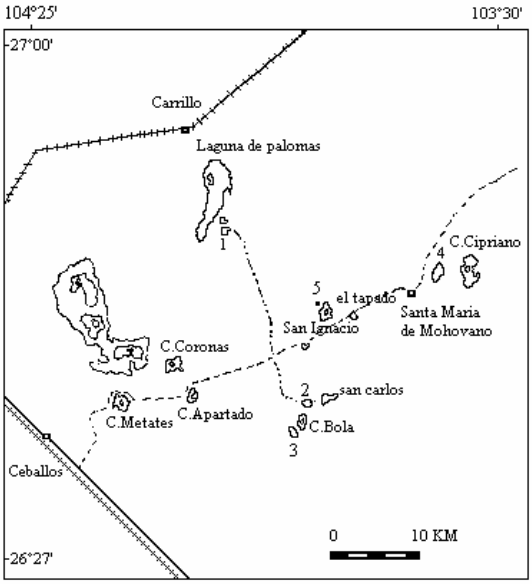


Figura 105. Localización de las zonas cultivadas .1 cultivos de Charco Salado, 2 cultivos de San Carlos, 3 cultivos de Cerro Bola, 4 cultivos de Santa María, 5 Laboratorio del desierto.

El objetivo de este trabajo es de dar un marco de referencia sobre la manera en que los campos evolucionan después haber sido dejados en abandono. Si bien que corresponde a un tipo de cultivo diferente al cultivo de vegetación natural observada en la zona del Sahel en África, se trata igualmente de una tentativa para evaluar el estado de las parcelas cultivadas, para trazar las grandes líneas de su evolución en su retorno al « estado natural ».

Material y métodos

Las parcelas fueron identificadas por fotografías aéreas 1:75 000 de vuelo 1986, una encuesta con los habitantes de los lugares completó la información. Sobre las parcelas, perfiles de 200 m, perpendiculares a las líneas de trabajo del suelo (camellones, surcos, canales) fueron descritos desde el punto de vista de sus estados de superficie y de su topografía, simultáneamente fueron colectadas muestras de suelo a una profundidad de 15 cm. Fueron realizados perfiles de referencia, en un medio natural, es decir en medio no laboreado con el mismo protocolo y sin cultivo. A las muestras de suelo se les determinaron los contenidos en Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, $HC0_3^{-}$ y Cl^{-} (relación 1:16 suelo agua). Las características de las parcelas y las situaciones de los transectos de descripción están indicadas en la Figura 106. La mayor parte de los campos que han sido cultivados se sitúan en la playa. Fueron estudiados cuatro sitios:

- los cultivos de Charco Salado (1959, 376 ha),
- Los campos de San Carlos (1992, 314ha),
- los campos de Cerro Bola (1991, 193 ha),
- la parcela de Santa María (alrededor del año 1880, 300ha).

Resultados

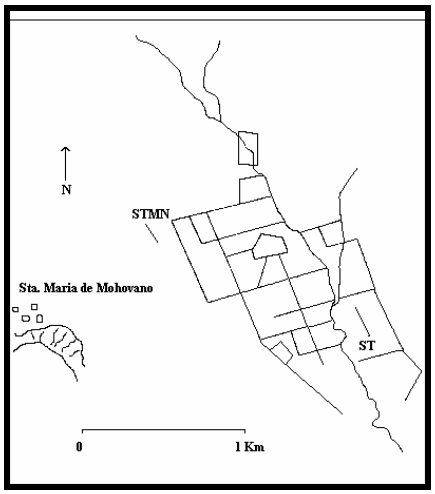
Los resultados de los transectos de descripción se organizan según tres tipos de datos. Están definidas las coberturas superficiales de los estados de superficie, así como las variaciones del relieve con relación a la media móvil. La fragmentación del medio está descrita por la proporción de terreno ocupado por los estados de superficie de una longitud inferior al metro (Cap. 6.2).

Cobertura relativa de los estados de superficie

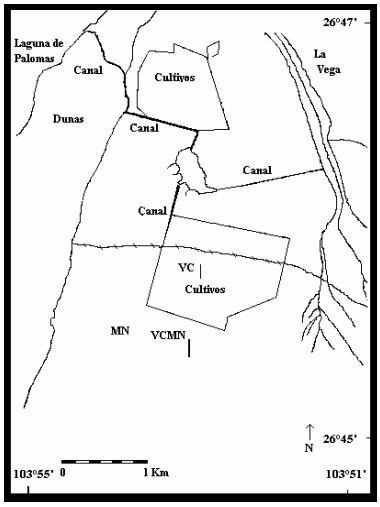
Los estados de superficie de las parcelas cultivadas son comparados con los estados de superficie de las zonas no cultivadas próximas (Tabla 58).

Los datos muestran que las coberturas vegetales de los terrenos más recientemente trabajados son en promedio muy bajas, en comparación a las del medio natural. Para los cultivos más antiguos esta distinción se reduce hasta reinvertirse para el caso de los cultivos del año 1959.

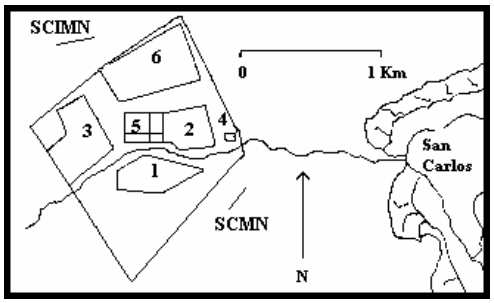
Los arbustos de *Prosopis* son los más lentos en restablecerse si se considera que en los cultivos de 1959 no se encontró este elemento como en su cobertura original, mientras que *Hilaria mutica* a « reconquistado » el medio. Para los cultivos de una edad entre 2 y 30 años parece que la proporción relativa de costras estructurales crece. Después que la erosión de los relieves de los surcos está terminada, la decantación comienza a dominar debido a la presencia de pendientes débiles.



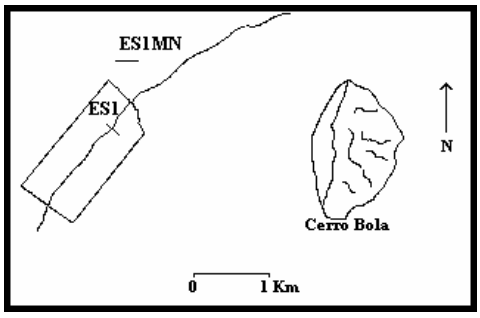
Cultivos de Santa Maria de Mohovano. 300 ha. Medio: Bajada. Edad : más de 80 años. Estructuras de irrigación. Tipo de cultivos / desconocidos.



Cultivos de Charco Salado.376 ha. Medio: playa Baja. Edad 36 años. Irrigados. Algodón y melón (fracaso).



Cultivos de San Carlos. 314 ha. Medio: playa alta. Edad de las parcelas entre 1985 a 1992. Irrigadas maíz, fríjol (fracaso), melón.



Cultivos de Cerro Bola. 193 ha. Medio playa alta. No irrigados. Edad del último trabajo 1 año. Trigo (1992), maíz (1993).

Figura 106. Las cuatro zonas cultivadas en la reserva, parcelas y situación de los transectos de descripción.

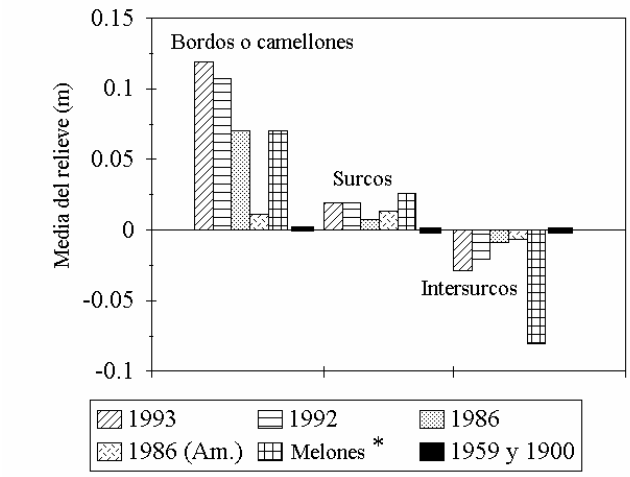
Tabla 58. Coberturas de los principales estados de superficie en las zonas trabajadas y no trabajadas. (cult : cultivada, No cult. : No cultivada ("natural").

Sitios→	San Carlos		Cerro Bola		Charco Salado		Santa Maria	
Cultivada/ no cultivada→	Cult.	No cult.	Cult.	No cult.	Cult.	No cult.	Cult.	No cult.
Estados de superficies ↓								
Últimos trabajos en:	1992		1991		1959		~1900	
Suelo desnudo	**83.9**	**72.0**	**79.8**	**49.1**	**36.0**	**46.1**	**92.0**	**89.4**
Costra de decantación	45.1	51.5	32.5	37.8	19.0	41.5	83.4	45.4
Costra estructural	28.3	15.6	47.3	11.3	17.0	5.6	7.1	9.2
Cobertura vegetal	**2.3**	**24.1**	**5.7**	**46.2**	**64.0**	**53.9**	**2.7**	**3.9**
Prosopis glandulosa	0.1	2.9	0.1	3.0	0.3	11.4	2.4	3.5
Hilaria mutica	nd	18.7	0.3	nd	38.7	10.8	nd	nd
Sporobolus sp.	nd	0.3	nd	36.3	nd	0.86	nd	nd
Diversos	22.0	2.2	5.3	8.9	25.0	29.9	0.3	0.4

nd = no determinado

Modificaciones del relieve

Los relieves están definidos con relación a la media móvil de las mediadas que rodean al punto de referencia. Se observó una neta disminución a través del tiempo. Los relieves no se distinguen cuando la edad de los últimos trabajos rebasa los treinta años. Los surcos realizados para los cultivos de melón se perciben de manera más importante que los de otros cultivos (Figura 107).



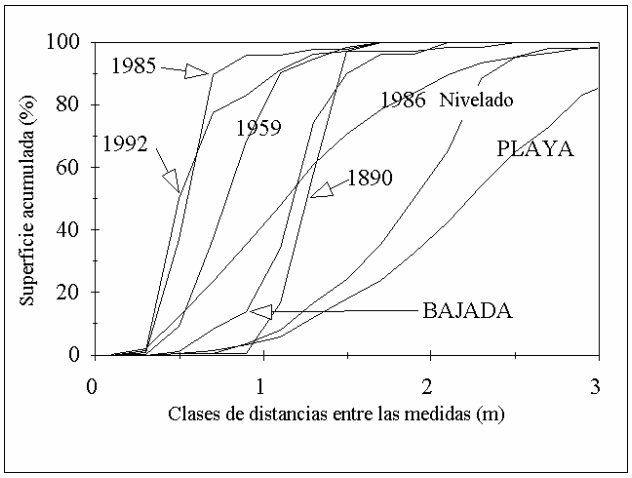
** Cultivos de melón (surco mas fuerte). Am. manejo en 1986.*

Figura 107. Relieve relativo medio de los surcos e intersurcos en los sitios de estudio.

Evolución de la fragmentación del medio

La fragmentación del medio está definida por la relación entre las superficies acumuladas calculadas para las diferentes clases de distancias de las observaciones de los estados de superficie. Se representan, los histogramas de frecuencias acumuladas de los tamaños de las observaciones realizadas perpendicularmente al trabajo del suelo.

☞ Las explicaciones y las hipótesis avanzadas por la evolución de la fragmentación de los manejos son validas también para el trabajo por cultivos. La vegetación, tiene una fuerte presencia en las partes bajas de los surcos debido al almacenamiento preferencial de una cierta humedad en la base de las organizaciones superficiales de tipo costra, esas costras se transforman poco a poco en organizaciones muy frecuentemente con alternancias de costras de erosión o estructurales con costras de decantación y de vegetación (Casenave y Valentin, 1989). Si se dispone de un transecto de descripción de los estados de superficie, sobre una parcela recientemente trabajada, perpendicularmente a los antiguos surcos, todas las observaciones son inferiores a 1 m. Luego que esta organización en banda, originada de la fragmentación del medio se deteriora, las bandas de vegetación o de organizaciones superficiales se conectan entre ellas cortando los surcos en los lugares de su erosión parcial, en este caso, para el mismo transecto se observan perpendicularmente a los antiguos surcos, segmentos de descripción de estados de superficie ocupando distancias de más de un metros. El retorno al estado natural se acompaña de una desfragmentación del medio que indica una aproximación a las condiciones naturales.



1985 =melón,

Figura 108. Superficie relativa acumulada en función de las clases de tamaños de observación.

La fragmentación muestra una evolución general de la proporción de superficie que representa las medidas inferiores a 1 m en relación con la edad o la forma de tratamiento.

- las curvas establecidas para las parcelas de los años 1992, 1959 y 1986 muestran que la proporción de las más pequeñas observaciones de segmentos de estados de superficie es más importante en las parcelas más recientemente cultivadas. Para los cultivos de 1959, si la superficie de las observaciones inferiores a 0.5 m es menor que en los cultivos 1986, es muy poca la diferencia, y esa relación se invierte para las clases de tamaños superiores (Figura 108).

- Los cultivos del año 1890 alcanzaron y rebasaron el estado natural de la bajada. Para los dos casos, la tendencia general de la curva está lejos de parecerse a la curva media de playa lo que parece probar que la fragmentación de los estados de superficie es mucho más importante en bajada que en terrenos de playa.

- Los cultivos de melón, 16 años después del abandono, muestran una fragmentación del terreno siempre más abundante debido a la profundidad de los surcos mucho más importante que los otros cultivos.

- Por último, el terreno que ha sido nivelado muestra un retorno muy rapido a la fragmentación inicial.

Hidrodinámica interna

Los suelos de playa son conocidos por tener una hidrodinámica limitada a una profundidad de 50 cm, debido a la organización de los estados de superficie y de las características internas de los primeros horizontes (Cap. 2 y 3). Los resultados obtenidos con las mediciones neutrónicas permiten distinguir (a pesar del hecho que en el año de mediadas se presento un año muy seco), varios elementos.

☞ La profundidad de infiltración de las lluvias fue observada con la ayuda de una sonda neutrónica de los perfiles de suelos en las parcelas y en el medio natural. Se estimara que la profundidad de infiltración es la primera profundidad donde las medidas de humedad volúmica no variaron durante el curso del año hidrológico 1994-1995.

- En los suelos trabajados recientemente, las lluvias se infiltraron en los primeros 30 cm.

- En los suelos trabajado por varios años (< de 10), y dejados en abandono en seguida, la infiltración es despreciable, para los mismos eventos pluviales.

- En los suelos trabajados hace más de 10 años, se distinguen variaciones de humedad justo hasta los 30 cm.

Cuando los suelos son sometidos a un trabajo de manejo aumentan su macroporosidad pero también por la labor se aprecia una destrucción de los agregados y la continuidad de los macro poros se ve fuertemente afectada. Estos fenómenos producen una potencialidad de infiltración que se debilita en el curso del tiempo debido a la compactación de los niveles superficiales del suelo. Un largo periodo de reposo es necesario para restablecer las capacidades « naturales » de infiltración (Jasso, 1985; Ventura,1992).

Evolución química

Los suelos colectados en zona de cultivos, a una profundidad somera (horizonte radicular), muestran características medias de salinidad diferentes a los suelos naturales debido al trabajo y la irrigación a que son sometidos los primeros (Tabla 59).

Tabla 59. Valores medios de las conductividades del extracto 1:16 del horizonte radicular y coeficiente de variación de las zonas cultivadas y las de referencia.

	Zonas cultivadas		Medio natural	
Parcelas y periodo de abandono	C.E $\mu S\ cm^{-1}$	C.V.	C.E. $\mu S\ cm^{-1}$	C.V.
Santa Maria de Mohovano (95 años)	240	0.21	920	1.09
Charco Salado (36 años)	350	0.13	540	0.72
San Carlos (9-2 años)	330	0.16	270	0.71
Cerro Bolla (2 años)	320	0.09	870	0.91

Las conductividades, generalmente son menos elevadas en medio cultivado debido a la irrigación y al trabajo del suelo (lavado de sales). Lo más característico es el hecho que los coeficientes de variación son menos fuertes en medios cultivado donde la dispersión de los valores es mucho menos grande debido al trabajo de homogenización que producen las labores. Este efecto, todavía es perceptible en los casos de cultivos más antiguos.

Conclusiones

Las observaciones efectuadas sobre los campos cultivados de la Reserva permiten reconstruir un escenario de rehabilitación de las parcelas (Tabla 60). El retorno al estado natural es lento y después de más de 95 años, diferencias, aunque muy pocas, son todavía observadas en la dispersión de los parámetros que describen la salinidad del horizonte radicular.
En los diez primeros años se presenta la degradación de los relieves, con una persistencia de fragmentación de los estados de superficie que representa un excelente indicador de la edad de la parcela. La excelente dinámica interna al inicio, debido al trabajo del suelo, se deteriora, y hay que esperar todavía unos diez años para notar una mejora. Enseguida de esa mejora se instala una vegetación de reconquista diferente a la vegetación natural con coberturas que pueden ser del mismo orden de importancia que el medio natural. La implantación de *Prosopis sp.*; es de hecho un buen indicador de la recuperación, a pesar de la facilidad con la que, esta planta se instala en los canales de irrigación, no es hasta después de una treintena de años que las diferencias de mosaicos perennes de vegetación y de fragmentación desaparecen totalmente, sin embargo las características químicas permanecen repartidas de manera muy diferente.

Es pues razonable de contar, en lo que concierne a la gestión de la Reserva sobre un tiempo de recuperación del orden de 30 años para todo trabajo agrícola clásico. La gestión del medio debe tener en cuenta de este parámetro tanto para el establecimiento de parcelas de cultivo o de plantaciones forrajeras como para los fomentos de pastizal que podrían ser considerados en el marco de un mejoramiento de las capacidades productivas de la zona.

Tabla 60. Escenario de evolución de las parcelas abandonadas después de ser cultivadas.

Periodos de abandono	Estado de las parcelas abandonadas después de ser cultivadas
Entre 1 y 3 años	• El relieve es muy visible y está presente. • Las costras estructurales predominan. • Vegetación de reconquista poco apreciable. • Las características físico-químicas son más homogéneas que en medio no trabajado. • La salinidad es ligeramente más elevada. Hidrodinámica interna activa.
De 3 a 10 años	• Los surcos están parcialmente erosionados, sin embargo los bordos de las parcelas todavía mantienen su altura. • Las costras de decantación se convierten en las más importantes, debido al proceso de erosión. • Una vegetación de reconquista comienza a establecerse, diferente a la anterior. • Las características físicas y químicas del suelo son todavía homogéneas. • La hidrodinámica interna es más deficiente.
De 10 a 30 años	• El relieve de los surcos ha desaparecido en gran parte y se confunde con el relieve de fuera de las parcelas. • El medio permanece fraccionado. • Las costras de decantación predominan sobre las estructurales. • La vegetación de reconquista llega a cubrir las superficies próximas a las zonas naturales. • Las características físicas y químicas del suelo son todavía homogéneas. • La hidrodinámica interna comienza a recuperarse.
Más de 30 años	• Los surcos no se distinguen. • Las costras de decantación predominan. • La vegetación está repartida sin distinción. • La fragmentación del medio no se percibe. • Las coberturas vegetales son muy próximas a las del medio natural, salvo para *Prosopis sp*. • Las características químicas del suelo muestran todavía trazas de laboreo. • La hidrodinámica es idéntica a la del medio natural.

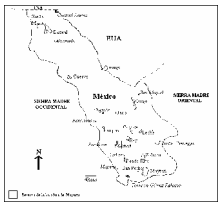
CAPITULO SIETE
Extensión regional

En este capítulo se aborda la visión científica sobre la representatividad de la Reserva de la Biosfera de Mapimí del ambiente del Desierto Chihuahuense. La zona de la reserva ha sido considerada de manera contradictoria, por el mito de los OVNIS, como una zona muy especial, única en su genero, dentro del Desierto Chihuahuense (vértice de los estados Mexicanos de Chihuahua, Durango y Coahuila). La influencia de este mito es tal, que la expresión *Zona del Silencio* toma frecuentemente más importancia que el de *Reserva de la Biosfera.* La comunidad científica tiene la visión opuesta donde la reserva es una zona representativa del desierto Chihuahuense.

Las playas y sebkras del Desierto Chihuahuense son diferentes con relación a las de la reserva de la biosfera de Mapimí?

En esta parte del libro, se intenta dar respuesta a esta pregunta apoyándose en los resultados adquiridos en zonas externas a la reserva de la biosfera pero que están incluidas en el Desierto Chihuahuense. Estudiaremos otras 17 playas y sebkras para establecer una tipología regional. Este análisis, se complementa con un estudio en la Laguna Mayrán que presenta la particularidad de estar fuertemente antropizada y en donde el estudio de la red hidrográfica y de los suelos cultivados nos permiten predecir en cierta forma, la evolución de los medios considerados sin modificaciones antropogénicas importantes.

Los editores



Las playas y sebkras del desierto Chihuahua

Janeau J.-L., Grünberger O., Páez Pérez N., Reyes-Gómez V.M.

Introducción

La parte mexicana del desierto Chihuahuense ocupa aproximadamente 200 000 km². El bolsón[33] de Mapimí, que representa la parte más baja de ese desierto posee una superficie de aproximadamente 114 000 km². En este marco geográfico, se han estudiado las playas y las sebkras de esta gran depresión endorreica, así como la extremidad norte del desierto en Chihuahua (línea fronteriza entre los U.S.A. y México). Estas zonas presentan entre 1000 y 1340 metros de altitud. Se han identificado cuatro tipos de recursos explotables por el hombre: la vegetación halófita consumida por el ganado (Barral, 1991), la explotación de plantas útiles del desierto (Ruiz de Esparza, 1992), la agricultura oportunista de algunos cultivos bajo irrigación (Alberteau, 1991) y la producción de sal continental (Lefond, 1969, Grünberger *et al*., 1992).

El estudio de los estados de superficie representativos de la reserva de la biosfera de Mapimí (172 000 ha) ha contribuido a la comprensión del origen y funcionamiento de la hidrodinámica superficial, la más importante, de la parte baja de la toposecuencia de la cuenca de Palomas. Con el propósito de estimar la representatividad y de comprender los resultados obtenidos en las partes bajas de las cuencas endorreicas del desierto Chihuahuense, se seleccionaron 16 cuencas de entre las 32 existentes. Este muestreo representativo se efectuó en función de su situación orográfica, geográfica y de su superficie (Figura 109).Se trata de las cuencas denominadas como: El Jaco, Santa Maria, Cuatro Ciénegas (el Hundido), Del Rey, Sobaco, El Coyote, Barreal, Mayrán, El Cuervo, La Leche, El Guaje, Las Arenosas, El Gigante, Las Liebres, Puerto Rico, Las Pampas. El estudio se centró sobre las partes bajas de las toposecuencias compuestas de bajada inferior definida como un glacis de pendiente débil, las playas altas y bajas; esta distinción fue esencialmente basada sobre la composición florística, las pendientes no constituyeron un criterio muy útil de selección. Los estados de superficie, los relieves de dunas (viviente o fija y de tipo luneta) y las sebkras (*sensu stricto*), también fueron criterios considerados en este análisis.

Principales características del desierto de Chihuahua

[33] Bolsón : este término puede traducirse como una olla o bolsa, haciendo alusión también al endorreísmo de esta gran cuenca "atrapada" entre dos cadenas de montañas, la *Sierra Madre* Occidental y la Oriental.

Clima

Las principales características de clima que están definidas para la reserva de la biosfera de Mapimí (Cap. 1.2), de forma general se basan sobre los criterios definidos por Köppen, (1948) modificados por García, (1973). La Reserva, está considerada como una región de clima seco, pero que varía en función del grado altitudinal y latitudinal con algunas particularidades locales ligadas a la presencia de macizos más altos que la media registrada para la Sierra Madre Occidental. De norte a sur, se encuentra un clima muy seco semi cálido, con heladas en invierno y lluvias de verano con 5-10.2% de lluvia de invierno, hasta un clima muy seco templado con el mismo patrón de lluvias de verano, pero con extremos de más de 10.2% de lluvias de invierno (Extremo Norte). Dentro de algunas zonas de relieve en la zona de transición sierra-bajada inferior, el clima es semi templado con un periodo de lluvias en verano y un 5-10.2% de lluvias de invierno. Dos regiones tienen condiciones de canícula puntual, es decir una estación corta de sequía en medio de la estación de lluvias de verano (sequía del verano medio). Una de esas se encuentra al este de Chihuahua (106º - 105º O. y 28º50' - 29º40' N.), la otra se extiende al nor-oeste de las aglomeraciones de Torréon-Gómez Palacio (104º20' - 101º40' de longitud O, 25º40' - 26º50' de latitud N). La media de las temperaturas interanuales (aire), varia de los 16ºC en zonas altas a los 22ºC en la zona de planos y depresiones, al nor-oeste. El centro del bolsón presenta medias entre 18 y 20º (27-29º N, 106º-103º30' O). La pluviometría está comprendida entre 162 mm y 358 mm con un gradiente espacial: entre más retirado esté el macizo, más la continentalidad se impone y menos importantes son las precipitaciones. Sin precisar más detalles de la variación puntual, guardaremos el contexto climático de zonas áridas y semiáridas para referenciar el desierto Chihuahuense, más particularmente cuando se hable del bolsón de Mapimí.

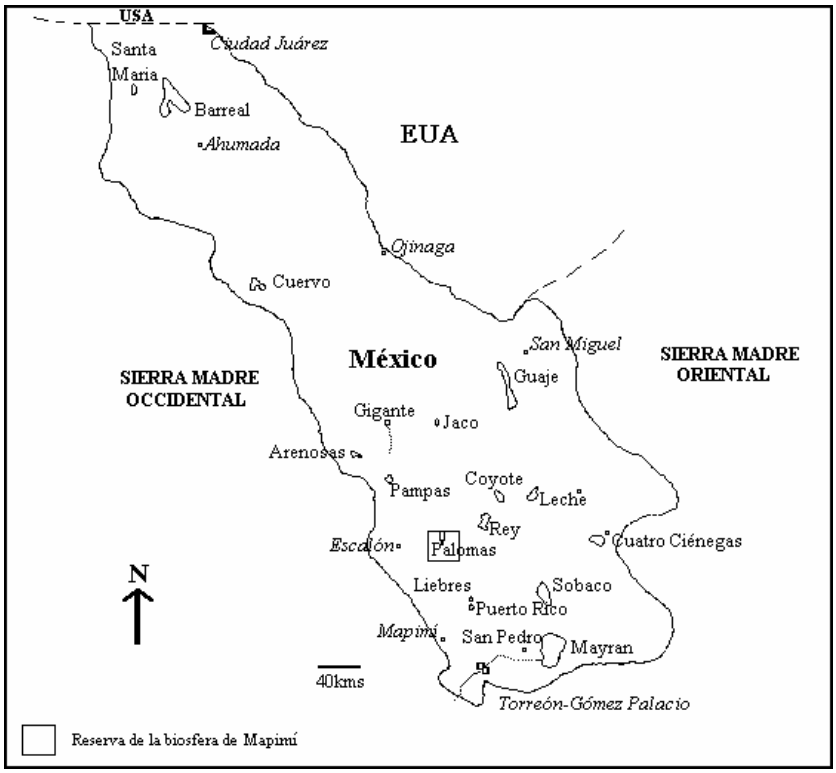


Figura 109. Situación de las lagunas estudiadas en la parte media-baja del desierto Chihuahuense.

Geología

Una gran parte del sustrato se originó en el Cuaternario (suelo de depresiones) y del terciario (cerros y relieves). Algunos macizos sedimentarios son más ancianos, del Mesozoico y sólo un pequeño macizo es del Paleozoico superior, el cuál está situado en el centro del bolsón. La Sierra Madre Occidental colindante al Bolsón está formada por rocas ígneas, al este y al sur dominan las rocas sedimentarias que son fuente de la salinidad en las depresiones.

☞ La salinidad del desierto Chihuahuense se debe esencialmente a ciertas rocas del Terciario (Lutitas con yeso) y del Pérmico-Triásico (Evaporitas). Definitivamente, en términos sedimentarios, algo de la salinidad remanente se encuentra ligada a la regresión marina a lo largo de toda la secuencia geológica. En lo que concierne al Bolsón de Mapimí, es más la proporción de productos volcánicos que con relación a la serie Terciaria que regula la salinidad de superficie. Las aguas termales son un contra ejemplo de esta regla general.

La alineación general de los macizos del Bolsón de Mapimí es de norte a sur, los cauces principales siguen esta dirección. Una excepción se distingue en el caso de la cuenca de la laguna de Mayrán situada en el extremo sur del Bolsón donde la orientación es suroeste-noreste, lo que le confiere a esta gran cuenca endorreica la característica de cerrada, hecho por el cual es llamado Bolsón de Mapimí. Las sebkras tienen una forma alargada, más o menos oblonga.

Edafología de las playas

A la escala del desierto Chihuahuense, las cartas edafológicas 1:250 000 que existen (80 % de cobertura) hacen referencia a diferentes clasificaciones generalmente desaparecidas,. Los suelos reportados son descritos como salino sódicos[34], petrocálcicos[35], pedrosos líticos[36], la salinidad y la sodicidad sobresalen como caracteres salinos en las playas y sebkras. En los subgrupos de suelo encontrados, existe una gran diversidad de subunidades en los tipos de Yermosoles, Solonchaks, Solonets, Podsoles, Vertisoles, Xerosoles y Regoloses.

Vegetación

La vegetación es una estepa microfila con diversas variantes, dentro de la cuáles sobresalen la inerme, subinerme, espinosa. En la zona de depresiones la flora es generalmente halófita, a veces yesofila. Una vegetación específica se desarrolla sobre las dunas arenosas y yesosas. Debido al carácter de salinidad elevada (> 128 mmmhos cm^{-1}) o al carácter inundable, sobre las sebkras generalmente no existe vegetación.

Metodología

Un inventario y un análisis de numerosos mapas geológicos, edafológicos, topográficos y de vegetación, nos permitió de seleccionar las toposecuencias *a priori* las más representativas de las lagunas estudiadas. Un transecto paralelo al eje mayor de escurrimiento ha sido trazado y recorrido, asimismo uno o varios perpendiculares a ese primer eje fueron utilizados para el levantamiento. Sobre todos los transectos recorridos se definió un patrón de colecta y observación. La observación fue basada sobre 35 parámetros que definen la vegetación, las organizaciones superficiales y la posición del sitio en la toposecuencia. Una toma vertical fotográfica desde lo alto de un mástil telescópico completó la observación. Una muestra de suelo fue recogida al nivel de superficie, una segunda muestra al nivel de las raíces (cuando estuvo presente vegetación con densidad importante). Los parámetros químicos analizados fueron los contenidos en extracto 1:16 de los iones de CO3, Cl-, Na^{+}, Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+} expresados en meq l^{-1} así como el pH y la C.E.. Se midieron igualmente, los porcentajes de la humedad del suelo 55ºC y a 105ºC, así como las texturas.

Los estados de superficie encontrados dentro de las 16 lagunas visitadas

La vegetación

Citaremos aquí las especies más frecuentemente encontradas en función del estrato considerado (ver anexo 2 para autores de los binomios y algunos nombres locales).

- El complejo de algas está reagrupado bajo el nombre de: bioderma
- El estrato herbáceo (predominantemente como "pastizal") : *Sporobolus airoides*, con nombres locales de : zacatón alcalino, pajón; *Hilaria mutica*, nombres locales o comunes: toboso grass, sabaneta; *Portulaca oleracea*, nombre local: verdolaga; *Salsola kali L*, *russian thistle*,

[34]salinosodicos: se dice de suelos ricos en iones de sodio.

[35]petrocálcico: designa los suelos que poseen horizontes donde se acumulan carbonatos de calcio que tienden a cementarse en un horizonte duro masivo.

[36]litico: suelo limitado en profundidad por una roca dura y continua amenos de 10 cm.

nombre local: hierba rodadora; *Scleropogon brevifolius*, *burro grass*, pasto alfombrita; *Tridens pulchellus*, término conocido: *fluff grass*, pasto borreguero. Cabe señalar que los recorridos fueron realizados en periodo no lluvioso, cuando las anuales no se perciben.

- El estrato arbustivo ("*matorral*") : *Fouqueria splendens*, nombre local: ocotillo; *Larrea tridentata*, nombre local: gobernadora; *Prosopis glandulosa* nombre local: mezquite; *Suaeda nigrescens o suffrutecens* nombre local: saladillo; *Atriplex canescens*, nombre local: chamizo.
- El estrato arbóreo (>3 metros) está compuesto esencialmente de *Prosopis glandulosa*, algunas *Acacias sp*. y *Larrea tridentata*, si las condiciones de alimentación hídrica son favorables.

Se debe señalar que numerosas cactáceas están presentes en todo el gradiente altimétrico incluyendo la zona baja relativamente salina, su tamaño es excesivamente variable (Cornet, 1988). Sin embargo, cabe mencionar la presencia importante del género *Opuntia* en todas las playas y especialmente la especie *Opuntia violacea*, *purple prichly pear*, nombre locaol, nopal morado.

Reorganizaciones superficiales

Cinco clases de reorganizaciones superficiales pueden ser definidas con base a su funcionamiento hidrodinámico.

- Costras con capacidad importante para producir escurrimiento de forma constante salvo en los casos de pisoteo importante de ganado o acción del hombre: costra estructural, costra de erosión, costra de escurrimiento.
- Costras con baja capacidad de producir escurrimiento de manera semi temporal: costra de decantación con porosidad fisural fina, situaciones en sebkras y depresiones, costras de decantación con porosidad fina fuerte.
- Costras de sales con carácter permanente o temporal: la presencia de sales muy higroscópicas puede expresarse en la superficie del suelo bajo formas de películas saladas, blancas, cloruradas (costras o florescencias salinas) pudiendo evolucionar estacionalmente en microhorizontes polvorientos de color café (materiales finos de suelo) (Loyer, 1991).
- Micro-partículas libres ligadas a la desestructuración de la agregación del medio por aportes de agua salada o por la actividad biológica.
- Arenas libres o encostradas: depósitos eólicos (*ripple mark* continental, micro-*barkhane*), acumulación cuando la sebkra está ligada a los presones naturales (vegetación, elementos gruesos), películas de desecación.

Para estos tres últimos componentes de superficie, la infiltración esta en función de las características de las costras o del horizonte subyacente.

Morfología de las toposecuencias

Las diferentes unidades topográficas de las toposecuencias tienen la misma clasificación que las determinadas para la cuenca de Palomas. La toposecuencia representativa estudiada está constituida de la sebkra, de playas bajas y altas, y localmente de la bajada inferior.

☞ Recordatorio: las sebkras son frecuentemente llamadas "*lagunas*" en México. Hablaremos aquí del término laguna sin diferenciar la sebkra, lo emplearemos para hacer referencia a la humedad que persiste en esas zonas de una cuenca endorreica, además permite de atribuir el nombre de laguna o lago al conjunto de sebkra, playa baja y alta.

Descripción de las lagunas estudiadas

Las partes bajas de las lagunas están descritas sobre la base de las informaciones cartográficas disponibles asociando la traducción con el fin de apreciar la visión del hombre con relación a la realidad ecológica. En la Tabla 61se sintetizan los principales parámetros sobre las lagunas.

Pluviometría y parámetros morfológicos

Un gradiente latitudinal se acopla a la situación orográfica. Por ejemplo, las cinco primeras lagunas están situadas al norte del bolsón de Mapimí (Tabla 61), con latitudes arriba de 27º N. Las playas donde la pluviometría es inferior a los 200 mm están dentro de cuencas muy cerradas, con abundantes relieves pronunciados (Tabla 61). Todas las cuencas están comprendidas en una gama relativamente estrecha de pluviometría anual. Pueden situarse entre las isoyetas de 100 - 200 mm correspondientes a climas áridos o muy áridos, hasta niveles de 200 – 400 mm correspondientes a un clima semiárido (Según la clasificación de Demangeot (1981)).

La laguna de Palomas y el Arroyo de La India forman una cuenca de 19 630 km^2. El Arroyo de la India desemboca dentro de la laguna Palomas luego de crecidas excepcionales, por ejemplo la del año 1991 con 545 mm de lluvia anual y tres lluvias consecutivas de más de 80 mm en menos de 24 horas.

Leche y Coyote son dos de las lagunas con una gran cuenca muy plana de 6428 km^2 sin una relación directa pues están separados por un tercer arroyo que puede alimentarlos después de fuertes crecidas.

La cuenca de Santa Maria posee una superficie total de 6516 km^2 de los cuales 5548 km^2 corresponden a la zona de aguas arriba y poseen poca o ninguna capacidad para producir escurrimiento aún en periodo de crecidas de recurrencia anual.

Descripciones generales de las lagunas estudiadas

☞ La terminología edafológica empleada aquí es frecuentemente utilizada en las cartas de suelos de INEGI, fueron realizadas en el año 1970 mediante la clasificación de la FAO de la época y sobre la base de un vuelo aéreo, la cartografía permite sólo una interpretación limitada debido a la escala y a la débil frecuencia del numero de puntos de referencia. Algunos suelos parecen estar fuera del contexto de clasificación en esos ambientes, sin embargo (como por ejemplo los Phaeosems), sin embargo, se dejaron por fidelidad a las fuentes de información.

MAYRAN, 10086 km^2

Geología: La cuenca está limitada por masivos sedimentarios, al sur con la sierra de Parras y al norte con la sierra El Clarin. Al oeste, se encuentra un pequeño macizo de basalto, al este se presentan algunos cerros de débil amplitud constituidos de conglomerados.

Edafología: Suelo aluvial del Cuaternario con un fondo de depresiones de Solonchaks háplicos y sódicos, con más del 15% de saturación de iones de sodio intercambiables. Las playas están constituidas de Yermosoles háplicos. Localmente, al sur se encuentran Regosoles eutricos.

Vegetación: La sebkra está sin vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófita con dominancia de *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides*, *Atriplex sp.* y *Eryoneuron sp.*, localmente, *Suaeda sp.*. La playa alta está compuesta por un estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa*, *Fouquieria splendens*. Las bajadas presentan vegetación compuesta de *Larrea tridentata*, *Flourensia sp.*, *Opuntia sp.*. La proximidad de ciudades importantes generan la presencia de cultivos bajo irrigación (maíz, fríjol). Algunos campos de cultivo temporales están presentes en la cercanía de los cerros o bien algunos ranchos con vocación de pastoreo.

Tabla 61**.** Relaciones entre la pluviometría anual y la situación altitudinal de las cuencas endorreicas.

Parámetros→ Lagunas↓	Lluvia anual (mm)	Alt. min. (m)	Alt. max. (m)	Superf. laguna (km^2)	Superf. Sebkra (km^2)	Relación Sebkra /laguna
Pampas	357,60	1400	2060	438	13	2.96
Arenosas	347,96	1330	1770	505	1.9	0.37
Coyote	291,11	1090	1800	1135	14.4	1.26
Leche	291,11	1100	2440	873	43.3	4.95
Cuervo	287,68	1140	2020	6516	211	3.24
Jaco	266,99	1250	1480	7495	6.4	0.08
Las Palomas	**264,20**	**1100**	**1600**	**8484**	**38.8**	**0.45**
Santa Maria	263,69	1350	1880	6083	39.4	0.64
Rey	254,99	1040	2090	3792	63.7	1.67
Gigante	252,50	1340	1890	911	5.4	0.59
Liebres	225,08	1100	1800	507	1.5	0.29
Puerto Rico	225,08	1110	1550	1031	10	0.96
Guaje	191,37	1100	2660	7306	207	2.83
Sobaco	186,32	780	2450	2276	9.7	0.42
4 Ciénegas	186,32	850	2120	3762	8	0.21
Mayrán	174,37	1000	1780	10086	260	2.50
Barreal	162,10	1150	2140	7901	562	7.11

Alt., altitud; min, mínima;max, máxima; superf., superficie.

EL BARREAL, 7901 km^2

Geología: La cuenca está limitada por masivos volcánicos y sedimentarios. Localmente, se encuentran conglomerados en las cercanías de los cerros. La sierra de La Candelaria presenta las altitudes más importantes.

Edafología: Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de suelos lacustres fuertemente sódicos y salinos. Se trata de Solonetz gléyico y Solonchak órtico. Al norte y al sur, la playa conforma una amplia extensión (3500 km^2) de dunas que limitan la cuenca. En playa alta, se presentan Yermosoles lúvicos y Solonchaks órticos. En zona de bajada inferior, son regosoles cálcicos asociados localmente a Solonchaks.

Vegetación: Sobre la zona lacustre con inmersión temporal, se presenta una zona desnuda, con una sebkra de aproximadamente 562 km^2. La flora herbácea forma una sabana halófita con dominancia de *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides*, *Atriplex sp.* y *Eryoneuron sp.*, localmente, *Suaeda sp.*. La playa alta esta compuesta en su estrato arbustivo por *Prosopis glandulosa*, *Fouquieria splendens*. Las bajadas están compuestas de *Larrea tridentata*, *Flourensia sp.*, *Opuntia sp.*.

EL JACO, 7495 km^2

Geología: Un masivo compuesto de riolita y andesita se localiza al oeste. Al este, en la seirra Cruces se observan rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Al norte y sur, existen pequeñas colinas calcáreas y dunas areno-yesiferas que limitan la laguna.

Edafología: Solonchak órtico en zona de sebkra, con moderada abundancia de Xerosoles y Yermosoles háplicos en zona de playa, localmente se observan Regosoles calcáricos.

Vegetación: La sebkra no presenta vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófita con dominancia de *Sporobolus airoides* y un poco de *Atriplex canescens*. La playa está compuesta en su estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa* y raras zonas con *Suaeda sp.* y *Larrea tridentata*. Se pueden observar algunas catáceas y palmas del género *Yucca* sobre las dunas más antiguas.

El GUAJE, 7306 km^2

Geología: La cuenca está limitada por macizos sedimentarios (dominancia), al este por la sierra El Pino, con un pie de monte con numerosos conglomerados, al oeste la sierra de Monterrey. Al extremo nor-este se encuentra una zona

de relieves de rocas ígneas extrusivas donde la toba ácida es mayoritaria. Al sur, tres masivos más o menos elevados, La Chorrera, San Antonio y El Caballo tiene un relieve compuesto de basalto, riolita y andesita.

Edafología: Suelo aluvial del Cuaternario con suelos lacustres sódicos en el fondo de laguna, con 15 a 40% de saturación de iones de sodio intercambiables. Al norte, son los Solonchaks órticos los que dominan, existen Yermosoles háplicos. Al centro de la playa, el suelo es de tipo Solonchak takiricocomo dominante y algunas zonas con suelos Solonetz órticos. En zona de bajada, localmente al este y al oeste existen Regosoles calcáricos y Xerosoles cálcicos.

Vegetación: Sobre la zona lacustre con inmersión temporal, se presentan grandes zonas desnudas. La flora de las playas forma una sabana halofita con dominancia de *Hilaria mutica*, en zonas aisladas hay *Sporobolus airoides*, muy localmente existe *Scleropogon brevifolius*, *Muhlenbergia sp.* y *Croton sp.*. La periferia norte de la playa está compuesta de un matorral subinerme y las bajadas de un matorral sarcocaulo. Algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa* en zone baja, más numerosos sobre la playa alta y en bajadas asociados a *Flourensia cernua*, *Yucca sp*., *Acacia vernicosa* y algunos *Opuntia sp.*.

El CUERVO, 6516 km^2

Geología: La cuenca está limitada por masivos sedimentarios dominantes de Las Damas, El Alamo y San Pablo; al este, La Ceja. Al sur, los relieves de la sierra El Torreño están compuestos de rocas igneas extrusivas tales como la riolita y las tobas ácidas. Muy localmente, se encuentran algunos conglomerados.

Edafología: Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de suelos lacustres, salinos y fuertemente sódicos, más del 40% de saturación con el ión de sodio intercambiable. Se trata de Solonchak órtico dominante y de Vertisol crómico. En zona de bajada son los Xerosoles, los Yermosoles cálcicos y háplicos, salinos y fuertemente sódicos los suelos que existen; localmente al oeste y al norte Regoloses eutricos. Al extremo norte existen suelos de origen eólico (dunas fijas).

Vegetación: Sabana halófita con dominancia de *Hilaria mutica* y en zonas aisladas de *Sporobolus airoides*, muy localmente existe H*aplapappus spinulosus*, *Atriplex sp,*, *Solanum eleagnifolium* y *Erioneuron pulchellum*. En zona baja algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa*, mas abundancia en playa alta y en bajadas, asociados a *Flourensia cernua*, *Koeberlinia spinosa* y *Larrea tridentata*.

SANTA MARIA, 6083 km^2

Geología: La cuenca está limitada por macizos sedimentarios dominantes y por relieves de roca ígnea extrusiva tales como la riolita y la toba ácida. Altitud máxima encontrada en la sierra La Nariz.

Edafología: Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de suelos lacustres fuertemente sódicos, más del 40% de concentración de iones de sodio intercambiable; se trata de Solonchak gléyico y takirico. En la parte norte de la playa alta, son los Yermosoles cálcicos. En zona de bajada, son los Regosoles calcáricos.

Vegetación: Sobre la zona lacustre con inmersión temporal, se presenta una superficie desnuda. La flora de playas forma una sabana halófita con dominancia de *Sporobolus airoides*, *Scleropogon sp.*, muy localmente se encuentran *Atriplex sp.* y *Eryoneuron sp.*. La periferia sur de la playa está compuesta en su estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa*. Las bajadas están compuestas de matorral subinerme.

DEL REY, 3792 km^2

Geología: Al oeste, la sierra Del Rey, punto culminante, está compuesta de rocas sedimentarias. Al sur, un relieve de dunas areno-yesiferas delimitan la cuenca.

Edafología: De la sebkra a la playa alta se tiene Solonchaks órticos petrogypsiscos, en seguida Xerosoles háplicos y al final Yermosoles cálcicos. Localemente aparecen costras de yeso.

Vegetación: La sebkra presenta vegetación muy escasa. La playa está compuesta de un bajo porcentaje de cubierta vegetal (< 2%) con *Sporobolus airoides*, *Atriplex sp.,* algunos *Prosopis glandulosa, Suaeda sp.* y *Zinnia acerosa*. Las dunas están fijas pobladas con algunos ejemplares de palmas del género *Yucca* y algunas catáceas, localmente por *Acacia berlandieri, Larrea tridentata* y *Opuntia sp.*.

CUATRO CIENEGAS (EL HUNDIDO), 3762 km^2

Geología: La cuenca está situada entre tres relieves importantes, sierra La Fragua al sur oeste, sierra La Madera al norte y sierra San Marcos y Pinos al sur este. La originalidad de este sitio es el afloramiento de cuerpos de aguas

termales saladas, de ahí su nombre. El yeso es visible bajo la forma de dunas de varios metros de altura (< 20 m), al sur este y al nor-oeste está ocupado por una superficie importante dedicada a diferentes explotaciones.
Edafología: La sebkra posee el punto más bajo del estudio (780m). Los Solonchaks y los afloramientos de yeso son los suelos que componen esta laguna.
Vegetación: La vegetación de *Suaeda ssp*. es dominante, asociada con *Atriplex sp.* y *Eryoneuron sp.*. *Prosopis glandulosa*, *Fouquieria splenden*, *Yucca sp.*, *Opuntia sp.* presentan una distribución aleatoria. El yeso en superficie esta sobrepuesto débilmente fijado al suelo. En las cercanías de los cuerpos de agua, se observan algunos vegetales acuáticos específicos.

SOBACO, 2276 km^2

Geología : La cuenca está limitada por macizos sedimentarios. Al oeste, se encuentran lomas de conglomerado y algunas lutitas en las cercanías de los relieves. Al este se encuentra de forma muy localizada, un pequeño cerro de riolita. La altitud máxima se presenta en la sierra La Margarita.
Edafología: Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de Solonetz órticos. Al norte, las playas bajas y altas están constituidas por Solonchaks órticos o sódicos, con más del 15% de saturación de iones de sodio intercambiable. En zona de bajada inferior, dominan los Regosoles calcáricos y los Fluvisoles calcáreos. Localmente, al oeste existen Yermosoles háplicos, al este Xerosoles háplicos. Al centro de la cuenca presenta pequeñas lomas de baja amplitud constituidas de Litosoles y Regosoles calcáricos.
Vegetación: En la laguna Sobaco existen varias sebkras pequeñas sin vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófita con dominancia de *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides*, *Atriplex sp.*. La playa alta está compuesta de *Hilaria mutica* y en su estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa* y *Fouquieria splendens*. Las bajadas están compuestas principalmente de *Larrea tridentata*, *Flourensia sp* y *Opuntia sp.*. Los pequeños relieves al interior de la cuenca están ocupados por cactáceas y abundantes arbustos del genero *Acacia* y la especie *Fouquieria splendens*.

EL COYOTE, 1135 km^2

Geología: La sierra San Franscisco al este y la sierra Las Tortugas encierran la cuenca. Estos masizos estan formados de rocas sedimentarias.
Edafología: Suelos de tipo Solonetz órticos salados de textura fina dominan la sebkra. En la playa, el orden en abundancia es: Solonchaks órticos, seguido de Yermosoles y Regosoles en la parte alta. Localmente, se observan Regosoles calcáricos.
Vegetación: Playa desnuda. En zona baja, *Sporobolus airoides* , *Salsola kali* y *Atriplex sp.*. En playa alta, algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata*.

El GIGANTE, 911 km^2

Geología: La cuenca está situada entre dos macizos, al sur-este la sierra Agua Chile en las partes más altas, formada de rocas igneas (riolita y toba); en su base existen conglomerados. Al este la sierra Agua de Mayo formada de rocas igneas extrusivas.
Edafología: En la sebkra, Yermosoles lúvicos y Vertisoles crómicos ligeramente salinos y sódicos con textura fina. Al nor-este de la laguna, en la playa baja, se observan Yermosoles gypsicos y en la playa alta Xerosoles lúvicos. Puntualmente al norte, se observan Solonchaks órticos.
Vegetación: *Portulaca oleracea* en zona baja, *Hilaria mutica* y algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa*, *Larrea tridentata* en playa alta asociada a algunas cactáceas.

LECHE, 873 km^2

Geología: Al sur-este, el relieve está compuesto de rocas sedimentarias donde culmina por la sierra La Mula y al nor-oeste por la sierra La Madera.
Edafología: Los suelos de tipo Solonetz órticos dominan la sebkra. En la playa se observan Solonchaks órticos, seguido de Yermosoles y Regosoles en la parte alta; localmente, se pueden presentar Regosoles calcáricos.
Vegetación: Le sebkra está desnuda con la excepción de algunas matas de *Sporobolus airoides* y de *Atriplex sp.*. En la playa, estas últimas especies se encuentran en mayor abundancia y asociadas a *Hilaria mutica*. La playa alta está compuesta en su estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa* y *Fouquieria splendens*. Las bajadas están compuestas de *Larrea tridentata* y *Flourensia sp,*. En la playa alta, se presentan algunas cactáceas.

LAS LIEBRES, 507 km^2 y PUERTO RICO, 1031 km^2

Son dos cuencas muy próximas que están limitadas al este por los mismos macizos. Sus características geológicas y de vegetación son similares, difiriendo un poco en los tipos de suelo.

Geología: Estas cuencas están limitadas en la parte sur-este por un macizo sedimentario, la Sierra de la Campana, con altitud máxima de 1550 m. Las cuencas se sitúan en una depresión formando una gran playa, con suelos aluviales del Cuaternario que se prolongan hasta la laguna de Las Palomas.

Vegetación: Las lagunas comportan sebkras sin vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófita con dominancia de *Hilaria mutica* y de *Prosopis glandulosa.* Los pequeños relieves de dunas están ocupados por diversas cactáceas y por matorral de *Larrea tridentata*.

LAS ARENOSAS, 505 km^2

Geología: La laguna está rodeada de cordones de dunas arenosas como su nombre lo indica. Los relieves no son muy marcados y forman planos o mesetas. Al oeste, la mesa Romereña y la mesa El Charco compuestos de basalto, en las cercanías se pueden apreciar algunos conglomerados. Al este, las planicies de La Canoa y El Vergel, así como la colina o loma La Capirota están compuestas de rocas extrusivas y de basaltos.

Edafología: Al nor-este, se observan Xerosoles, Faeosens lúvicos y al sur Solonchaks. En las cercanías de la zona anegable (aparentemente siempre ha estado con agua, según una comunicación personal de uno de los habitantes), se pueden apreciar Xerosoles lúvicos.

Vegetación: Está compuesta de una estepa clásica xerófila de la región. La vegetación cambia conforme se aleja de la parte baja de la cuenca, la estepa varia de xerófila (parte baja) a psamofila (zonas aledañas a la sebkra), hasta convertirse en una zona cubierta por numerosos arbustos subinermes. En la parte más alta de la toposecuencia por arbustos espinosos de los géneros tales como *Acacia* y *Yucca* así como algunas cactáceas.

LAS PAMPAS, 438 km^2

Geología: La parte baja de la cuenca se sitúa en medio de pequeñas colinas compuestas de basalto que limitan la laguna sobre todo al nor-este. El relieve más importante limita al oeste esta pequeña cuenca (la más pequeña en extensión de las estudiadas), se denomina la sierra calcárea de Las Pampas.

Edafología: Dominan los Vertisoles crómicos sobre los Xerosoles y muy localmente se encuentran los Solonetz.

Vegetación: Aparentemente no existe una sebkra (justo algunos cientos de metros cuadrados en la parte baja de un pequeño borde o represa de colinas). La vegetación es halofila y su distribución es casi continua formada de *Hilaria mutica* y algunos ejemplares de *Opuntia violacea*.

Resultados

Resultados globales

En la Tabla 62 se encuentran los valores medios, máximos y los coeficientes de variación obtenidos sobre los 493 puntos de medidas en la playa y la sebkra.

Con relación a los análisis físico-químicos de los suelos superficiales hasta una profundidad de raíces (< 30 cm), se obtuvieron las siguientes informaciones.

- Los contenidos medios en iones de Na^+, Ca^{2+}, Cl^- y SO_4^{2-} (por diferencia de balance ionico) presentaron los mismos valores próximos a 10 meq l^{-1}, con una ligera dominancia del perfil sódico sobre el cálcico. Con coeficientes de variación mucho más importantes para las especies de los cloruros y los sódicos. Las medias no deben enmascarar la disparidad de las máximas entre especies ionicas donde los iones de sodio y del cloruro dominan grandemente sobre los valores superiores a los 500 meq l^{-1} (es decir, 46.4% de la masa del suelo).
- Los pH, en promedio son superiores al pH del equilibrio con la calcita. Las dos humedades medidas están próximas del 5% lo que indica, para la segunda que el yeso en el suelo es

relativamente frecuente. Los contenidos en carbonatos muestran equilibrio con la calcita o la dolomita del extracto y no indican un contacto frecuente con una salinidad de tipo carbonatada sódica. Tampoco existe un indicio de contacto frecuente con una salinidad de tipo sulfatada sódica.

- Los contenidos en iones potasio son los más inestables con coeficientes de variación superiores al 6%.

- Los valores promedio muestran un medio contrastado entre un gran numero de muestras que tienen valores relativamente equilibrados entre la salinidad derivada del yeso y la proveniente de la disolución del cloruro de sodio, y algunas muestras muy saladas por sus contenidos en cloruro y sodio. Las presentes constataciones conducen a concluir que las mineralizaciones provienen de la presencia confirmada de tres minerales en el suelo, la calcita, el yeso y la halita.

En lo que concierne a la cobertura de vegetación, la media de los valores es del orden del 25%, valor que seguido es encontrado en la reserva de la biosfera.

- Los géneros dominantes son *Sporobolus*, *Hilaria* y *Prosopis* que representan por si mismos casi un 60% de la cobertura vegetal.

- Las especies menores pero relativamente constantes pertenecen a los géneros *Suaeda* y *Atriplex* con coeficientes de variación en superficie inferiores a 4%.

Las reorganizaciones superficiales, nos permitieron observar ciertos rasgos característicos de la playa de la reserva de la biosfera.

- Las superficies desnudas son del orden del 75%, con una dominancia neta de costras de decantación que representa más del 50% del suelo desnudo, seguida de las costras estructurales, luego de las costras de yeso y por ultimo las salinas.

Tabla 62**.** Valores medios, máximos y coeficientes de variación (C.V.) de los parámetros físico-químicos medidos en las muestras de suelo, así como de las observaciones de estados de superficie en las 17 lagunas estudiadas.

Parámetros estadísticos→ Parámetros medidos↓	Media	Máxima	C. V.
Parámetros físico-químicos			
Humedades [25-55ºC] (%)	5.77	56.30	1.25
Humedades [55-105ºC] (%)	4.07	29.90	1.22
pH	8.49	10.81	0.07
Conductividades ($\mu S\ cm^{-1}$.)	2038	56500	2.58
Ca^{2+} (meq l^{-1})	7.21	50.90	1.70
Mg^{2+} (meq l^{-1})	1.18	60.87	3.86
K^{+} (meq l^{-1})	0.57	64.50	6.20
Na^{+} (meq l^{-1})	11.50	521.74	3.52
Sumas de cationes (meq l^{-1})	20.46	551.98	2.29
Cl^{-} (meq l^{-1})	8.03	557.00	4.08
HCO_3^{-} (meq l^{-1})	2.42	92.30	1.89
Cobertura de la vegetación	**25.86**		
Sporobolus sp. (%)	6.23	95.00	2.28
Hilaria sp. (%)	5.80	90.00	2.88
Prosopis sp. (%)	2.91	50.00	2.35
Atriplex sp. (%)	2.57	70.00	3.34
Suaeda sp. (%)	2.68	40.00	2.11
Larrea sp. (%)	1.40	48.00	3.76
Salsola Kali (%)	0.78	70.00	6.64
Deshechos vegetales (mantillo) (%)	0.64	60.00	6.47
Cactáceas (%)	0.37	20.00	4.18
Yuca sp. (%)	0.05	5.00	6.86
No determinado (%)	2.25	100.00	3.88
Reorganizaciones superficiales	**73.06**		
Costras de decantación (%)	37.01	100.00	1.03
Costras estructurales 1 (%)	9.16	90.00	2.05
Yeso endurecido (%)	8.02	95.00	2.80
Costras de sal (%)	7.53	100.00	3.33
Yeso libre (%)	4.63	95.00	3.68
Costra de erosión (%)	2.59	98.00	4.54
Costras estructurales 3 (%)	2.39	95.00	4.60
Costras estructurales 2 (%)	1.75	70.00	4.37

La Figura 110 que relaciona las conductividades a los contenidos en sodio muestra que para conductividades fuertes, la mineralización está ligada esencialmente a los iones de sodio (grupo 4 de la figura). Sin embargo, para conductividades inferiores a los 10,000 $\mu S\ cm^{-1}$ aparecen varios grupos.

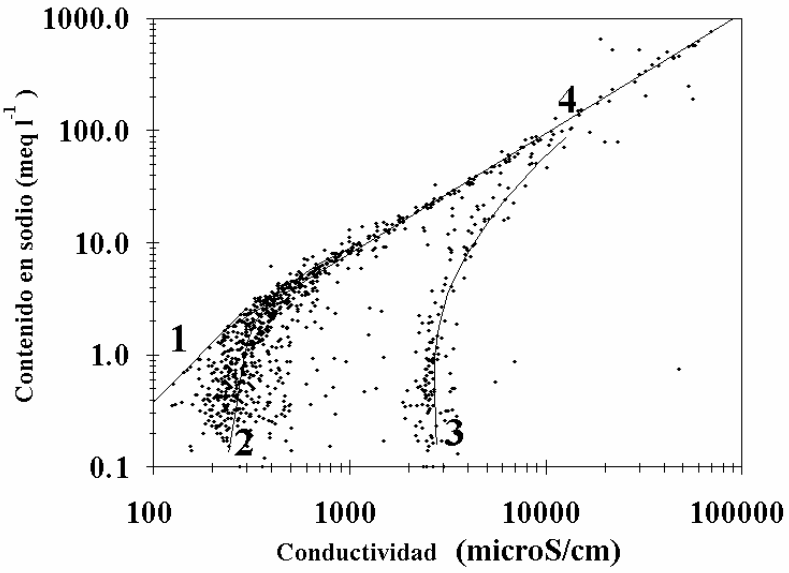


Figura 110. Relación entre conductividades eléctricas (μS cm^{-1}) y los contenidos en iones de sodio de los extractos de suelo 1:16 (en superficie y a nivel radicular) (987 puntos).

- El grupo 1 es la continuidad de la tendencia principal, son muestras donde lo esencial de la mineralización es debida a los iones de sodio.

- La tendencia 2, la que engloba más puntos, reagrupa los suelos y las costras donde la mineralización no es mayoritariamente sódica, pero donde las conductividades se sitúan entre 150 y 400μS cm^{-1}, estas muestras presentan una baja salinidad debida al contacto con la calcita y la fase de intercambio del suelo.
- El grupo 3 presenta muestras con conductividades entre 2000 y 4000 μS cm^{-1}, este grupo está formado de suelos que contienen yeso y donde la disolución asegura una conductividad de este orden sin aporte de iones de sodio.

Con esta relación se muestra que la salinidad del suelo y de las reorganizaciones superficiales de playa es esencialmente producto de la presencia confirmada de la calcita, yeso y cloruro de sodio. En la ausencia de yeso, los contenidos del ion sodio dominan la salinidad con contenidos superiores a 2 meq l^{-1} del extracto 1:16 (es decir 18 mmol kg^{-1} de suelo). Para las muestras que contienen yeso este limite aumenta hasta los 5 meq l^{-1} del extracto 1:16, (sean 80 mmol kg^{-1} de suelo seco).

Relaciones entre parámetros químicos y parámetros de superficie.

Si se consideran los principales estados de superficie encontrados, existe una cierta relación entre su presencia y la salinidad de las muestras de suelo colectado.

- Por ejemplo, *Hilaria sp.* se encuentra en lugares donde la conductividad es inferior a 1000 $\mu S\ cm^{-1}$, la media de las conductividades de los extractos de suelo muestran que la implantación de *Hilaria sp.* es del orden de 300 $\mu S\ cm^{-1}$. *Prosopis sp*., costras estructurales y cactáceas son estados de superficie que se establecen sobre suelos con conductividades media de los extractos inferior a 1000 $\mu S.\ cm^{-1}$. Las costras de decantación y de yeso eólico muestran contenidos medios un poco elevados, aunque el segundo estado de superficie no presenta variaciones comparables (Figura 111).
- *Atriplex sp.* y *Suaeda sp.* se encuentran sin duda como un grupo de plantas halófilas soportando conductividades de los extractos muy elevadas. La costra de sal, como su nombre lo indica, evidentemente su presencia está ligada a conductividades de los extractos con valores extremos altos.

Si se examinan las escalas de contenidos que presentan el ion sodio para cada uno de los estados de superficie, el orden de los estados de superficie clasificado por media creciente se modifica ligeramente (Figura 112).

- *Hilaria sp.* y las cactáceas indican estados de superficie que están conectados a suelos que contienen menos de 10 meq l^{-1} del ion sodio en los extractos 1:16.

- La presencia de *Prosopis sp.*, de costras estructurales es la marca de contenidos en Na^+ intermediarios.

- La presencia de costras de decantación, de suelo con *Sporobolus sp.*, con *Suaeda sp.* y con *Atriplex sp.* está ligada a la presencia de una cierta salinidad sódica con un contenido medio en el extracto del orden de 10 meq l^{-1} (160 mmol kg^{-1}).

La Figura 113 muestra que las escalas de los contenidos observados para el ion Ca^{2+} en los extractos 1:16 son muy diferentes para *Hilaria sp.* en comparación a los otros estados de superficie.

- La posición de las cactáceas a los lados de *Sporobolus sp.* y *Atriplex sp.* muestra que ese grupo se implanta bien en un suelo rico en yeso. El dominio tan amplio de los contenidos encontrados para las costras de decantación y de estados de superficie con *Sporobolus sp.* muestra que esos estados no son específicos de un medio con fuertes contenidos de yeso.

En lo referente a humedades (Figura 114), estas presentaron una cierta estabilidad.

- El yeso eólico constituye el estado de superficie que presenta las humedades más bajas.

- El suelo con cactáceas, con *Prosopis sp*, e *Hilaria sp*. no presenta humedades superiores al 10%. Al contrario, suelo con *Suaeda sp., Atriplex sp., Sporobolus sp.* y las costras de decantación pueden presentar humedades más importantes.

- Las costras de sal estan asociadas a subsuelos con fuertes humedades.

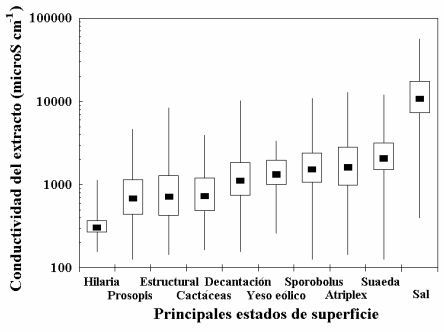


Figura 111. Escala de las conductividades de los extractos 1:16 para los principales estados de superficie de playa y de sebkra.

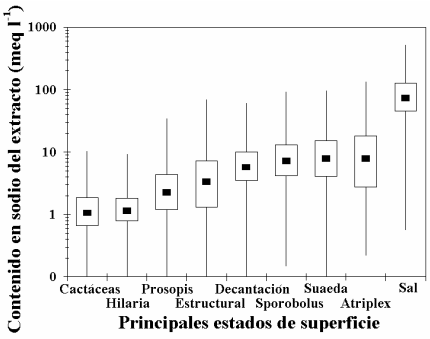


Figura 112. Escala de los contenidos de iones de Na^+ en los extractos de suelo 1:16 para los principales estados de superficie de playa y sebkra.

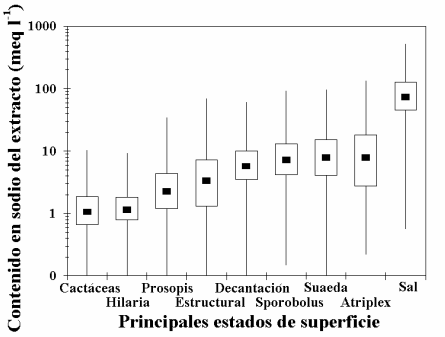


Figura 113. Escala de los contenidos en iones de Ca^{2+} de los extractos de suelo 1:16 para los principales estados de superficie de playa y sebkra.

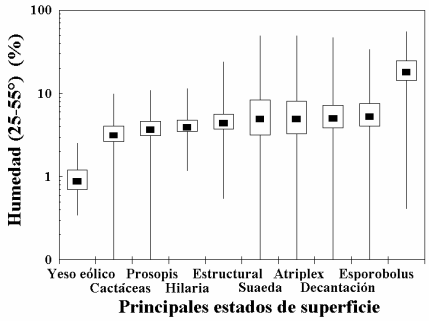


Figura 114. Escala de los contenidos en agua (% masica) de los principales estados d superficie de playa y sebkra.

En resumen, varios aspectos importantes pueden mencionarse enseguida.

- *Hilaria sp* es un estado de superficie que esta ligado a un suelo donde el extracto tiene una conductividad siempre inferior a 1000 $\mu S\ cm^{-1}$; contenidos de Na^+ inferiores a los 10 meq l^{-1}; contenidos de Ca^{2+} excluyente de la presencia de yeso en el horizonte radicular; y de contenidos en agua (en invierno) inferiores al 10%

- Las cactáceas no soportan una fuerte salinidad sódica pero están adaptadas a la presencia de yeso en el medio, además, soportan contenidos muy bajos de humedad en el suelo.

- *Sporobolus sp.*, *Atriplex sp.* y *Suaeda sp.* son estados de superficie que se asocian fácilmente con fuertes salinidades sodicas y a contenidos en agua superiores al 10%.

Las principales reorganizaciones superficiales (costras), son poco sensibles a las condiciones de salinidad sódica o cálcica. Las costras de decantación presentan un domino muy amplio de existencia. Sin embargo, se observó que las costras estructurales raramente se encuentran en sitios húmedos, mientras que las costras de decantación se encuentran más sobre sitios húmedos.

Vegetación y unidades geomorfológicas

Las principales especies, en una misma zona altimétrica, se encuentran en todas las cuencas estudiadas. Las observaciones fueron realizadas en estación seca, el recubrimiento es mínimo porque, por un lado se observaron pocas plantas anuales y por otro, la actividad fisiológica de las plantas era mínima. El reagrupamiento de las observaciones por unidad geomorfológica al interior de las playas y sebkras permite poner en evidencia fuertes contrastes de cubierta vegetal (Tabla 63).

- En las playas alta y baja las coberturas vegetales son relativamente elevadas (del orden del 35%) mientras que las coberturas vegetales de sebkra presentan una media inferior al 10%.

Tabla 63. Porcentaje medio de coberturas de las principales especies vegetales encontradas en función del sondeo altimétrico (493 puntos de observación en las 17 lagunas estudiadas).

Sitios	Duna de yeso		Sebkra		Lunetas		Playa baja		Playa alta	
Especies	Max.	Media	Max.	Media	Max.	Media	Max.	Media	Max.	Media
Arbustos										
Prosopis sp.	5	0.67	10	0.21	20	1.21	30	1.9	30	4.39
Suaeda sp,	20	3.78	30	1.35	40	6.05	30	1.72	30	2.84
Larrea sp.	10	1.67	0	0	35	4.38	30	0.51	30	1.76
Fouquieria splendens	1	0.11	0	0	1	0.03	0.	0.	0	0
Total arbustos		**6.2**		**1.6**		**11.7**		**4.1**		**9.0**
Herbáceas										
Hilaria sp.	0	0	78	0.97	0	0	70	6.96	90	13.2
Sporobolus sp.s	30	4	58	3.21	30	5.54	95	13.49	70	6.22
Salsola kali	0	0	70	1.09	10	0.26	60	0.79	20	0.78
Atriplex sp.	10	2.78	40	1.38	18	1.74	70	4.03	70	3.92
Cactáceas	3	0.33	20	0.31	3	0.41	5	0.24	10	0.48
Yucca sp,	4	0.67	1	0.01	5	0.36	0	0	1	0.01
Total herbáceas		**7.8**		**7.0**		**8.3**		**25.5**		**24.6**
Otras	10	1.89	100	1.15	18	2.1	90	3.78	30	2.27
Total		**15.9**		**9.7**		**22.1**		**33.4**		**35.9**

Otras =*Castela texana*, *Jatropha dioica*, *Acacia berlandieri*, *Portulacea oleracea*, *Dyssodia ssp.*, *Xanthium ssp.*, *Dalea scoparia*, *Enneapogon desvauxii*, *Tridens pulchellum*, y las no determinadas.

- Las cubiertas de dunas y de lunetas son intermediarias. Las proporciones de *Hilaria sp.* y S*porobolus sp.* se invierten entra playa alta y playa baja. En la sebkra, dominan *Sporobolus sp., Suaeda sp.* y *Atriplex sp.* con coberturas muy bajas.
- En relación con las catáceas, una cobertura muy baja media testifica su presencia en casi todas las unidades geomorfológicas. El *Prosopis sp.* está mucho más representado en la playa alta que en las otras unidades. *Larrea sp.* a veces aceptada como una planta indicadora de sobrepastoreo, sobre todo parece converger en las zonas de lunetas y bajadas inferiores, aunque puede estar presente en playa.

En síntesis, las cuencas endorreicas de las lagunas estudiadas no constituyen un medio monótono y homogéneo. Las unidades geomorfológicas definen medios contrastados desde el punto de vista de la vegetación.

Reorganizaciones superficiales y unidades

Las costras de decantación forman la familia de reorganizaciones superficiales más desarrollada en las playas baja y alta, así como en la sebkra. Cuando alguna geoforma parecida aparece, la importancia de estas costras inmediatamente desaparece. Las costras estructurales están presentes en playa alta y playa baja, asociadas a costras de erosión. Las costras de sal aparecen en playa baja alcanzando en promedio, cerca del 20% de la superficie de la sebkra (Tabla 64). Las reorganizaciones superficiales formadas por el yeso están sobre todo asociadas a los fenómenos eólicos, aun cuando su presencia en la sebkra aparentemente parece estar influenciada por los ascensos capilares de salmueras.

Tabla 64. Porcentaje de cobertura de las principales reorganizaciones superficiales encontradas función del sondeo altimétrico (493 puntos de observación en las 17 lagunas estudiadas).

Unidades geomorfológicas→	Duna de yeso		Sebkra		Lunette		Playa baja		Playa alta	
Reorganizaciones↓	Max.	Media	Max.	Media	Max.	Media	Max.	Media	Max.	Media
Costras de sal	45	5.00	100	19.21	15	0.38	90	2.78	0	0
Costras de decantación	0	0.00	100	53.75	80	17.74	100	39.38	98	30.89
Estructural 1	10	1.10	90	5.88	20	1.67	90	9.66	70	12.67
Estructural 2	20	4.44	70	0.88	20	2.05	8	0.77	70	3.17
Estructural 3	20	4.44	50	0.37	60	3.59	57	0.63	20	0.57
Costras de erosión	0	0.00	10	0.11	10	0.26	70	3.37	89	5.79
Yeso libre	93	25.33	95	4.06	75	2.92	60	2.24	85	3.39
Yeso eólico endurecido	90	43.44	95	3.36	90	48.38	84	5.20	85	5.47
Elementos gruesos	0	0	10	0.12	1	0.03	30	0.59	20	0.46
Totales		83.7		87.7		77.0		64.0		62.4

Cabe señalar que la asociación del porcentaje de cobertura de la vegetación y de las reorganizaciones superficiales no suman el 100% porque no están incluidos los elementos de mantillo, madrigueras y áreas de superficie del suelo especial (fisuras, hoyos).

Parámetros físico-químicos de las reorganizaciones superficiales y de las unidades morfológicas.

El reagrupamiento de los puntos de medidas pertenecientes a las unidades geomorfológicas definidas es el objetivo de la Tabla 65. Una diferencia de calidad muy marcada es observada entre las unidades para los parámetros físico-químicos mediados sobre las reorganizaciones superficiales.

- La playa alta se caracteriza por conductividades bajas de los extractos en sus reorganizaciones superficiales. Los contenidos de iones de sodio y calcio se presentan casi equilibrados.

Tabla 65. Valores medios y coeficientes de variación (C.V.) de los parámetros físico-químicos medidos a partir de los extractos 1:16 del suelo de las reorganizaciones superficiales reagrupadas por unidad geomorfológica de playa y sebkra. 493 puntos de observación en las 17 lagunas estudiadas.

Unidades geomorfológicas→	Dunas de yeso		Sebkra		Lunetas		Playa baja		Playa alta	
Parámetros↓	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.
Hum. [25-55ºC] (%)	3,37	1,01	2,44	2,26	1,44	1,05	2,00	1,90	1,34	0,99
Hum. [55-105ºC] (%)	7,16	0,81	3,63	1,20	6,02	0,86	3,03	1,35	2,46	0,70
pH	8,12	0,03	8,62	0,08	8,09	0,05	8,44	0,06	8,39	0,07
C.E: ($\mu S\ cm^{-1}$.)	5349	1,41	5639	2,32	2358	1,45	2013	2,45	800	2,22
Ca^{2+} (meq l^{-1})	17,73	0,76	7,94	1,76	18,21	0,76	4,36	1,94	3,04	2,15
Mg^{2+} (meq l^{-1})	25,51	1,86	1,34	2,21	4,96	**3,88**	3,23	**6,64**	0,42	1,22
K^{+} (meq l^{-1})	1,37	1,62	0,92	**5,86**	0,49	2,02	0,34	1,02	0,27	0,61
Na^{+} (meq l^{-1})	16,10	**1,95**	54,42	2,66	5,06	**3,49**	12,88	3,14	4,31	**3,70**
Suma de + (meq l^{-1})	60,72	1,39	64,60	2,35	28,72	1,39	20,81	2,49	8,02	2,30
Cl^{-} (meq l^{-1})	18,15	**1,90**	19,03	3,44	5,89	2,59	17,69	**4,42**	4,76	**3,73**
HCO_3^{-} (meq l^{-1})	2,20	0,53	6,75	**5,03**	1,86	0,80	2,35	0,73	2,06	0,67

En negrillas, los C.V. más elevados por unidad

- En la playa baja, la conductividad media es dos veces más fuerte y los iones de cloruro y sodio dominan sobre los otros iones. En promedio, el pH permanece superior a 8.4.

- En la sebkra, el ion sodio domina sobre todos los otros iones, los iones de carbonato aumentan ligeramente y el pH medio es elevado. La conductividad de los extractos dobla su valor con relación a la playa baja. La humedad [25-55ºC] esta ligeramente más fuerte que en la playa, sin embargo los valores son mucho más bajos que los encontrados a la profundidad radicular del suelo.

- En lo que concierne a los contenidos de yeso, el índice medio de perdida en agua aumenta entre la playa alta, la playa baja y la sebkra, hasta alcanzar valores dos veces más altos que en la zona de lunetas y de dunas de arena yesifera. No es sorprendente que en estas dos ultimas zonas los contenidos de calcio sobrepasan grandemente los contenidos medios de

sodio del extracto. Las conductividades medias son tan elevadas como las observadas en la sebkra, pero los coeficientes de variación son más bajos.

Como un intento de razonar sobre la dispersión de los valores por unidad, ciertas reglas parecen aplicarse. Los coeficientes de variación más importantes observados en cada medio no corresponden a los mismos elementos. Los coeficientes de variación observados en los medios menos salados (playa y duna alta) corresponden a los contenidos de iones cloruro y sodio, reflejando una dispersión baja (C.V.<4). Al contrario, los medios mas salados (sebkra y playa baja) muestran los C.V. más elevados, lo que corresponde a los contenidos iónicos marginales del Mg^{2+} y el K^{+} en la mineralización global del medio.

Análisis multivariable

El análisis de componentes principales (Figura 115) describe para estos dos primeros ejes, el 32% de su varianza total. Aparecen claramente polos de caracteres ligados entre si, que describen a la vez los estados de superficie y las características físico-químicas del suelo.

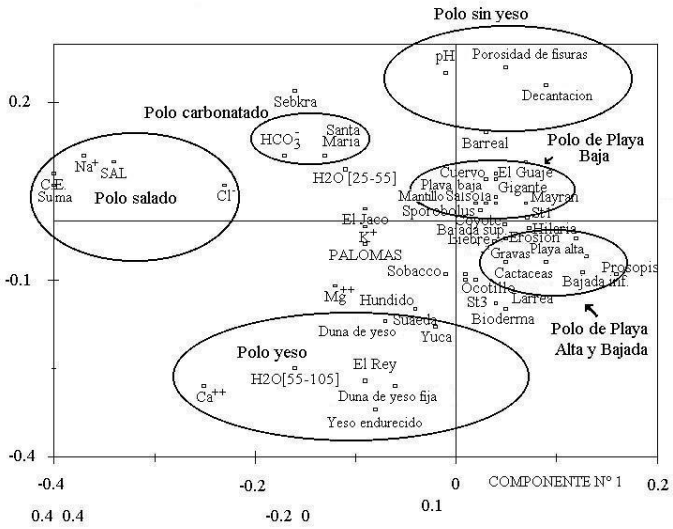


Figura 115. Resultados de un análisis multivariable (ACP) asociando los parámetros que describen los estados de superficie, las situaciones geomorfológicas, la pertenencia a las lagunas y las características físico-químicas de los primeros centímetros del suelo. Espacio de las variables, proyectado en el plano de los dos primeros componentes. (493 individuos, 40 parámetros).

- Un polo que aparece es el que refleja salinidad (salado), por la asociación de los parámetros de: % de costra salina (SEL), C.E. y contenidos de iones sodio y cloruros del extracto 1:16 de las muestras de superficie. El componente más importante es la salinidad la cual se refleja en el eje de las absizas.
- Otro polo que se presentó fue el de yeso (yesoso) que asocia los caracteres físico-químicos ligados a la presencia de yeso (Ca^{2+}, H_2O [55-105ºC]) y los % de estados de superficie

correspondientes (duna de yeso). Se observa que el polo yesoso no es completamente independiente de polo salado. Sin embargo, se entiende que el eje de las ordenadas corresponde a la salinidad ligada al yeso.

- Sobre el eje de las ordenadas, en contraposición al polo yesoso aparece un polo sin yeso compuesto de costras de decantación con un pH elevado y una fuerte porosidad fisural. Es muy significativo que la variable: "posición del punto en la sebkra" se encuentre entre el polo salado y el polo sin yeso.
- Un polo discreto de contenidos en carbonatos existe y concierne sobre todo a las muestras de la laguna Santa Maria.
- La mayor parte de las variables no relacionadas a estos polos se encuentran concentradas alrededor de los orígenes de los ejes. Sin embargo es posible de disociar dos polos, uno que reagrupa los caracteres de superficie de la playa alta y de la bajada inferior, y otro que reúne los parámetros relacionados a la playa baja. La playa alta está diferenciada por una posición más hacia la derecha (menos salada).

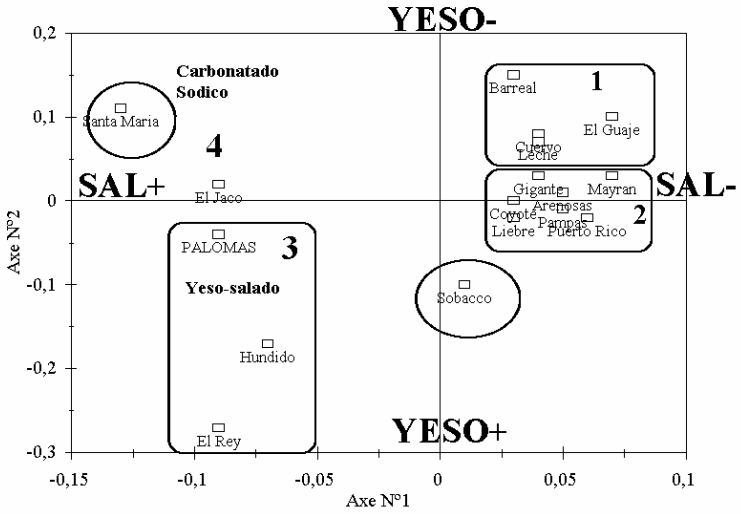


Figura 116. Vista parcial de la figura precedente, donde se aprecia el efecto de pertenencia de las lagunas. Espacio de variables proyectado en el plano de los dos primeros componentes. (493 individuos, 40 parámetros).

En lo referente a las lagunas, ya puede apreciarse una serie de bases para una posible tipología de ellas. Se pueden reagrupar las cuencas endorreicas siguiendo sus proximidades en los polos identificados precedentemente (Figura 116).

- El grupo 1 está constituido de las lagunas intermediarias en tipo de salinidad, ni yesosas ni saladas, con una dominancia muy marcada de zonas con costras de decantación.
- El grupo 2 está constituido por las lagunas no saladas, con poco yeso, pero provistas de pendientes muy importantes que favorecen las costras de erosión y la presencia de *Prosopis sp.*, (las sebkras son relativamente menos grandes lo que beneficia las playas altas).

- El grupo 3 está constituido por las lagunas yeso-salinas, con presencia de Y*ucca sp*. y S*uaeda sp.*
- El grupo 4 está constituido por las lagunas donde el ion sodio no se acompaña del ion calcio en los contenidos iónicos de los extractos de suelo.

Sin embargo, esta tipología es un reflejo de las características medias que pueden estar matizando la realidad, de hecho si se observa el espacio de los individuos la perspectiva cambia (Figura 116)

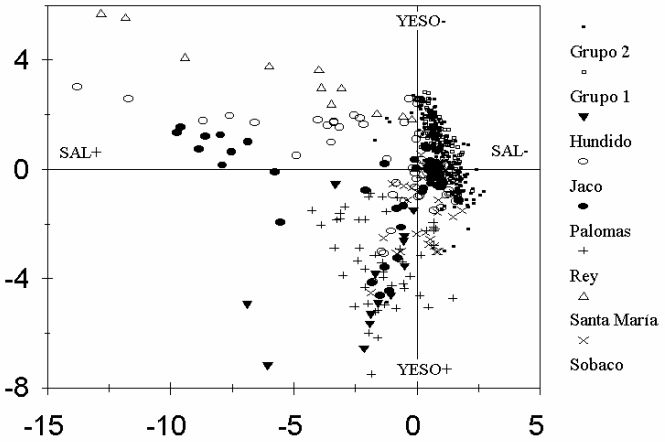


Figura 117. Resultado de un análisis multivariable (ACP) asociando los parámetros que describen los estados de superficie, las situaciones geomorfológicas, la pertenencia a las lagunas y las características físico-químicas de los primeros centímetros del suelo. Espacios de individuos, en el plano de los dos primeros componentes. (493 individuos, 40 parámetros).

Por el hecho de que se tomaron en cuenta los puntos de muestreo, las diferencias entre lagunas son mucho menos fraccionadas que en la definición efectuada por las características medias las cuales permanecen sin embargo, significativas. De hecho, los puntos del grupo 1 y 2 están casi superpuestos en una nube común, sin embargo si las características medias de las lagunas son diferentes, es una realidad que esta superposición no estaría equilibrada. Además, la mayor parte de los otros grupos presentan puntos que se proyectan de la misma manera sobre el crecimiento de los dos ejes (Figura 117).
Los puntos de medida de la cuenca endorreica de Las Palomas parecen describir el conjunto de situaciones observadas, exceptuando el caso especial de la cuenca de Santa Maria.

Finalmente, las lagunas pueden ser organizadas considerando criterios geomorfológicos. De hecho, la profundidad del acuífero, la presencia de dunas, la existencia de unidades geomorfológicas, playa alta, playa baja son suficientes para operar un reagrupamiento. Esta clasificación engloba bien las familias definidas por el análisis de componentes principales (Figura 118).

Además, un cierto reagrupamiento geográfico aparece al interior de estos grupos, lo que permite suponer que los diferentes tipos de playa y de sebkra son debidos a criterios geológicos: subsidencia, sedimentación, presencia de sales solubles en las series, nivel de acuíferos, etc.. (Figura 119)

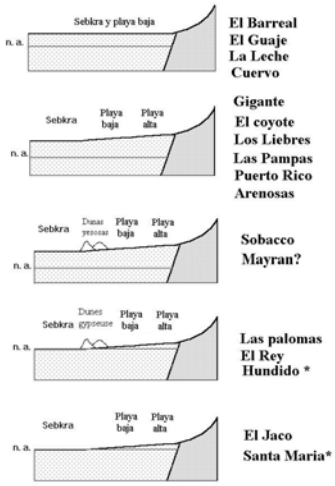


Figura 118. Clasificación por criterios geomorfológicos de los diferentes fondos de las cuencas endorreicas.

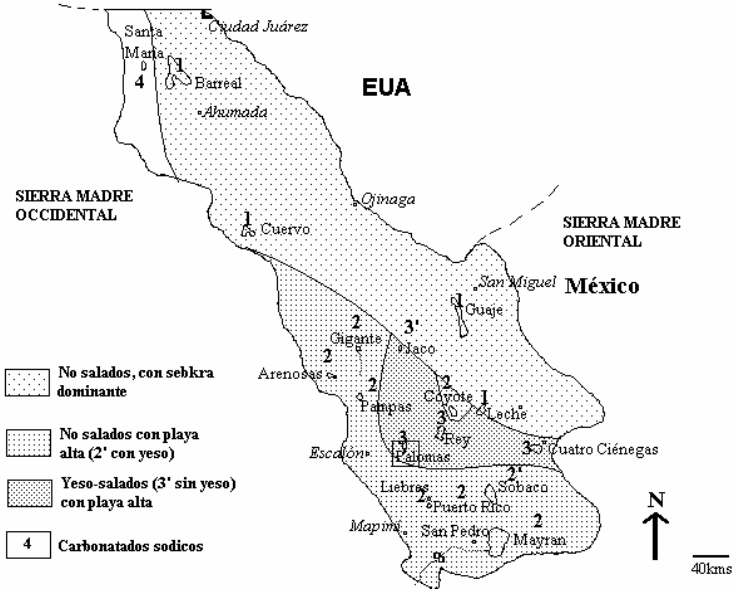


Figura 119. Repartición espacial de los reagrupamientos por criterios geomorfológicos y criterios estadísticos (grupos de ACP) de los diferentes fondos de cuencas endorreicas del desierto Chihuahuense, en México.

- Por ejemplo, los bajos de las cuencas endorreicas del norte del desierto Chihuahuense, no presentan relieves internos como en el caso de la reserva de la biosfera. En la visión que se planteó y que se examinó en el capitulo 3 para explicar las diferencias de relieves en la playa de la reserva, parece razonable afirmar que los bajos de cuencas que pertenecen al grupo 1 no presentaron la influencia del desplazamiento de subsidencias.

Figura 120. Diagrama de los rasgos tectónicos del desierto Chihuahuense (simplificado de Peterson (1985)), superpuestos en los limites de los grupos de lagunas.

- La separación de las lagunas del grupo 1 con los otros grupos es paralela al limite tectónico entre la plataforma Burro-Picachos y el canal cretácico (*cretaceous canal*) tal como fue descrito por Peterson, (1985).

- El limite que separa las lagunas del grupo 2 de las del grupo 3 recuerda los limites de la sal de la plataforma de Coahuila descrita por el mismo autor. Finalmente al sur, la presencia del frente norte de la capa de deslizamiento de la Sierra Madre (*Sierra Madre thrust*) hace recordar que la tectónica es o fue mucho más activa al sur del desierto Chihuahuense que al norte.

- Las playas del grupo 1 tienen una fracción más importante de su cuenca formada por rocas volcánicas basálticas y andesíticas, o dependen de las rocas sedimentarias proveedoras de salinidad.

Conclusiones

La salinidad

La salinidad de los horizontes superficiales de los suelos de playa del norte de México ha sido puesta en evidencia en este estudio, como una salinidad relativamente simple. Ninguna muestra presenta trazas de mineralización que pudiera estar asociada al sulfato de sodio sedimentario. Al contrario, la laguna de Santa María es el único ejemplo donde se puso en evidencia un polo de carbonato sódico.

⇒ Todas las demás lagunas permanecen en un cuadro con una mineralización influenciada por los contenidos relativamente fuertes de los productos de la disolución de carbonatos (calcita, dolomita), de yeso y de la halita.

⇒ La repartición estadística de las conductividades de las organizaciones superficiales y de los horizontes poco profundos de los suelos, indica que los suelos con fuertes contenidos de materiales solubles, son una menoría con relación a los suelos de playa y sebkra. En efecto, numerosas muestras presentan conductividades inferiores a 1500 μS cm^{-1}, lo que implica que la idea de la salinidad de los suelos de playa es hasta cierto punto exagerada.

⇒ Finalmente, se constató que globalmente existen pequeñas diferencias entre la repartición de las conductividades de los extractos 1:16.

- Para muestras con baja conductividad del extracto, se produce un cierto desfase entre las frecuencias máximas que se alcanzan por las clases de conductividades diferentes (las conductividades más fuertes son las de las organizaciones superficiales). Las organizaciones superficiales sufren un bajo enriquecimiento en sales solubles con relación al resto del perfil (Figura 121).

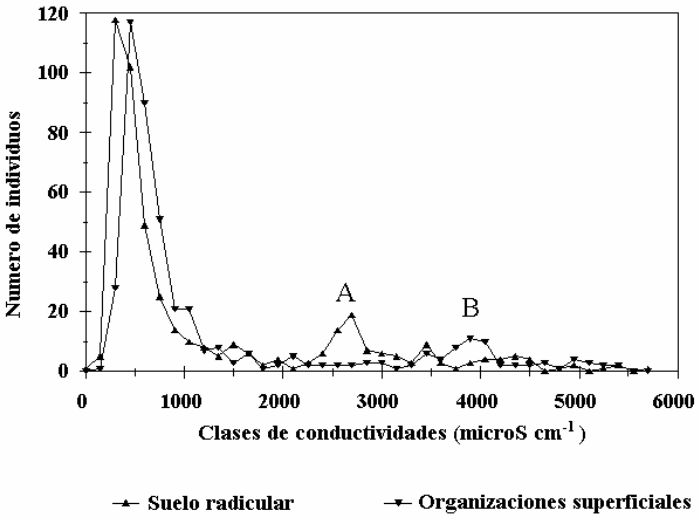


Figura 121. Histogramas de las conductividades de los extractos 1:16 para las muestras de las organizaciones superficiales y los horizontes radiculares del suelo de playas y sebkras. (495 muestras en los dos casos).

- Para casos con conductividades de extracto más elevada, entre 2400 y 2800 μS cm^{-1}, (Figura 121-A.), es posible observar que las muestras de los horizontes radiculares están más representadas que las muestras de superficie correspondientes al mismo perfil. Al contrario, en lo que se refiere al rango 3600 a 4100 μS cm^{-1} (Figura 121-B), son las organizaciones superficiales que están mejor representadas. Esta situación de contraste podría indicar que las reorganizaciones superficiales formadas sobre un horizonte de yeso tiende a presentar en superficie una cierta disolución, mientras que para la situación B se observa que las reorganizaciones superficiales están mejor representadas debido al hecho de los enriquecimientos superficial de sales solubles.

Estados de superficies

Los estados de superficie de la playa de la cuenca de Palomas son representativos del desierto Chihuahuense porque dicha playa posee toda la gama completa de estados de superficie encontrados en el seno de las otras cuencas estudiadas. Al contrario, debido a que la playa de Palomas presenta una zona alta, la sitúa en el grupo de las yesosas-saladas, lo que representa solamente una porción menor del desierto Chihuahuense. Toda extensión de regla de gestión deberá considerar estos aspectos.

Las definiciones de sub-unidades geomorfológicas en la playa son muy útiles en la medida donde ellas correspondan claramente a especificidades diferentes desde el punto de vista de la salinidad, así como de las reorganizaciones superficiales y de las coberturas vegetales.
La playa y la sebkra en el desierto Chihuahuense no constituye, a pesar de las apariencias, un medio monótono y no deben ser consideradas como un conjunto homogéneo (término en francés *monobloc*).
Con relación a los estados de superficie dominantes, en la baja cobertura de playa, *Sporobolus sp.* e *Hilaria sp*. así como *Prosopis sp.* juegan un papel determinante. Su implantación debe ser considerada como la riqueza natural principal de este tipo de medios. Concerniente a esas especies, la playa de la reserva puede ser representativa de una situación media.
Por último, si se estudia la influencia de la salinidad sobre los estados de superficie, en la Figura 122 se muestra claramente dicha influencia.

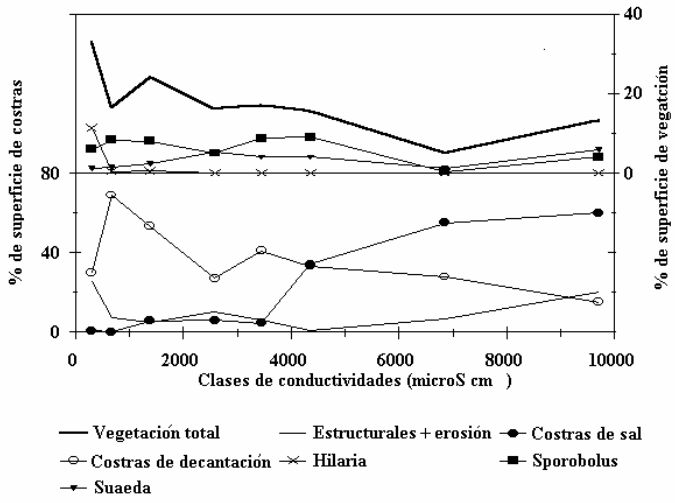


Figura 122. Valores medios del porcentaje de las coberturas vegetales y de las superficies relativas de las organizaciones superficiales, en función de las distintas clases de conductividades de los extractos de suelo 1:16.

Las costras de sal aparecen y se mantienen en medios con conductividades del extracto superiores a 4000 $\mu S\ cm^{-1}$, esta evolución se acompaña por una disminución de la importancia de las costras de decantación y una aumentación de las costras estructurales.

La vegetación tiene un componente bien definido por la salinidad: *Hilaria sp*. no soporta una conductividad superior a 1000 $\mu S\ cm^{-1}$ en los extractos del horizonte radicular. *Sporobolus sp.* tiene una distribución considerable que permanece justo hasta la aparición de costras de sal sobre la superficie del suelo. Las coberturas casi siempre marginales de *Suaeda sp.* se ven favorecidas por las conductividades de extracto de suelo del horizonte radicular comprendidas entre 2000 y 4000 $\mu S\ cm^{-1}$.

Hidrografía de las Lagunas de Mayrán y de Viesca: endorreísmo y antropismo.

Descroix L.

Introducción

La hidrología de las depresiones cerradas, frecuentes en las zonas áridas y semi-áridas, está marcada por rasgos particulares ligados, en lo esencial, por la acumulación de los materiales en las cubetas terminales, debido a la ausencia de una salida.

Esta situación conduce a la constitución de grandes extensiones casi planas donde pendientes insignificantes o taludes mínimos pueden guiar los escurrimientos, muy esporádicos pero fuertes y potentes, en direcciones variables. Las desfluviaciones aquí son frecuentes. La principal consecuencia de la aridez es que lo esencial de las aguas superficiales es exógena. La intervención del hombre en este tipo de medios tiene un gran impacto sobre la hidrología e hidrografía, los más mínimos trabajos pueden provocar profundos cambios sobre la red de drenaje y sobre las zonas de acumulación del agua.

Las Lagunas de Mayrán y de Viesca están situadas en el extremo sur del Bolsón de Mapimí y del desierto Chihuahuense entre los estados de Durango y Coahuila; su depresión es desde hace más de un medio siglo el lugar de una intensa actividad agrícola; su situación ha provocado que los cursos alógenos de agua provenientes de la sierra formen verdaderos oasis; el paisaje en esa zona ha sido fuertemente modificado por el hombre, por lo que el equilibrio implantado a nivel agrícola y del balance del agua ubican a la región en una posición delicada y frágil (González Barrios, 1992).

La hidrografía natural de la Laguna

La Laguna[37] (nombre designado al conjunto de la depresión, y de más en más, a la cuenca económica de ciudades gemelas de Torreón y Gómez Palacio), es la depresión endorreica que sirve de salida a una cuenca de 92 000 km^2; esta depresión se divide en varias partes, las dos principales que comprenden la laguna de Mayrán, alimentada por el Río Nazas, y la Laguna de Viesca, alimentada por el Río Aguanaval (Descroix *et al.*, 1994).

[37]El lector debera hacer la diferencia entre la Laguna: nombre propio que designa la región de la aglomeración Torreón-Gómez Palacio-Lerdo, La Laguna de las Palomas: nombre propio que designa la sebkra de la reserva de la biosfera de Mapimí; La laguna : nombre que designa en esta obra, a una sebkra del norte de México.

Aguas alógenas

Antes de 1946, prevalecía una situación más o menos natural, se sabe que las aguas del Río Nazas (el más importante de los ríos que alimentan las lagunas, con un aporte anual medio de 1010 Mm^3) se descargaban en la laguna de Mayrán, la extensión de esta laguna varía con el volumen escurrido y consecuentemente con la pluviometría. Se dio el caso en que la laguna se desecó completamente al final de la estación de secas, a veces antes, pero era, casi todos los años reaprovisionada por las aguas de la cuenca.
Acontecía lo mismo para el Río Aguanaval justo hasta el fin del siglo XIX. Su poca entrada (el aporte total medio anual es de aproximadamente 160 Mm^3) aseguraba un vertimiento menos importante en la laguna de Viesca. Por este hecho, el volumen de agua aportado a las lagunas, aún teniendo en cuenta las primeras obras hidráulicas para irrigación (justo hasta el inicio de este ciclo), era en promedio de 1170 $Mm^3\ a^{-1}$. Parecería que, como en todas las cosas de antes (porque entre tanto, hubo la creación de presas), los volúmenes escurridos eran más abundantes hace un siglo que actualmente, esto con base en algunas medidas existentes; la regularidad también era mejor, los volúmenes de estiaje eran más constantes.
Las lagunas eran por lo tanto de dimensiones variables de un año al otro, y durante el año. El desecamiento estacional total era lo suficientemente frecuente debido a la intensa evaporación (3500 a 4000 mm a^{-1}). Las aguas aportadas por las zonas áridas que rodean las lagunas (precipitaciones anuales medias entre 180 y 250 mm) son aun más esporádicas y son en volumen, algo no muy representativo con relación a los aportes alógenos.

Hidrografía

Las zonas de inundación

Las zonas bajas donde, en condición natural, se acumulan las aguas son (Figura 123):

- para la depresión de Mayrán:

  - la laguna de Mayrán, con mucha diferencia la más grande (extensión máxima: 1300 km^2), donde el fondo se sitúa a una altitud de 1087 m. Constituye una inmensa playa en el centro de la depresión, las pequeñas lagunas de Santiago al oeste (10 km^2, 1092 m) y El Orégano (20 km^2, 1091 m) al norte se unen a la de Mayrán representando las aguas más altas;
  - la laguna de Tlahualilo, al norte (max.: 160 km^2) a 1090 metros;
  - la laguna llamada "las Tetas de Juana" al norte, (a 1091 m) donde la extensión máxima es de 100 km^2 aproximadamente, limitada por su vertimiento en la siguiente:

  - las lagunas de Pozas de Moreno (con un total de una decena de km^2), las más bajas de la depresión a 1070 m;
  - y dos pequeñas lagunas al nor-oeste de la de Mayrán: la de Puerto Rico (13 km^2, 1095 m) y la de Laguna Colorada (2 km^2, 1098 m).

- para la depresión de Viesca:

  - la laguna de Las Palmas (80 km^2 aproximadamente);
  - la laguna de Los Torreones al sur-este (20 km^2).

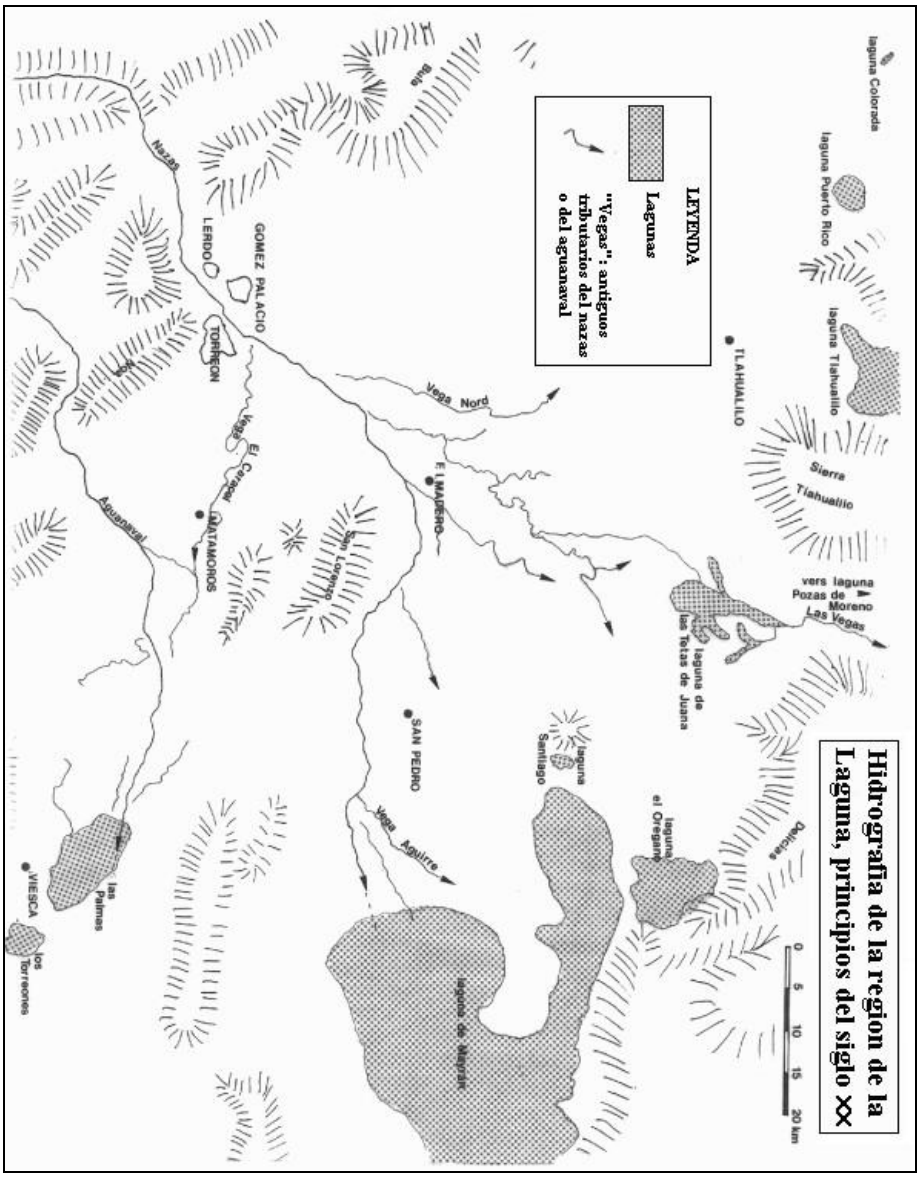


Figura 123. Carta de la hidrografía natural de la Laguna.

Los antiguos canales de escurrimiento

Además de los cauces actuales del Nazas, muy unificados, y del Aguanaval, se puede distinguir sobre fotos aéreas (la mayor parte del tiempo sobre cartas topográficas) y sobre imágenes satelitales (Landsat, Eros Data Center, 1992), antiguos cauces de agua (Figura 124).

- Antiguos cauces del Nazas:
  - la Vega norte

Alimentaba la laguna de Tlahualilo en aguas alógenas: la bifurcación se sitúa en San José de Viñedo, a 12 km al norte de Torreón; éste tributario no está activo al menos desde 1946. En 1991, después de la última crecida del Nazas, los pobladores ribereños fueron advertidos que este lecho iba a ser utilizado para verter una parte de las aguas de este río; finalmente, fue el agua del canal del Sacramento, desbordante, donde se vertió esa agua. Este lecho figura muy claramente sobre la carta más antigua de la Laguna (Figura 124) que data de 1787: se puede apreciar que se dirige en sentido del bolsón de Mapimí (Núñez de Esquibel, 1787).

- Al norte de Madero, 3 o 4 lechos, también muy marcados en el paisaje, dirigiéndose al norte y nor-este, debían alimentar las lagunas “Tetas de Juana", Charcos de Risa y el arroyo Las Vegas, puede ser que también la laguna de Santiago (INEGI).
- Al este de San Pedro, la Vega de Aguirre, que alimenta el norte de la laguna de Mayrán y la laguna El Orégano (Figura 124).

- La Vega El Caracol:

Su nombre se debe probablemente a su trayectoria tan sinuosa: es un antiguo cauce que comunica al Nazas con el Aguanaval al norte de Torreón y Matamoros (Figura 124), lo que figura también sobre la carta 1787, sin que se pueda saber en que dirección escurría: la carta topográfica indica una comunicación del Aguanaval al Nazas, pero la pendiente, que perduro muy débil, parece mostrar lo contrario. Los testigos de las riberas, numerosos (la vega pasa en las afueras del norte de Torreón), coinciden en decir que la última vez que corrió agua fue en 1968 (última crecida antes de la de 1991, este año, hubo la inundación de numerosos barrios de la aglomeración Torreón-Gómez Palacio), y en sentido Nazas-Aguanaval. Este cauce no ha presentado escurrimiento desde entonces, pero permanentemente se puede ver una capa freática (lo que a permitido la instalación de muchas ladrilleras de Matamoros); este mismo fenómeno se encuentra sobre el cauce principal del Nazas, donde el agua aparece permanentemente al menos en dos sitios: al nivel de San Pedro y a la derecha del poblado de Mayrán, justo a la salida del perímetro irrigado y a la entrada de la zona de playa que permanece natural.

Antiguas desembocaduras

La mayoría de las lagunas endorreicas del norte de México están situadas en fosas de hundimiento (grabenes) que hoy han originado depresiones cerradas aisladas unas de las otras. Sin embargo es posible que se hayan dado algunas comunicaciones entre ellas en ciertas épocas del Cuaternario, y que algunas hayan tenido una salida al mar con influencia de paleo-climas más húmedos, por un sistema clásico de lagos vertiéndose unos dentro de los otros en serie.

LEYENDA:
1 Vega norte 2 Vega de Aguirre A Río Nasas 3 Nazas, aguas abajo B Río Aguanaval 4 Vega El Caracol C Torreón 5 Laguna y Salinas de Viesca
(la laguna de Mayrán es llamada laguna de Parras)

Figura 124. Registro de la carta más antigua de La Laguna (carta reproducida en 1787).

Un elemento puede, de manera general, sostener esta tesis: la relativa "juventud" de esos grabenes, formados a partir de las fases tectónicas fini-Terciarias (Miocenas, casi plio-Cuaternarias). Esas fases pudieron más recientemente, jugar un papel a la inversa, esa juventud de grabenes puede explicar el aislamiento de depresiones que en otros tiempos estaban unidas entre ellas: el aporte de sedimentos acarreados desde la Sierras pudo haber acelerado la subsidencia de ciertos grabenes y de cortar ciertas comunicaciones existentes entre lagunas.

En el caso de las lagunas de Mayrán y de Viesca, que ocupan la misma depresión y que han probablemente estado unidas durante ciertos periodos más húmedos del Cuaternario, se puede suponer que ellas hayan tenido vertimientos en dirección de (Figura 125):

- la laguna de Palomas, al nor-oeste, pero las diferencias de altitudes son muy pocas (inferiores a los 5 metros entre el fondo de una a la otra depresión), y es posible que, si hubo vertimientos, se hayan producido de la laguna de Palomas hacia la de Mayrán: la línea del parteaguas que las separa es la de 1128 metros, sea a 35 metros encima del nacimiento de las aguas superiores: este glacis es más probablemente de origen reciente;
- la comunicación con la gran depresión de las Pozas de Moreno (al norte) es real porque, si no hay más escurrimiento, la topografía se suaviza sin discontinuarse, del bordo de la laguna de Mayrán, hasta el centro de esta depresión, por el arrollo Las Vegas;
- sobre todo, es probable que haya existido un vertedor abierto hacia el mar (Golfo de México), por el nor-este; en efecto, el estrecho pasaje entre la laguna El Orégano y la del Valle El Sobaco, así como la delgada franja entre esta última y la del Valle El Hundido (las dos lagunas son depresiones endorreicas) son relativamente angostos (1-2 kilómetros de ancho) en el fondo del plano, lo que sugiere que un terraplén de glacis pudo cubrir un cañón más profundo preexistente, que permitía, en climas muy favorables, un pasaje hacia el norte: el Puerto Ventanillas, permitiendo la comunicación Mayrán-Sobaco, a 1122 metros, sea solamente a 31 metros encima del fondo de la laguna El Orégano, prácticamente unida a los bordes de la de Mayrán. Esta unión poco marcada, está en el fondo de la garganta que separa la Sierra Las Delicias de la Sierra Candelaria, y está formada por la junta de los glacis de esas dos cadenas. También, el cañón El Venado, que permite el pasaje de la ruta Torreón-Cuatro Ciénegas, entre las depresiones de Sobaco y de El Hundido, se parece al de la Ventanilla: el pasaje es a 881 metros, sea a 31 metros encima de la depresión El Sobaco y de la tendencia de los vertientes hace pensar en un cañón relleno por glacis que se entrecortan. Finalmente, la comunicación entre la depresión El Hundido (800 metros) y la del valle exorreico de Cuatro Ciénegas (700 metros) pudo haberse dado en el pasado por el cañón La Fragua, de paredes rígidas y empinadas con fondo plano: es claro que en este caso, la unión sería a los 885 metros, sea a 85 metros encima de la depresión El Hundido. Aunque la formación de los glacis en el cañón, como un hundimiento de depresiones subsidentes son del todo imaginables en los periodos recientes del Cuaternario;
- la existencia de un antiguo exutorio oriental también es posible, pero probablemente más antiguo: ahí sería la subsidencia de la fosa de Mayrán que hubiera cortado este eventual exutorio: hoy el pasaje estaría a 1160 metros aproximadamente (sea a solo 70 metros encima del fondo de la depresión): es muy posible que haya habido una evacuación por el Río Los Patos (en otros climas), afluente des Salinas, sub afluente del Río Bravo (nombre mexicano del Río Grande, que marca la frontera Texana).

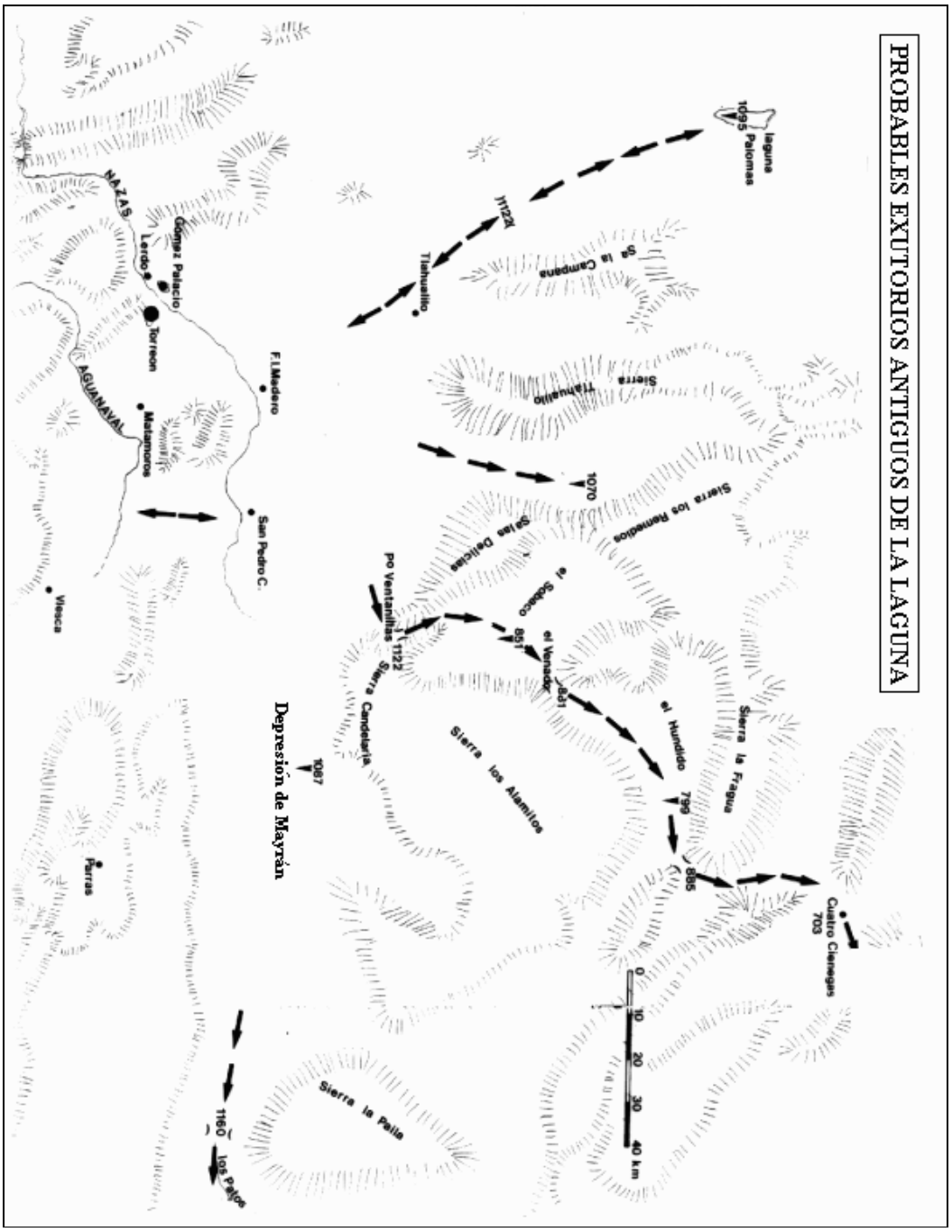


Figura 125. Carta de los posibles vertedores en la región de La Laguna (exutorios).

Las modificaciones aportadas por el hombre

En la alimentación

La alimentación exógena de las lagunas de Mayrán y de Viesca ya no es episódica desde la construcción de las presas de almacenamiento y de los canales de irrigación sobre los dos desagües: las presas del Palmito: Lazaro Cárdenas (1946); de Las Tórtolas: Francisco Zarco (1968) sobre el Nazas no han permitido, desde entonces el drenaje, hasta las últimas ocasiones (1968 y 1991-92); las presas de Santa Rosa (1938), El Sauz (1949), El Cazadero (1964), Los Naranjos (1985), si bien que con dimensiones menores, han reducido los aportes del Aguanaval de la misma manera que en el Nazas.

De hecho, la crecida de 1991-92 ha permitido, en un año, de reconstituir lo que pasaba antes de la construcción de la presa del Palmito: la cual puede almacenar $4x10^9$ m^3 de agua, de los cuales son utilizados $1.1x10^9$ m^3 anualmente. En 1991-92, debido a las abundantes lluvias, $2.7x10^9 m^3$ de agua entraron a la presa del Palmito, por una pluviometría de 50% superior a la media. Hubo, además del volumen necesario en la irrigación y la recarga del reservorio, que evacuar entre 1.2 y $1.3x10^9$ m^3 para el lecho del Nazas, en varias ocasiones (agosto-septiembre-octubre, luego en diciembre 1991, después en enero-febrero de 1992), a veces muy violentamente; este volumen representa más o menos lo que aportaría el Nazas a la Laguna antes de 1946; sucedió lo mismo para el Aguanaval ese mismo año. La red de canales alimentados por estos cauces está representada en la (Figura 126) y se describen enseguida.

Las perturbaciones aportadas a los escurrimientos naturales por el valor agrícola son diferentes en los dos ríos:

- El Aguanaval: su flujo, muy irregular, es aprovechado desde 1880 para la irrigación de los campos de algodón: el primer sector puesto en valor se sitúa alrededor de las salinas de Viesca (ya explotadas en el XVIII^{avo} siglo, ver Figura 126) y de Matamoros; poco a poco el agua sigue siendo de más en más explotada aguas arriba, lo que parcialmente a dañado, la explotación aguas abajo: Matamoros, Nazareno, La Flor, y mucho más abajo, a los perímetros más productivos actualmente: Cazadero-Río Grande y El Sauz; de hecho, la escasez de agua en la parte baja es muy aguda y los oasis de Bilbao y de Viesca hubieran desaparecido sin el agua de bombeo; hoy se encuentran en un estado de deterioro muy marcado. Sin embargo, el nombre de Aguanaval viene del hecho que antes fue navegable, varios indicios conducen a pensar que su flujo era mucho más importante. El perímetro irrigado de Viesca-Bilbao cubría a mitad del siglo, aproximadamente 5000 o 6000 ha; el de Matamoros todavía activo en más del 50% gracias a las aguas de bombeo, más de 10 000 ha; el de La Flor con más de 5000 ha, casi explotadas de forma integral (Orona y Gallard, 1994).
- El Nazas: su flujo natural es mucho más importante que el del precedentemente ($1010x10^6$ m^3 contra $160x10^6$ m^3); por este hecho, la explotación que se hizo hasta la mitad del siglo XX no afectaba mucho su flujo. Al contrario, la creación de la presa del Palmito (Lázaro Cárdenas) ha revolucionado profundamente su régimen (Descroix *et al.*, 1994). Esta presa ha permitido la creación de un perímetro irrigado de 16 0000 ha, durante mucho tiempo consagrado al algodón, luego, desde 1990 aproximadamente (por

la baja del valor del algodón), a la ganadería de bovinos (alfalfa irrigada, vacas lecheras en estabulación libre).

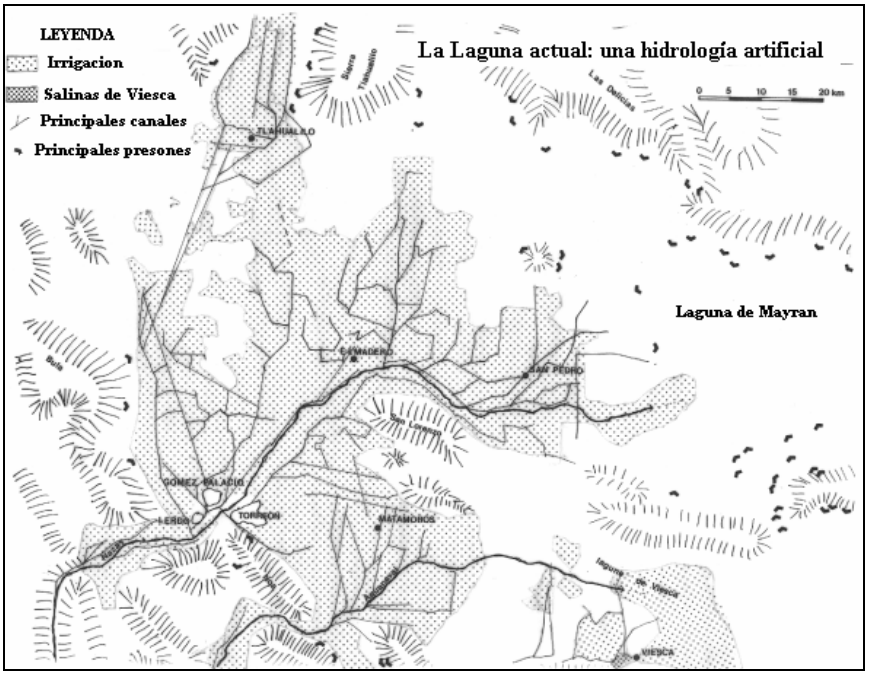


Figura 126. Red de canales, presas y "Bordos".

En los dos casos, el recurrir al bombeo de las aguas subterráneas se ha hecho necesario desde hace mucho tiempo: desde antes de la construcción de presas, pero sobre todo, después de 1950 y el “boom” del algodón.
Actualmente, de los $2.5x10^9$ m^3 de agua necesarios anualmente para al agricultura, la industria y las necesidades domésticas, solo $1.15x10^9$ m^3 (sea el 46%) son adquiridos por las aguas de escorrentía de la cuenca.

En la configuración física de playas

Antes de la creación de la red de canales de irrigación, las lagunas fueron puestas a disposición para la explotación de la sal sobre todo la laguna de Viesca que ha sido explotada, suscitando la aparición de una industria de sal en el antiguo cuadro de haciendas (Figura 126), luego en las comunidades rurales a partir de la Reforma Agraria. El sector, también era un centro minero importante por los metales raros (plomo, plata, zinc, oro...); la Laguna es por este hecho después de dos siglos la sede de una importante industria de tratamiento de sal y de metales. Sin embargo, es claro que ha sido sobre todo la red de drenaje de irrigación quien ha marcado más el paisaje de

la Laguna: la mitad occidental de la Laguna está enteramente modificada por los canales, grandes y pequeños, las tomas, las elevaciones de terreno, y la presencia por todos lados, de grandes campos geométricos irrigados (Figura 127).
Solo las partes más saladas de las playas (laguna de Mayrán y alrededores) no han sido puestas en valor para su explotación. El drenaje superficial natural no existe más, el escurrimiento en las playas está completamente modificado por la red de campos y canales, que impiden escurrimiento laminar; sin los cultivos, esta red de elevaciones facilitarían la recarga del manto freático (el cual está sobre explotado, el nivel baja en promedio 1.75 m a^{-1}).
Hoy en día, la red de canales está en desuso en los sectores oriental (Matamoros) y septentrional (Tlahualilo, San Pedro), debido a la mínima disponibilidad de aguas: también en estos sectores donde se explota más el agua subterránea y donde el manto es abatido más fuertemente (localmente, 4 m a^{-1} desde hace 15 años); este abatimiento no se ha mantenido sin problemas graves de calidad de agua: en varios sitios, el contenido de sales en agua y o arsénico es incompatible con las necesidades domesticas y para irrigación.
Esta transformación del paisaje en la Laguna es muy importante, aun en los sectores donde la irrigación ha retrocedido, quedan los canales abandonados, las elevaciones, etc.. La electricidad necesaria para bombear el agua es cada vez menos subvencionada (su precio se ha multiplicado por 4 desde 1992), el abandono de los sectores irrigados únicamente por bombeo es muy rápido actualmente, sobre todo al este y al norte de la Laguna.
La necesidad de aprovechar todas las aguas de superficie ha conducido a construir un gran numero de diques o bordos de contención sobre los glacis, al pie de los vertientes que limitan la Laguna: cada valle, cada vertiente puede tener un bordo en su parte baja: su alimentación es muy esporádica (algunos no reciben agua más que cada 5 o 10 años), pero ellos pueden servir para remplazarlos para abrevamiento de ganado, única fuente posible, fuera de los perímetros de irrigación en las lagunas, donde la precipitación anual media es apenas de 200 mm: esos bordos de contención están repartidos en casi todos los pies de monte alrededor de las lagunas de Mayrán et Viesca (Figura 126).

Conclusiones

Las lagunas de Mayrán y de Viesca son un ejemplo de transformación completa de un sistema de lagunas endorreicas: las aguas de escurrimiento prácticamente no llegan a las partes bajas y el "desierto" parece estar instalado, con sus costras de sal, sus dunas y su vegetación muy dispersa. La hidrografía actual se debe muy poco a la naturaleza: los aportes alógenos se han convertido en algo insignificantes en años normales, pero esas venidas de aguas pueden, como en 1968 y en 1991-92, ser catastróficas. El cuadriculado de los campos, de los canales y de las elevaciones son tales que el escurrimiento laminar es casi imposible: la alimentación de las playas no esta más asegurada salvo en los años lluviosos excepcionales; su funcionamiento hidrográfico es muy episódico y muy alejado del que prevalecía en situación natural.
De una situación natural de sebkra alimentada por una red alógena, se ha pasado a un sistema enteramente antropizado, donde el paisaje ha ciertamente evolucionado, evocando una huerta o un oasis, pero donde el equilibrio esta fuertemente amenazado por la excesiva explotación de las aguas subterráneas que es como una regla desde hace unos cuarenta años: el retorno de algunos sectores enteros al abandono y a su estado natural (acompañados de los equipamientos abandonados) hace recordar la fragilidad de estos "oasis".

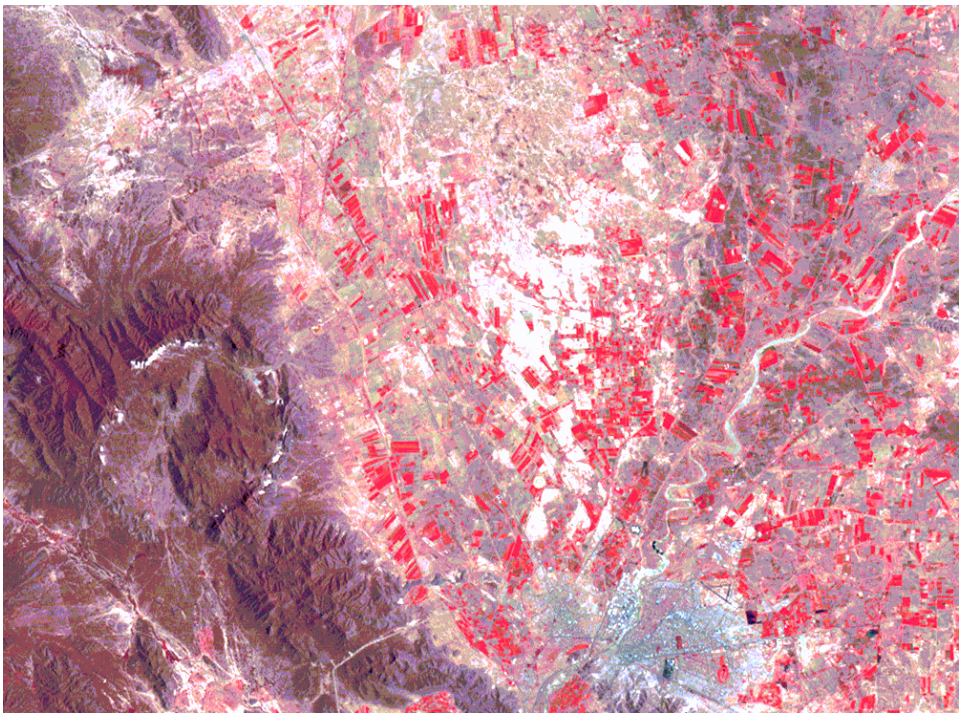


Figura 127. Imagen Landsat MSS de la Laguna. En rojo, cultivos bajo irrigación.

Los aprovechamientos hidro-agrícolas en las playas del desierto Chihuahuense: Influencia de las concentraciones salinas sobre la calidad de los recursos hidro-edafológicos. Aplicación al estudio del área de riego de la Comarca Lagunera, México.

González-Barrios J.L., Valles V. , Servat E. , Plenecassagne A.

Introducción

La Comarca Lagunera es una región árida endorreica, formada por planicies cuya altitud varia entre 1000 y 1200 m. Se sitúa entre las dos principales cadenas montañosas del Norte de México (Figura 128). En esta región, los principales problemas son la obtención de un volumen de agua suficiente para regar 150000 hectáreas de tierras, así como el control de la calidad del agua bajo las condiciones climáticas de fuerte evaporación (cerca de 2600 mm $año^{-1}$ contra 260 mm de precipitación promedio anual). Los volúmenes de riego actuales para la producción agrícola, por ejemplo forrajes, exceden ampliamente (hasta 100%) las necesidades hídricas de las plantas y representan una importante cantidad de agua que redistribuye las sales del suelo. La cantidad de sales de ciertas aguas de riego plantea el problema de salinización secundaria cuya intensidad y naturaleza es diferente según la calidad del agua, el tipo de suelo y los aprovechamientos hidro-edafológicos que se hacen.
Después de una presentación breve de los materiales y métodos utilizados, se abordarán los principales resultados obtenidos que ponen en evidencia la influencia de las concentraciones salinas sobre la calidad de los recursos agua y suelo.

Materiales y métodos

Varias exploraciones de campo permitieron identificar dos situaciones hidro-agrícolas representativas del área de riego de la Comarca Lagunera (González-Barrios, 1994 ; González-Barrios y Loyer, 1995). La caracterización fisicoquímica de las aguas y de los suelos fue realizada a partir de diferentes análisis de laboratorio (conductividad eléctrica, pH, iones disueltos en el extracto de pasta saturada, difracción con rayos X, granulometría, contenido de material calcáreo y de yeso, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica).
Paralelamente, se simuló numéricamente la evolución geoquímica de las aguas, con la ayuda del modelo termodinámico *Aqua* (Valles y De Cockborne, 1992) que permite prever la dirección y la intensidad de los cambios geoquímicos tomando en cuenta las condiciones de evaporación. El estudio de los suelos sometidos al riego durante veinte o cuarenta años permitió comparar la evolución observada en el campo y simulada con el modelo.

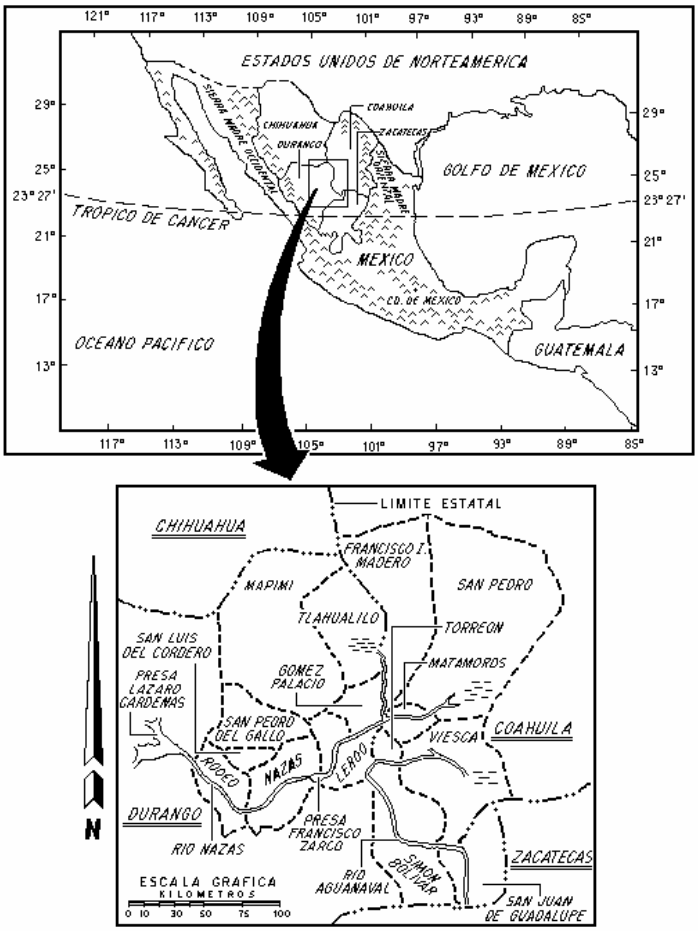


Figura 128. Localización de la zona de estudio.

Resultados y discusiones

En el área de riego de la Comarca Lagunera, el agua utilizada para fines agrícolas proviene de varias fuentes. Sin embargo, la producción de cultivos forrajeros con aguas de origen subterráneo es la mas frecuente. Ya sea para la producción de alfalfa, maíz, pasto ballico, avena o sorgo, se observa un fuerte consumo en agua y un intenso uso del suelo a lo largo de todo el año.

Dos situaciones hidro-agrícolas representativas fueron elegidas para este estudio.

- La primera, llamada Vergelito, esta localizada en la planicie aluvial Noreste (municipio de Francisco I. Madero, Coahuila);

- La segunda, llamada Comienzo, se sitúa en la planicie aluvial central (municipio de Gómez Palacio, Durango). El riego intensivo para la producción de forrajes se remonta a la década de 1950 para los suelos de Comienzo y para la década de 1970 para los suelos de Vergelito.

Características de los suelos antes de ser irrigados

Tabla 66. Características fisicoquímicas del extracto de pasta saturada del suelo de Vergelito (capa arable), en estado natural antes de 20 años de riego.

Prof. Cm	CE DS m^{-1}	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+} $mmol^{+-}$	Cl^{-} L^{-1}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	NO_3^{-}
0 – 90	0,45	8,6	1,45	0,1	0,8	0,4	1,7	0,55	1,7	0	0

Tabla 67. Características de la fase mineral del suelo de Vergelito (capa arable), en estado natural 20 años antes del riego. (granulometría, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, riqueza en sales precipitadas y contenido de materia orgánica).

Prof. Cm	Arena	Limo %	Arcilla	CEC	Ca^{2+}	Mg^{2+} $cmol^{+}$	Na^{+} kg^{-1}	K^{+}	Calcáreo	Yeso %	M.O.
0 – 90	35	20	44	30	10,8	0,75	0,9	1,1	4,6	6,0	1,4

Tabla 68. Características fisicoquímicas del extracto de pasta saturada del suelo de Comienzo (capa arable), en estado natural antes de 40 años de riego.

Prof. Cm	CE dS m^{-1}	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+} $mmol^{+-}$	Cl^{-} L^{-1}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	NO_3^{2-}
0 – 90	2,9	8,4	7,8	1,55	8,8	1,4	3,6	8,55	1,9	0,15	7,4

Tabla 69. Características de la fase mineral del suelo de Comienzo (capa arable), en estado natural antes de 40 años de riego.(granulometría, capacidad de intercambio catiónico cationes intercambiables, riqueza en sales precipitadas y contenido en materia orgánica).

Prof. Cm	Arena	Limo %	Arcilla	CEC	Ca^{2+}	Mg^{2+} $cmol^{+}$	Na^{+} kg^{-1}	K^{+}	Calcáreo	Yeso %	M.O.
0 – 90	26	31	42	32,3	12,9	1,1	0,9	2,5	11	6,9	2,2

Los suelos de esos dos sitios pertenecen a los depósitos de aluviones finos formados por la decantación en los fondos bajos o depresiones (como todos los suelos estudiados en esta obra)[38]. Son suelos arcillosos jóvenes, que presentan características fisicoquímicas distintivas:

- el suelo de Vergelito (Tabla 66 y Tabla 67) et un suelo gris-oscuro calcáreo, arcilloso, cuyos minerales arcillosos que pertenecen al grupo de las Esmectitas dominan sobre el grupo de Illitas y Kaolinitas, es un suelo no salino de facies bicarbonato-cloruro cálcica con un complejo de intercambio calcimagnésico.

[38] note de los editores

- El suelo de *Comienzo* (Tabla 68 y Tabla 69) es un suelo gris-claro calcáreo, arcilloso donde los minerales arcillosos del tipo Illita y Kaolinita predominan sobre las Esmectitas, es no salino, de facies sulfato cálcica, con un complejo de intercambio igualmente calcimagnésico.

A parte de sus texturas finas que hacen a veces difícil el laboreo cuando están húmedos, esos suelos no plantean problema alguno para su uso agrícola, sus capacidades de retensión en agua es adecuada. La calidad de esos suelos antes del manejo es satisfactoria pero debe modificarse probablemente al paso del tiempo bajo la acción de las aguas de riego que se utilizan.

Características de aguas de irrigación

Las aguas de riego utilizadas para los dos suelos son de origen subterráneo, bombeadas desde un acuífero profundo situado en aluviones de distinta naturaleza. Esas aguas difieren entre si respecto a sus contenidos de sales y sus facies químicas (Tabla 70).

- las aguas de Vergelito son ricas en sales y tienen una conductividad eléctrica[39] de 1,5 $dS.m^{-1}$, y presentan una facies sulfato sódica.
- las aguas de Comienzo son aún mas ricas en sales con una conductividad eléctrica[40] de 5,6 $dS.m^{-1}$ y tienen una facies cloruro sódica.

La salinidad de esas aguas, como la de la mayoría de las aguas subterráneas, de la Comarca Lagunera, parece aumentar desde hace una veintena de años, fenómeno ligado, por una parte, a la sobreexplotación de las reservas situadas en promedio a 80 m de profundidad y, por otra parte, a los períodos de sequía climática. Esta mineralización de las aguas evoluciona a una velocidad aun no bien conocida; hasta 4 % por año en algunos casos estudiados por González-Barrios (1994).

Tabla 70. Características fisicoquímicas actuales de las aguas de riego de Vergelito y Comienzo.

	CE $dS\ m^{-1}$	CD $g\ L^{-1}$	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+} mmol	Cl^{-} L^{-1}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	NO_3^{2-}
Vergelito	1,5	1,1	8,2	1,1	0,15	12,70	0	2,3	4,2	4,2	0	0
Comienzo	5,6	3,65	7,6	8,15	0,55	41,3	1,0	45,4	6,4	1,6	0	0

El uso de esas aguas plantea un riesgo de salinización secundaria de los suelos. Una lamina de riego anual, para producir alfalfa por ejemplo (2,8 m de agua en promedio), representa, actualmente, un aporte de 30.8 y de 102.2 t ha^{-1} respectivamente (incluyendo todas las especies de sales) para los suelos de Vergelito y de Comienzo. La evolución de esta salinización y sus efectos a largo plazo pueden ser previstas con la ayuda de simulaciones numéricas.

[39] sea 1 500µS.cm^{-1}

[40] sea 5 600µS.cm^{-1}

Evolución simulada de las aguas y consecuencias sobre los suelos y la vegetación

Bajo las condiciones de fuerte evaporación el modelo *Aqua* permite simular a partir del pH y de los principales iones detectados, la evolución química de las aguas (Eaton, 1950; Droubi, 1976; Valles *et al.*, 1991): distribución, formas libres y complejas de los elementos (molalidad, actividad). El comportamiento de las aguas de riego, en ausencia de la fase sólida intercambiable (suelo), se presenta en la Figura 129 y en la Figura 130 que muestran, por una parte, las aguas de *Vergelito* caracterizadas por un aumento de la alcalinidad (Alk) a medida que se concentran por evaporación; y por otra parte, las aguas de Comienzo cuya alcalinidad se estabiliza a partir de un limite de concentración (log Fc = 1).

En las ultimas fases del proceso de evaporación, después de la precipitación de la calcita y del yeso, esos tipos de agua darán origen a minerales solubles de naturaleza química diferente:

- Minerales alcalinos, formados por carbonatos y bicarbonatos de sodio : trona ($Na_2CO_3 \cdot NaHCO_2 \cdot 2H_2O$), natron ($Na_2CO_2 \cdot 10H_2O$), nahcolita ($NaHCO_2$), thermonatrita ($Na_2CO_2 \cdot H_2O$), para las aguas de Vergelito,

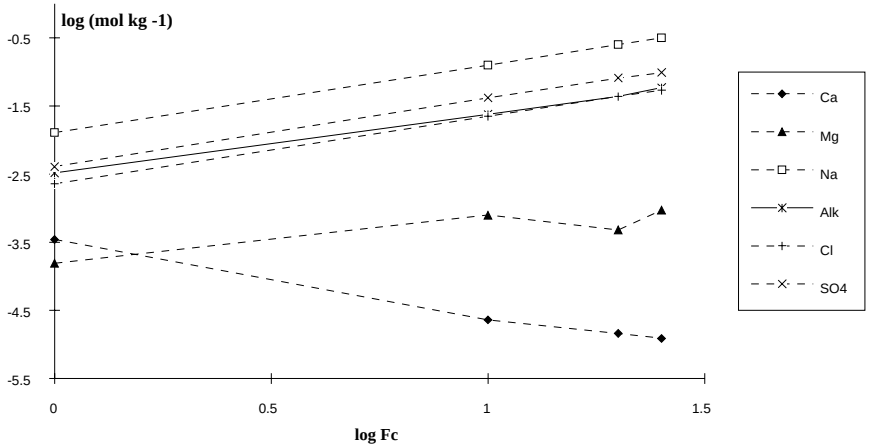


Figura 129. Comportamiento hidro-químico simulado de las aguas de Vergelito

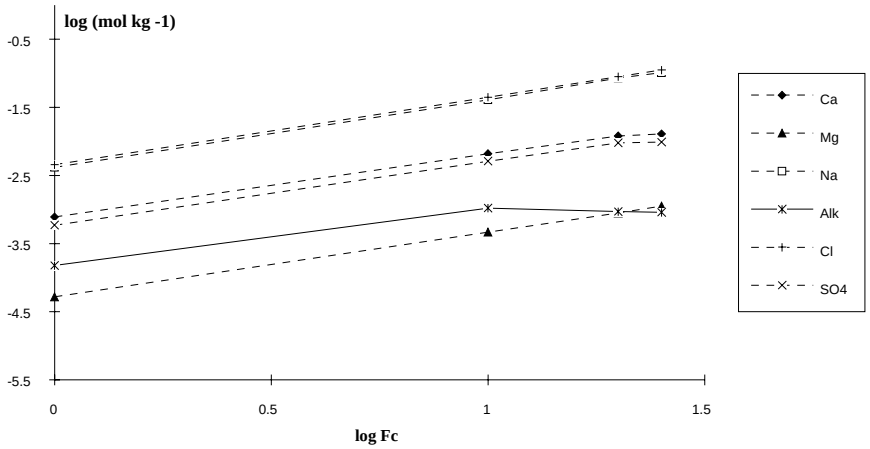


Figura 130. Comportamiento hidro-químico simulado delas aguas de Comienzo

- Minerales neutros, formados por cloruros de sodio y de magnesio : halita (NaCl), cloromagnesita ($MgCl_2$)..., para las aguas de Comienzo.

Las consecuencias sobre el suelo serán diferentes según el tipo de agua usada.

- En el caso de *Vergelito*, bajo ciertas condiciones (ausencia de material calcáreo, presencia de un manto freático próximo de la superficie...), el agua podrá provocar una salinización alcalina, acompañada de degradación de la estructura del suelo por efecto de una dispersión de las arcillas (proceso de alcalización);
- En el caso de *Comienzo*, el agua de riego podrá provocar una salinización neutra muy fuerte, así como una sodización avanzada en el complejo de intercambio del suelo.

Sin embargo, los suelos contienen material calcáreo y yeso, que intervienen en los intercambios con el complejo de intercambio y que tienen un efecto tampón sobre los cambios geoquímicos. Además, el régimen hídrico de esos suelos de desierto se semeja a un sistema abierto a profundidad, ya que en ausencia de un manto freático, las sales pueden migrar como en un medio bien drenado.
Las consecuencias en las plantas serán: una dificultad para absorber los elementos nutritivos y el agua bajo condiciones hipertónicas en relación con el medio intracelular; dificultad para la respiración de las raíces debido a condiciones de asfixia (caso de Vergelito) ; y una fuerte toxicidad de los iones, presentes en fuertes concentraciones.
Se puede constatar que las consecuencias de esa evolución son muy perjudiciales al desarrollo vegetal, lo que concretamente se traduce por una perdida del potencial productivo de los suelos.
Se puede comparar la evolución de las características edafológicas, observadas en los dos casos estudiados, después de varias décadas de riego, a las características previstas por el modelo.

Evoluciones observadas en las características fisicoquímicas del suelo después de un largo período de irrigación

La Tabla 71 y Tabla 72 presentan las características fisicoquímicas de la capa arable delos suelos, después de veinte o cuarenta años de riego.

El suelo de Vergelito, después de una veintena de años de riego, y trabajado de manera no sistemática (laboreo de superficie, fertilización y control fitosanitario, regado en surco o en melgas de inmersión), presenta los cambios siguientes: la salinidad global (conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada) aumenta casi doce veces; el pH disminuye hasta alcanzar un valor en equilibrio geoquímico con la calcita (8,4) ; la facies salina de la solución pasa de bicarbonato-cloruro cálcica a sulfato sódica idéntica a la del agua de riego; las sales precipitadas en superficie son sobretodo sulfatos de sodio (mirabilita, tenardita); la capacidad de intercambio catiónico permanece en el mismo orden de grandeza; el complejo de intercambio se enriquece en sodio intercambiable cuyo porcentaje aumenta casi trece veces, de 3 a 38 % ; el contenido de material calcáreo y de yeso disminuyen 35 y 26 % respectivamente.

Tabla 71. Características fisicoquímicas del extracto de la pasta saturada del suelo de Vergelito (capa arable), después de 20 años de riego.

Prof. cm	CE dS m^{-1}	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+} $mmol^{+-}$	Cl^{-} L^{-1}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	NO_3^{-}
0 à 90	5,3	8,4	8,05	0,1	33,8	0,6	7,3	19,35	2,8	0	0

Tabla 72. Características fisicoquímicas de la fase mineral del suelo de Vergelito (capa arable), después de 20 años de riego. (granulometría, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, riqueza en sales precipitadas y contenido en materia orgánica).

Prof. (cm)	Arenal e	Limo %	Arcilla	CEC	Ca^{2+}	Mg^{2+} $cmol^{+}$	Na^{+} kg^{-1}	K^{+}	Calcáreo	Yeso %	M.O.
0 à 90	41	16	42	29,5	5,3	0,55	11,2	0,7	3	4,4	2,1

El suelo de Comienzo, (Tabla 73 y Tabla 74) después de cuarenta años de riego a través de los cuales se realizaron manejos similares a los de Vergelito, llevados a cabo sin embargo de una manera mas sistemática y con mayor tecnicidad (micro-nivelación del terreno...) e intensidad (subsoleo a 90 cm de profundidad, aplicación hasta 120 t ha^{-1} de estiércol de bovino...), muestra los cambios siguientes: la salinidad global aumenta casi dos veces pero se mantiene en valores convenientes; el pH disminuye muy ligeramente a valores del medio neutro; la facies salina de la solución pasa de sulfato cálcica a cloruro sódica-cálcica en relación con la facies del agua de riego; las sales precipitadas en la superficie son formadas esencialmente por cloruros de sodio (halita); la textura muestra un muy ligero cambio que se traduce por una granulometría mas equilibrada entre las diferentes fracciones, la capacidad de intercambio del suelo disminuye también muy ligeramente; el complejo de intercambio se enriquece en sodio intercambiable cuyo porcentaje aumenta casi nueve veces, de 2,7 à 23,3 % ; el contenido de material calcáreo y de yeso no muestran grandes cambios.

Tabla 73. Características fisicoquímicas del extracto de la pasta saturada del suelo de Comienzo (capa arable), después de 40 años de riego.

Prof. cm	CE dS m^{-1}	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+} $mmol^{+}$	Cl^{-} L^{-1}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	NO_3^{-}
0 – 90	4,9	8,1	9,2	1,6	19,8	5,8	25,7	6,85	7,9	0	0

Tabla 74. Características fisicoquímicas de la fase mineral del suelo de Comienzo (capa arable), después de 40 años de riego (granulometría, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, riqueza en sales precipitadas y contenido de materia orgánica).

Prof. cm	Arena	Limo %	Arcilla	CEC	Ca^{2+}	Mg^{2+} $cmol^{+}$	Na^{+} kg^{-1}	K^{+}	Calcáreo	Yeso %	M.O.
0-90	39	31	29	30	6,4	2,1	7,0	5,3	10	7,4	2,6

Las características observadas muestran las transformaciones fisicoquímicas provocadas por el uso agrícola de las aguas y del suelo. Desde el punto de vista físico, el suelo de Comienzo presenta ciertos cambios debidos a los trabajos realizados sistemáticamente (especialmente subsoleo profundo, uso de grandes cantidades de materia orgánica...). El suelo de Vergelito no muestra cambios físicos evidentes, sin embargo, desde el punto de vista geoquímico, es el que presenta las transformaciones más importantes con una mayor salinización, un cambio en su facies química y una sodización de su complejo de intercambio. (Figura 131 y Figura 132).

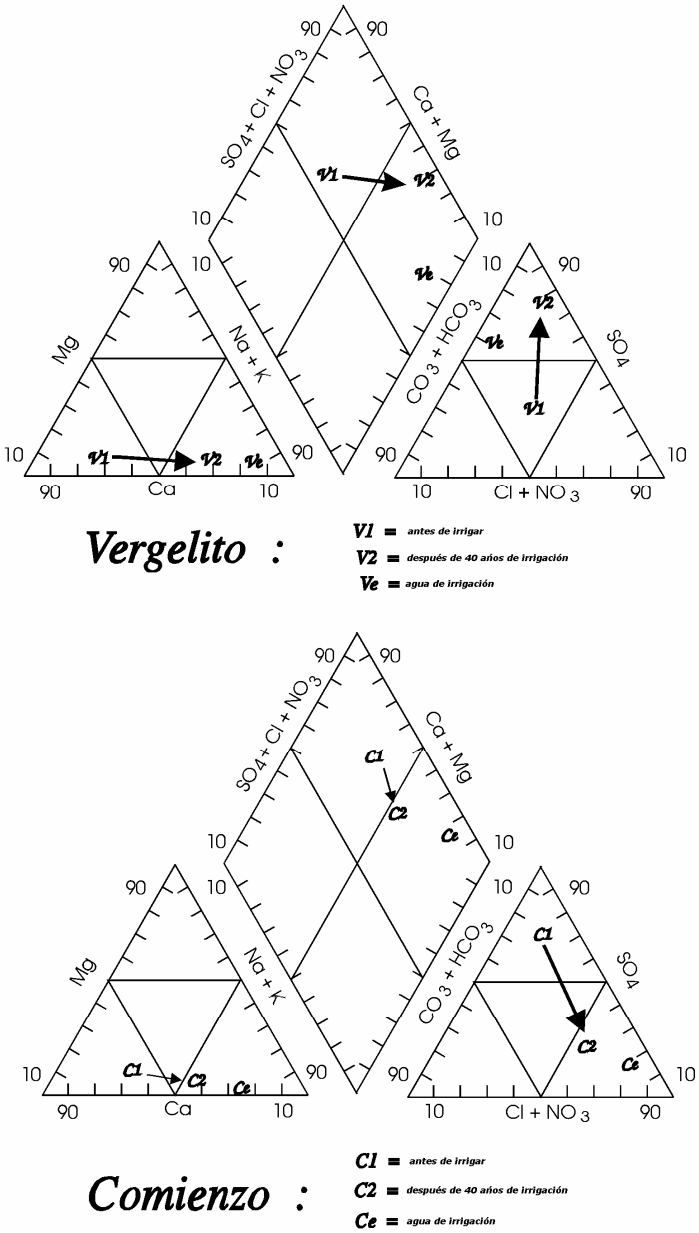


Figura 131. Evolución observada en las facies de la salinidad del suelo.

Estos resultados ponen en evidencia dos funcionamientos diferentes en los cuales los trabajos de laboreo y sobre todo la naturaleza del suelo y del agua, juegan un papel preponderante. La sensibilidad a la salinización es menos importante en el suelo de Comienzo donde la acumulación salina y la adsorción del sodio parece alcanzar un limite similar a un equilibrio entre suelo y agua, situado actualmente en una conductividad eléctrica (CE) próxima a 5dS.m^{-1}, valor próximo de la CE del agua de riego usada (5.6dS m^{-1}). Este comportamiento ha sido ya observado por González-Barrios (1994) en otros suelos de la región que presentan las características, (textura franca, buena estructura y permeabilidad, riqueza en material calcáreo) y las situaciones topográficas (bien drenadas), que favorecen el drenaje del suelo y que permiten exportar el exceso de sales solubles fuera de la capa arable. Por el contrario, en el caso de Vergelito, la acumulación salina y la sodización del complejo de intercambio son más importantes que las esperadas bajo las condiciones de equilibrio suelo-agua. No es pues recomendable regar este suelo con sus aguas subterráneas pero, si no hay otra opción, será necesario el uso de acondicionadores adecuados que permitan re-equilibrar (con mejoradores ricos en calcio) la relación entre calcio y sodio en solución, así como exportar (mediante drenaje) el exceso de sales fuera del perfil de laboreo del suelo.

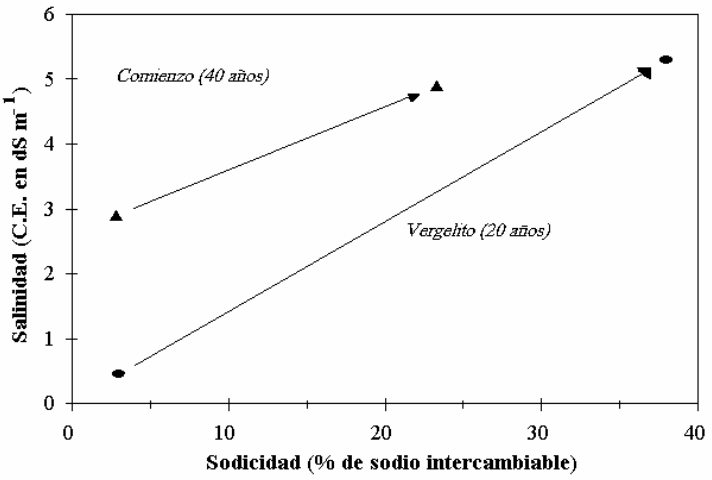


Figura 132. Evolución observada de la salinidad y la sodicidad del suelo.

Los cambios observados en Vergelito (salinización neutra) son diferentes de los previstos por la simulación numérica (salinización alcalina) por la importancia que tienen los fenómenos de intercambio catiónico (tipo de arcilla, coeficiente de selectividad, tiempo de contacto suelo-solución en el transcurso de las fases de hidratación-secado, la dinámica de los cationes intercambiables), así como por el poder tampón del medio geoquímico (riqueza en material calcáreo, contenido de calcita y de yeso disueltos en cada fase de hidratación...).

A pesar de los cambios provocados en los suelos, la producción vegetal a continuado en ellos, pero con rendimientos agrícolas menores de los rendimientos potenciales de la región;

especialmente en Vergelito, lo cual denota una disminución evidente de la capacidad productiva del suelo.

Conclusiones

Es evidente que el uso agrícola de aguas salinas modifica las características de los suelos irrigados. Los dos casos representativos estudiados en la Comarca Lagunera muestran que la sensibilidad a la salinización secundaria es importante cuando el suelo, antes del riego, es poco salino, tiene una fracción fina predominada por las arcillas de tipo Esmectita y que los trabajos del suelo no contribuyen a exportar el exceso de sales fuera del perfil de laboreo. Así, el suelo de Vergelito es más sensible, a ese proceso de salinización secundaria, que el suelo de Comienzo aún si el agua de riego es casi cuatro veces menos salina.

El procedimiento de comparar las situaciones iniciales y finales, simuladas y observadas permite poner en evidencia la dirección y la intensidad de los cambios potenciales y reales al término de varias décadas de riego. Esa comparación muestra cuan importante es tomar en cuenta la naturaleza del suelo y también los diferentes trabajos realizados en él, para prever con precisión le evolución geoquímica del sistema agua-suelo.

En la perspectiva de utilizar la modelación como herramienta precisa para el manejo y la toma de decisiones, es necesario tomar en cuenta todos estos aspectos hidrológicos y edafológicos que explican la diferencia entre lo observado y lo simulado.

Finalmente, sería interesante poder continuar el estudio evolutivo de esos suelos y tratar de restaurar, con trabajos de manejo adecuados, su potencial productivo y su calidad.

CAPITULO OCHO

Conclusiones generales

bibliografía

Resumidos los principales resultados del libro, surgen varias líneas directrices. De hecho, nuestra ambición colectiva es de haber puesto en claro la noción de secuencia de playa, de haber descrito la heterogeneidad espacial de estos medios y de poder dar algunos consejos de gestión de estos ecosistemas.

Los editores

Conclusiones generales

Grünberger O.

Las playas del norte de México constituyen ecosistemas bien definidos y sus fronteras con las otras unidades geomorfológicas son muy claras. Las coberturas vegetales presentes en las planicies de playa son muy variadas, la media se establece en un 25 % con una predominancia muy marcada de dos pastos perennes, *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides*, la principal especie arbustiva es *Prosopis glandulosa*. La costra de decantación es el principal estado de superficie, pero una vez que la pendiente disminuye, se presentan costras estructurales y de erosión que pueden dominar en el paisaje y donde el escurrimiento se vuelve importante. Exceptuando la zona de sebkra propiamente dicha, donde la infiltración produce variaciones sensibles del nivel del acuífero de base, ninguna evidencia de infiltración profunda (más allá de los 50 cm) ha podido ser detectada. Por su topografía plana, las playas dan al observador una apariencia de monotonía difícil de eliminar a la vista, donde largas distancias y ciertos efectos negativos bien concocidos[41] contribuyen a esa ilusión óptica, sin embargo resulta más difícil deshacerse de la sensación de una variabilidad muy baja. Sin embargo los datos reflejan una gran heterogeneidad en la mayor parte de los medios de playa para todas las escalas espaciales estudiadas. Importantes contrastes de las propiedades hidrodinámicas superficiales son observados según las organizaciones superficiales de los suelos. En especial, la presencia de superficies cubiertas con vegetación son los indicadores de zonas susceptibles de infiltración (limitada a los horizontes superficiales).

Esta heterogeneidad se traduce por diferencias de proporción de los estados de superficie (especies vegetales y reorganizaciones superficiales) que están, en la mayoría de los casos, ligados a diferencias de contenidos en elementos extractables en agua en los horizontes de suelo poco profundos (salinidades diferentes), originando con con ello una diferencia en el suelo de las características de funcionamiento hídrico presentes o pasadas. Esta característica puede ser considerada en este medio como el principal factor de variabilidad que se expresa a varios niveles de organizaciones entrecruzadas las unas a las otras y que es conveniente jerarquizar para las escalas espacial y temporal.

Siempre será difícil diferenciar entre la distribución de salinidad que determinaría las implantaciones de la vegetación, y las condiciones hidrodinámicas particulares debidas a la vegetación que induciría varios gradientes de contenidos. Sin embargo, es posible concluir sobre dichos funcionamientos, la heterogeneidad espacial, las poblacionea de animales y dar algunas recomendaciones sobre la gestión de recursos en las playas.

[41]Por ejemplo, la cubierta vegetal siempre parece más importante a lo lejos que cerca del observador.

Los diferentes funcionamientos hídricos y salinos de suelos de playas

En los suelos de playa del Desierto Chihuahuense, varias salinidades fueron encontradas y están ligadas a estados de superficie particulares así como a funcionamientos hídricos superficiales diferentes. Los distintos estudios de salinidad, que se expresan por la conductividad eléctrica de los extractos de suelos repercuten sobre todos los parámetros medidos, ya sea los parámetros físico-químicos del suelo, la vegetación o los estados de superficie. Estas mediciones permiten reconocer ciertas clases de conductividad con relación a los extractos de suelo 1:16. Tres principales funcionamientos tipo se pueden describir.

1. El carbonato de calcio está en todos los suelos de playa y determina el carácter cálcico de las soluciones de lixiviación (las menos concentradas) en combinación con una fase arcillosa que permite la liberación de iones de Na^+. Conviene subrayar que aproximadamente la mitad de las muestras son de este tipo. Se trata de suelos de playa provistos de una cobertura de *Hilaria sp.* y o de algunas cactáceas y o algunos ejemplares de *Prosopis sp.* Estos suelos presentan horizontes superficiales con contenidos bajos de iones de sodio y en productos de disolución del yeso. Tienen por consecuencia una conductividad de extracto inferior a 500 $\mu S\ cm^{-1}$. Estos son los suelos que pueden ser los más productivos en biomasa siempre y cuando su inundación no sea muy frecuente y que sus características vérticas no sean muy marcadas. Estos suelos se sitúan en depresión topográfica relativa y están frecuentemente asociados a costras de decantación. Sus capacidades de infiltración permiten un flujo de las aguas de superficie no saladas en dirección del acuífero salado que no se mantiene próximo de la superficie ya sea porque el nivel es muy profundo o porque la infiltración es suficientemente fuerte para empujar hacia abajo el agua de ascenso de las aguas saladas por capilaridad (casos particulares de zonas bien drenadas y alimentadas). Son suelos donde por simulación de lluvia se puso en evidencia su baja capacidad de escurrimiento, seguido inferior a 20%. Sin embargo cierta salinidad puede mantenerse a profundidad, ya que estos suelos reciben periódicamente un cierto depósito de sedimentos.

2. Para los suelos donde las aguas de extractos 1:16 mostraron una conductividad eléctrica comprendida entre 500 y 4000 $\mu S\ cm^{-1}$, los contenidos de iones de Ca^{2+} y SO_4^{2-} son los que dominaron la mineralización. Se trata de muestras de horizontes superficiales que contienen yeso con sales poco solubles. En superficie, el suelo está desprovisto de *Hilaria sp.* con raras cactáceas pero que presentan una cobertura relativa importante de *Sporobolus sp.* y o de *Suaeda sp.* Son suelos que pueden ser productivos en biomasa luego que los aportes en agua sean suficientes y se combinen con las capacidades de infiltración necesaria (sobre yeso eólico por ejemplo). Sin embargo, en playa alta, estos suelos se originan en zonas donde un fuerte escurrimiento laminar se asocia a costras estructurales y de erosión con capacidades de infiltración casi nulas, debido a la persistencia de un horizonte yesoso heredado bajo un horizonte superficial de muy baja solubilidad y de aportes. En este último caso los coeficientes de escurrimiento son frecuentemente superiores a 40% y una salinidad muy importante caracteriza los horizontes inferiores, a pesar de que no se observan acuíferos próximos a la superficie. Estos suelos evolucionan sobre todo por disolución lenta del yeso en dirección al tipo de

suelos descrito en el primer parrafo. Son el producto de la modificación lenta de estructuras heredadas.

3. Para los suelos donde las aguas son muy saladas, la mineralización por cloruro de sodio es netamente dominante[42]. Se trata de suelos de playa desprovistos de *Hilaria sp.* y de cactáceas, presentan una superficie significativa de costras de sal con fuertes contenidos de sodio, las conductividades del extracto 1:16 es superior a 4000 µS cm^{-1}. Los horizontes superficiales frecuentemente están húmedos, fuertemente afectados por la sal y eventualmente contienen una cierta proporción de yeso. Son los suelos menos productivos, situados en las cercanías de la sebkra bajo la influencia de un acuífero superficial salado.

La heterogeneidad espacial en las playas

Los tres tipos de funcionamiento hidro-salino tienen una repartición espacial que está lejos de ser homogénea, considerando las escalas espaciales en este estudio: el m^2, el mosaico vegetal [10-500 m^2], la playa [10-100 km^2] y el desierto [355x10^9 km^2], se llegó a las siguientes conclusiones por escala.

El metro cuadrado

Esta escala que representa la superficie más pequeña considerada en los estudios de playa, corresponde también a estudios detallados del suelo poco profundo. Los contrastes son generalmente superficiales dado el hecho que la selección de parcelas es basada en « aspectos homogéneos », la principal fuente de variabilidad en la superficie es la presencia o ausencia de matas de vegetación y/o la disposición de una o dos organizaciones superficiales particulares. La organización del medio seguido se reduce a la asociación de pequeñas matas en otras más grandes. La variabilidad es sin embargo particularmente reforzada en el caso de un trabajo del suelo donde un contraste muy fuerte aparece entre el bordo y el ínterbordo debido a las diferencias provocadas por el relieve y los aportes distintos de suelo con calidad diferente. En medio natural, la variabilidad de concentraciones salinas y de contenidos en agua es importante debido a los contrastes de una infiltración mucho más importante cerca de la mata y en las costras de decantación que las acompañan, definiendose un efecto « semilla o pepita » no despreciable para los contenidos de sodio y calcio del extracto, ocasionando una baja correlación aún para las muestras más próximas. El agua de escurrimiento que sale de una parcela sometida a una lluvia muy próxima del equilibrio con los principales minerales presentes en las reorganizaciones superficiales consideradas (calcita, yeso), si se acepta el comportamiento particular de sales muy solubles (halita en este caso) donde el extremo solubilidad bloquea el lavado lateral. En esta situación la simulación de lluvia, y a pesara de las bajas pendientes, el agua alcanza raramente una profundidad importante de suelo.

[42]Con excepción de la playa Santa Maria, que dispone de una mineralización carbonatada sódica debido a su posición en el interior de la Sierra Madre Occidental. Así como otros suelos de irrigación con facies sulfato sódicas (Loyer, Job , Gonzalez-Barrios, 1992)

Los mosaicos vegetales

Esta escala representa los medios considerados a través de transectos de estados de superficie, de los estudios de suelo poco profundos sobre parcelas de 100 m^2 con un mallado de 30 y de 100 cm, de los cortes de suelos entre 3 y 8 m de largo, de los estudios comparativos de simulación de lluvia. La organización espacial es muy frecuente y se traduce por los medios muy contrastados desde el punto de vista de todas las características estudiadas. La organización tiende a producir estructuras espaciales « periódicas » de tallas inferiores a los 50 m que en primer lugar permiten la concentración y la infiltración del agua de escurrimiento en ciertos puntos. Con un efecto positivo de retroalimentación (*feed back*), los « actores » de estas organizaciones están íntimamente ligados a los productos; por ejemplo, la instalación de la vegetación herbácea o arbustiva, la constitución en matas, la instalación de gradientes espaciales de contenidos salinos, la disolución de yeso y o de halita, los cambios de propiedades físicas e hidráulicas del suelo, la posición topográfica baja y la intervención de la fauna (roedores, ganado, etc.) son causas-efectos no apreciables que traducen esa organización espacial del medio. Una heterogeneidad espacial fuerte se observa a este nivel de escala donde dos medios muy distintos pueden estar en contacto, se trata del contraste entre un medio productor de escurrimiento (peladero) y un medio colector (con vegetación). Se notará que esta organización espacial es destruida por el trabajo del suelo que tiende a homogeneizar las condiciones de la infiltración, al final, cabe señalar que esa organización es muy difícil de imitar por fomentos o estructuras lineares de manejo en función de la pendiente debido a su carácter esencialmente radial.

Heterogeneidad en las playas

Las playas fueron estudiadas por transectos descriptivos y toma de muestras regularmente distribuidas, así como por la descripción de suelos. En las playas, diferentes fuentes de variabilidad se adicionan a las precedentes, pero la heterogeneidad es diferente según la tipología.

1. Para las playas yeso-halinas del tipo Mapimí, un gradiente general de salinidad es observado de lo alto de la playa en dirección a la sebkra sometida a un acuífero salado. En detalle, los suelos de esas playas, son el resultado de una pedogénesis que se traduce principalmente por la disolución de horizontes gipsicos originados en periodos pasados donde el paleo-acuífero afloraba en una gran parte de la unidad geomorfológica. La conservación, el hundimiento o la disolución de esos horizontes regula el flujo hídrico vertical y la posibilidad para las plantas de instalarse debido a las modificaciones de la salinidad. La proximidad, por lugares, con el nivel del acuífero salado (menos de 1 m) mantiene una salinidad elevada que impide que la vegetación se instale.

2. En las playas, ni yesosas, ni saladas, la sebkra es relativamente grande con relación a la playa y domina una homogeneidad más afirmada de contenidos, generalmente bajos en las aguas de superficie y los suelos. El acuífero es siempre profundo (más de 20 m), los procesos de depósitos parecen determinantes sobre el funcionamiento del suelo. La vegetación debe adaptarse a condiciones muy variables temporalmente: sumergimiento y sequía. Los fenómenos de contracción de vegetación raramente rebasan la escala vegetación de la mata y no son dependientes de gradientes de contenidos. La cobertura de la vegetación, paradoxalemente parece menos fuerte.

Heterogeneidad a la escala del Desierto Chihuahuense

Las playas del desierto Chihuahuense corresponden a la definición que da Warren y Cooke (1992), sin embargo, se puede apreciar un rasgo regional. Esta característica es el fruto del químismo, debido a la serie terciaria, del tectonismo y del clima. Si se debiera clasificar las diferentes playas según la secuencia definida por Bowler (1986) (Cap.1.§1.), se reportarían sin duda sobre los estados B al D definidos por ese autor como un producto de las diferentes condiciones climáticas que es posible de describir por el índice empleado. Sin embargo, la homogeneidad climática del desierto Chihuahuense parece impropia para caracterizar los estados de las playas del norte de México. Al contrario, después del estudio de la playa de la reserva de la biosfera de Mapimí, parece que el juego combinado de la subsidencia y del remplazamiento sedimentario en relación con el nivel del acuífero era un factor susceptible de modificar mucho la morfología de las playas y de explicar una parte importante de su diferenciación y de sus evoluciones a través de las captaciones de cuencas diferentes como lo muestran los numerosos paleo-exutorios posibles del cauce del Nazas. Otra hipótesis sería en relación con la importancia del acuífero tal como lo define Rosen (1994)en el contexto general de playa, sin embargo se puede objetar que una parte no despreciable de situaciones que él describe como primera causa del funcionamiento del contexto sedimento-tectónico de la playa. Por ejemplo, las playas no yesosas ni saladas de la parte norte serían fruto, sea de un marco geoquímico diferente (menos contenidos en sales de las rocas circundantes), sea de un equilibrio dinámico entre la alimentación del acuífero y sedimentación en favor del « hundimiento » del nivel piezométrico. Dos casos son discernibles.

1. En el caso de una subsidencia importante que produzca una fuerte sedimentación en el fondo de la cuenca, el espesor medio anual de los depósitos puede exceder el ascenso capilar del acuífero por la recarga anual actual en consecuencia el nivel piezométrico se profundiza desde el último periodo húmedo (~10 000 años). La subsidencia importante produce una sebkra muy extendida sin muchos pastizales debido a que las zonas planas están predispuestas a la inundación temporal, sin salinidad superficial. Los depósitos de fondo de cuenca son más bien limosos que arcillosos debido a las fuentes de erosión próximas (costado de la cuenca), la infiltración se ve favorecida, no hay o casi no hay diferenciación de los suelos debido al hundimiento rápido y los testigos del último episodio húmedo son enterrados.

2. En el caso de poca subsidencia (o localizada) de la cuenca endorreica que produzca un espesor de depósitos de fondo de cuenca despreciable en comparación al ascenso anual del nivel pizométrico debido a la recarga actual, el acuífero se mantiene cerca de la superficie de la sebkra a partir del último periodo húmedo produciéndose una salinidad superficial importante debido a que el nivel es sobre todo regulado por la evaporación próxima a la superficie. Esta evaporación trae como consecuencia depósitos eólicos de yeso, la formación de dalas o placas, de horizontes petrogípsicos heredados o actuales en el lecho de los horizontes testigos del último episodio húmedo que se encuentran todavía en las capas superficiales del suelo. Las fuentes de erosión próximas se ven desfavorecidas por la lejanía de las fuentes que permiten una dominancia arcillosa en los

depósitos de sebkra lo que muestra una tendencia a favorecer el funcionamiento superficial de la sebkra. Es posible imaginarse etapas intermediarias en los dos casos precedentes.

- Una playa construida con una subsidencia baja vería con una aceleración reciente de esta última, testigos de la época antigua enterrarse poco a poco bajo otros nuevos depósitos.
- Al contrario en el caso de una subsidencia importante que vería esta última disminuirse recientemente, el acuífero afloraría en el fondo de una sebkra sin playa alta.

Bajo esta perspectiva de reflexiones, parece necesario modificar un poco el concepto de Bowler (1986) desarrollado para las playas australianas, para afirmar que en el norte de México, es posible definir una secuencia, pero no tiene una significación climática temporal entre los estados, es solamente el producto de contextos tectónico-sedimentarios diferentes y por consecuencia su distribución queda ajustada en el marco geológico.

Debido a que los distintos autores no privilegian esta hipótesis de trabajo la comparación con otras playas de otros continentes es difícil. Cabe señalar que lo que es verdad a la escala del desierto Chihuahuense (un millar de kilómetros de distancia) donde el clima varía muy poco, no lo es a nivel del continente australiano o del sur de los estados unidos sobre distancias de varios millones de kilómetros, el cuadro climático es susceptible de variar considerablemente.
En el desierto Chihuahuense del norte de México el marco geoquímico de las playas es decididamente cloruro sódico y sulfatado cálcico, con raros puntos experimentales carbonatados sódicos y sulfatados sódicos en los márgenes de la Sierra Madre Occidental, lo que la deferencia muy claramente de las depresiones carbonatadas sódicas del Rift Africano y de las cuencas de México central sobre potentes series volcánicas. Si se obvian los aspectos particulares del clima en tendencias mediterráneas, varios *chots* y sebkras de Túnez o de Algeria presentan, a nuestro conocimiento, mucho más de afinidades con el cuadro del norte de México y más notablemente con las cercanías de una cadena de montañas.

Poblaciones animales

Si se considera la biodiversidad, el estudio de las poblaciones de roedores, de lagartijas y de los invertebrados acuáticos, ha demostrado que la playa es un ecosistema particular con un mínimo de especies y de densidades bajas, con relación a la bajada por ejemplo. Esta constatación no disminuye el interés de su estudio porque las diferencias en biodiversidad son mucho más bajas que lo que se suponía con anterioridad a este estudio. Si bien las densidades son más bajas, la interacción de la fauna con el medio parece mucho más pronunciada que en la bajada, sobre todo para los roedores debido a que esas poblaciones son un elemento decisivo den la construcción del relieve en asociación con el *Prosopis sp.* a nivel de montículos.

Algunas sugerencias de gestión

Las playas del norte de México constituyen un medio frágil que no está desprovisto de recursos. Presentan ciertas dificultades de manejo y de compromisos de gestión muy propias del medio. Las reglas de gestión que se les pueden aplicar deben ser particulares y apoyarse en un conocimiento real del medio.

Lo esencial de la cubierta vegetal es debido a la presencia de plantas perennes que son muy apreciadas por el ganado, a pesar de las bajas tasas de cobertura del orden del 25 %, son pastizales que pueden ser muy productivos en ciertas circunstancias. La dificultad de usos por el ganado de este recurso proviene esencialmente de la rareza de puntos de agua en las zonas de pastizal y de la ausencia de especies vegetales provisoras de sombra. Para remediar parcialmente una falta de puntos de agua para abrevadero, se puede intentar la creación de pequeños cuerpos de agua temporales construidos en esta zona geomorfológica. De hecho, en comparación con los pies de montes donde se instalan la mayor parte de los presones actuales, el escurrimiento es más importante en esas zonas, aún si se pone a discusión la influencia relativa de los estados de superficie y de su arreglo en el espacio. Existe una pequeña obra en la playa de la reserva de este tipo[43], desafortunadamente su diseño no permite asegurar más de tres meses de almacenamiento de agua (con 7.8 mm d^{-1} de evaporación). La dificultad mayor de la selección del sitio de instalación proviene de la debilidad de las pendientes naturales que seguido no permiten la delimitación precisa de una pequeña cuenca funcional cálcica, para reducir este inconveniente, es posible de determinar una cuenca de captación artificial por placas que guiarán el escurrimiento en dirección del bordo de contención del presón.

Las medidas de manejo del agua para los fomentos en pastizales, realizados para mejorar la producción forrajera de las playas son para la mayoría de los casos un fracaso debido a lo inadecuado de los métodos. En efecto, los manejos postulan que la pendiente sea lo suficientemente perceptible para que los trabajos permitan orientar el escurrimiento hacia los sitios deseados, contrario a lo que en el medio natural se puede observar, salvo para distancias que sobrepasan la talla del tipo de fomento. Los autores recomiendan que las obras de manejo de agua en zonas de pastizal sean construidas sin depender del medio natural cuando la pendiente sea imperceptible. Solo los ensayos de campo pueden demostrar la eficiencia de soluciones propuestas en este documento y dentro de la bibliografía especializada que recientemente se está generando en la captación de agua de lluvia en zonas áridas y semiáridas.

En las playas, son posibles cultivos oportunistas, sea que se aproveche del remplazamiento episódico de la sebkra o de un presón de colina (termino usado en África del norte para designar a un presón) previsto para un doble uso. Sin embargo, las incidencias actuales de los cultivos y de los manejos es de más de 30 años, una programación más estricta de esos ensayos debe ser definida, sobre todo en los marcos de zonas protegidas como la reserva de la biosfera de Mapimí.

Si la explotación es posible a medio plazo, como en el caso donde los recursos en agua subterránea y de superficie estén disponibles como en el sector de irrigación de la Laguna Mayrán, precauciones particulares de explotaciones deben ser consideradas para evitar una salinización y una sodificación de los horizontes útiles, los cuales sin embargo parecen rehabilitables parcialmente a largos periodos.

El conjunto de autores espera haber contribuido para afinar los conocimientos con el propósito de que se puedan aplicar en la definición de reglas de gestión de estos ecosistemas suficientemente frágiles, « desheredados » y « enriquecidos », las playas del desierto Chihuahuense en el norte de México.

[43] *Los Tildillos*

Bibliografía general

Alba de A., A. 1983. Comparative Germination Ecology of *Sporobolus airoides* and *Hilaria mutica* from Mapimi Biosphere Reserve and other Mexican and United States locations. Thesis of Master degree. Univ. of Arizona. 96 p.

A.I.E.A., 1992. *Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes in Precipitation.* Technical reports series n°= 331 International Atomic Energy Agency, Vienna. pp 528-531.

Alba Villa de A., 1980. Productividad del Nopal inerme (*Opuntia ficus-indica*) bajo condiciones naturales en el Bolsón de Mapimí. Establecimiento de experimentos, pp. 191-195. INIF, Primera reunión nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las plantas útiles del desierto. Monterrey, N.L. 27-31 de enero de 1980.

Alberteau, K. 1991. Exemple de reconquête naturelle: vieilles cultures et aménagement hydropastoral de la réserve de la biopshère de Mapimí, Nord Mexique. Mémoire de fin d'étude ISTOM, 32 bld du Port, 95094 Cergy-Pontoise, France. 95 p.

Allison, L. E., L. Bernstein, C.A. Bower, J.W. Brown, M. Fireman , J.T. Hatcher, H.E. Hayward, G.A Pearson, J.T. Reeve, L.A. Richards, L.V. Wilcox, 1982. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos, Limusa, México, p171.

Akiti, T.T. 1980. Etude géochimique et isotopique de quelques aquifères du Ghana. Gneiss de la plaine d'Accra; calcaires de la plaine du Sud-Est de la Volta; granites de l'haute région. Thèse Doct. Ing. Univ Paris-Sud, Orsay 232p.

Armitage, F.B. 1986. Forestrie irriguée en pays arides et semi-arides : une sinthèse. CRDI, C.P. 8500, Ottawa, KIG 3H9, Canada.

Asseline, J. 1992. Comparaison des données pluviomètriques obtenues a l'aide de deux types de pluviomètres. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp127-130.

Ballivian, O., F. Risacher, 1976. Los salares del altiplano Boliviano. rapport d'étude de l'ORSTOM. 239 p.

Barbault, R., C. Grenot, 1977. Richesse specifique et organization spatiale du peuplement de lizards du Bolson de Mapimí (Desert de Chihuahua, Mexique). C.R. *Acad. Sci. Fr*., 284: 2281-2283.

Barbault, R., M.E. Maury, 1981. Ecological Organization of a Chihuahuan Desert Lizard Community. *Oecologia*, 51: 335-342.

Barbault, R., C. Grenot, Z. Uribe, 1978. Le partage des resources alimentaires entre les espeses de lézards du désert de Mapimí (Mexique). *La Terre et la Vie*, 32: 135-150.

Barral, H. 1988. El hombre y su impacto en los ecosistemas a través del ganado. In Montaña C. (Ed.), *Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la Reserva de la biosféra de Mapimí*. Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex.. pp 241-268.

Barral, H. 1991. Bolsón de Mapimí, ayer y hoy, Revista TRACE n°19, pp 53-58. CEMCA. México.

Barral, H., L. Hernandez, 1992. Reseña del poblamiento y de la ganadería en el Bolsón de Mapimí. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí "Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gomez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp 14-23.

Bartolino, J.R. 1988. Cenozoic geology of the eastern half of the la Flor quadrangle, Durango and Chihuahua, Mexico. In Montaña C. (Ed.), *Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la Reserva de la biosfera de Mapimí*. Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex. Pp 77-97.

Beardsley, T. 1992. *Desert Dynamics*. *Scientific American, 3: 18-19.*

Besnard, G. 1992. Ecofiologia de las principales especies de interes forrajero. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp 247-256.

Bowler, J.M. 1986. Spatial variability and hydrologic evolution of Australian lake basins: Analogue for Pleistocene hydrologic change and evaporite production. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 54: 21-42.

Braitsch, O. 1971. Salt deposits: their origin and composition. Springer-Verlag, Berlin. 297 p.

Bradeau, E. 1987. *Mesure automatique de la rétraction d'échantillons de sol non remaniés. Science du sol, 25 (2) : 85-93, 1 tabl., 4 fig., 11 réf..*

Breimer, R.F. 1988. Physiographic soil survey. In Montaña C. (Ed.), *Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la Reserva de la biosfera de Mapimí*. Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex. pp 115-134.

Brouste, L. 1993. Etude géochimique et isotopique de la réserve de la Biosphère de Mapimí, Nord Mexique. DEA National d'hydrologie. Univ. Paris-Sud, Orsay. 145p.

Brown, J. H., E.J. Heske, 1990. Control of a desert-grassland transition by a keystone rodent. guild. *Science 250:1705-1707.*

Bruand, A. 1986. *Contribution à l'étude de la dynamique de l'espace poral, utilisation des courbes de retrait et des courbes de rétention d'eau. Science du sol, 24 (4) : 351-362, 7 fig., 29 réf.*

Casenave, A., C. Valentin, 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Collection Didactiques de l'Orstom, 70 rte d'Aulnay, 93143 Bondy Cédex, France. 230 p.

Casenave, A., C. Valentin, 1992. A runoff capability clasification system based on surfaces features criteria in semi-arid areas of West Africa. *Journal of Hydrology*, 130: 231-249. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

Cavazos Doria, J.F., A. Arredondo, 1980. Características ecológicas, distribución y utilización actual y potencial de *Yucca sp,* en San Luis Potosi, pp. 121-124. INIF, Primera reunión nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las plantas útiles del -desierto. Monterrey, N.L. 27-31 de enero de 1980.

Chaulot-Talmon, J.F**.** 1984. Etude géologique et struturale des ignimbrites du Tertiaire de la sierra madre occidentale, entre Hermosillo et Chihuahua (Mexique). Thèse de doct. ès Sci, Univ. Paris Sud Orsay. pp 1-30.

Chaib, M. 1989. Influence des reserves hydriques du sol sur le comportement compare de quelques espèces végétales de la zone aride Tunisienne. Thèse de Doctorat de l'USTL, Montpellier. 293 p.

Cheverry, C. 1974. Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en mileu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques. Thèse de Doctorat de Univ. Louis Pasteur. Orstom, Paris. 275 p.

CPCS, CFS, Clasificación Francesa de Suelos, 1990. MCP, Montecillos, México. 141 p.

Collinet, J., C. Valentin, 1979 . Analyse de diffrent facteurs intervenants sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Aplications agronomiques. Cah. Orstom, ser. Pedol. XVII, 4, pp 283-328.

Collinet, J. 1988. Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'ouest . Evolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluies. Thèse de Doct. Univ. L. Pasteur, strasbourg (spéc. Géologie-Pédologie), 1 Vol. 513p, 107p d'annexes.

Cooke, R., A. Warren, A. Goudie, 1993. Base-Level Plains : playas and sebkras. *In Desert geomorphology*. University Collage, London . pp 202-219.

Coudé-Gaussen, G. 1991. Les poussières Sahariennes.- J. Libbey Eurotext - Aupelf/Uref, Coll. Sciences en marche, Paris, 485 p.

Cornet, A. 1988. Principales caractéristiques climatiques. Dans *Estudio integrado de los recuersos vegetacion, suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí.* Instituto de Ecologia A.C. Mexico D.F, 1988. Carlos Montana Editor. pp 45-76.

Cornet, A. 1992. Principales caract´ristiques climatiques. *in* Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilisación racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp 57-294.

Craig, H. 1961. Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen 18. *Natural Wateurs Science,* 133: 1833-1934.

Cuny, H. 1961. Les deserts dans le monde.Payot. Paris. 293 p.

Delhoume, J.P., C. Montaña, A. Cornet, 1988. Vegetation patterns and soils in the Mapimí Bolson-Chihuahuan desert , Mexico. Part II Polygonal patterns. proceedings of the Second Symposium on ressources of the Chihuahuan Desert Region. United States and Mexico, Février 1988, Chihuahuan Desert Rechearch Institute, Alpine , Texas.

Delhoume, J.P. 1988. Distribution des sols le long d'une toposequence représentative. In Montaña C. (Ed.), *Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la Reserva de la biosfera de Mapimí*. Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex.. pp 135-165.

Delhoume, J.P. 1991. *Una zona árida del norte de México, limitaciones para el desarrollo de la ganadería extensiva*, Revista TRACE n°19, pp 60-67. CEMCA. México.

Delhoume, J.P., M.E. Maury, 1992. Actas del seminario de Mapimí. Instituto de Ecologia A.C., A.P. 63, 91000 XALAPA, Ver, México. 396 p.

Delhoume, J.P. 1992a. Le milieu physique. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp 53-56.

Delhoume, J.P. 1992b. Fonctionnement et dynamique de deux écosystèmes caractéritiques. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp 177-200.

Delhoume, J.P. 1992c. Etude priliminaire de la variabilité spatiale du stock d'eau du sol dans l'optique de la détermination du bilan hydrique parcellaire. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganderia extensiva de bovinos*. Gomez-Palacio, Durango, Mexico, 23- 29 Octobre 1989. pp131-142.

Delhoume, J.P. 1992d. Caractérisation du paramêtre pluie : distribution dans le temps et dans l'espace. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp111-126.

Delhoume, J.P. 1995. Fonctionnement hydropédologique d'une toposéquence de sols en milieu aride (Reserve de la biosphère de Mapimí, Nord Mexique.). Thèse de Doctorat de l'université de Poitiers. 293 p.

Delhoume, J.P. 1997. Fonctionnement hydro-pedologique d'une toposéquence de sols en milieu aride. Réserve de la biosphère de Mapimi., Nord-Mexique. Thèses et Documents microfiches. IRD-Editions. 295 p.

Demolon, A. 1960. Principes d'Agronomie, 5è édition, nouveau tirage: T1 La dynamique du sol. Formation et évolution des sols: pédogenèse et classification génétique des sols; Le milieu physique: les colloïdes minéraux du sol, humiques, analyse mécanique du sol; Le milieu chimique; Le milieu biologique, Paris, 1960. 520 p.

Desconnets, J. C. 1992. Analyse des comportements hydriques de trios parcelles experimentales implentées en zone basse d'un bassin endoréïnque. Zone aridedu nord du Mexique (réserve de la biosphere de Mapimi). Memoire du DEA, Sciences de l'Eau, Université Montpellier II, France. 65 p.

Demangeot, J. 1981. Les milieux naturels désertiques. SEDES, 88 Bld. Saint-Germain, 75005 Paris, France.

Descroix, L., J. Estrada, C. Bouvier, 1994. "Hidrometría", chap. in "Estudio de los factores que influencian los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36"; projet ORSTOM-Cenid Raspa, Gomez Palacio, 1994.

Dixon, J.R. 1967. Aspects of the biology of the lizards of the white sands, New Mexico. Contribution in Science. *Los Angeles Country Museum*, 129: 1-22.

Drake, N. A., R.G. Bryant, 1994. Monitoring the flooding ratio of tunisian playas using advanced very high resolution radiometer (AVHRR) imagery. In Millington A. C. , Ken Pye (Eds.). *Environmental change in drylands*. J. Willey and Sons, Chichester. R.Uni. pp347-364.

Droubi, A. 1976. Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. Mémoire nº 46 Université Louis Pasteur, Institut de Géologie. Strasbourg, France. 177 p

Eaton, F.M. 1950. Signifiance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.*, 69, p 123-133

Eghbal, M.K., R.J. Southard, L.D. Whittig, 1989. Dynamics of evaporite distribution in soils on a fan -playa transect in the carrizo plain, California. *Soil Sci. Soc. Am.*, 53, pp898-903.

EROS DATA CENTER, 1992: Scène satellitaire Landsat MSS, mai 1992;

Eugster, H. P., L.A. Hardie, 1978. Saline Lakes, In A. Lerman (Ed.), *Lakes chemistry, geology and physics*, 2 edition, N. Y. pp 237-276.

Evenari, M. 1985. The desert environnement. In Evenari M., Noy Meir E., Goodall D.W. (Eds.), *Ecosystems of the world 12A: Hot deserts and arid shrublands, A*, Elsevier Sci. Publishers, Amsterdam. pp1-19.

Ewing, K, J.P. Dobrowolski, 1992. Dynamics of shrub die-off in a salt desert plant community. *Journal Range Management*, (45):194-199.

Escurra, E., C. Montaña, 1988. La evolucíon del uso de los recursos naturales renovables en el norte arido de Mexico. In Montaña C. (Ed.), *Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la Reserva de la biosfera de Mapimí*. Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex.. pp 269-290.

F.A.O., 1976. Mapa Mundial de Suelos, 1: 5 000 000. París, Francia. 60 p.

F.A.O., 1981. Mapa Mundial de Suelos, 1: 5 000 000. París, Francia. 75 p.

F.A.O., 1994. Sistema FAO de clasificación de suelos. París, Francia. 110 p.

Felker, P., G.H. Cannell, J. Osborn, 1983. Effects of irrigation on biomass production of 32 *Prosopis* (mezquite) accessions. *Experimental Agriculture*, 19(2), 187-198.

Ferner, J.W. 1974. Home-Range Size and Overlap in Sceloporus undulates erythrocheilus (Reptilia: Iguanidae). *Copeia*, 2: 332-337.

Flores Salgado, C. 1980. Maguey forrajero : planta con grand potencialidad para las zonas áridas y semiáridas del Norte de México, pp. 412-415. INIF, Primera reunión nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las plantas útiles del desierto. Monterrey, N.L. 27-31 de enero de 1980.

Fontes, J.Ch. 1971. Un ensemble destiné à la mesure de l'activité du radiocarbone naturel par scintillation liquide. Revue de Géographie physique et Géologie Dynamique (2) vol XIII Fasc.1, 67 - 86.

Fontes, J.Ch. 1976. Isotope du milieu et cycle des eaux naturelles : quelques aspects. Thèse Doc. Ec. Sc. Univ. Paris VI. 208 p.

Fontes, J.Ch. 1978. Hydrologie, un champ privilégié de l'application des isotopes du milieu : l'âge des eaux souterraines. IHES Symposium, Montpellier, Mém hors série C.E.R.G.H, U.S.T.L. pp 589-590.

Fontes, J.Ch. 1983. Grounwater dating In Guide Book of Isotope Hydrology. Techn. Rep. Ser., N°= 91 A.I.E.A. pp. 285-317.

Fontes, J.Ch. 1985. Some considerations on groundwater dating using environmental isotop. In Proc. IAH 18th. Congress Hydrology in the Service of the man, vol 1, IAH, Cambridge. Pp. 118-156.

Fontes, J.Ch., J.M. Garnier, 1979. Determination of the initial ^{14}C activity of the total dissolved carbon : a review of the existing models and a new approach. *Water Resour. Res*. 15 (2): 399-410.

Fristz B., M.P. Zins Paulas, M. Gueddari, 1987. Geochemistry of silica-rich brines from lake Natron (Tanzania),. In Fritz B. (Ed.) . *Lac Natron, (géologie, géochimie et paleantologie d'un bassin évaporitique du rift est -Africain.) Sci. Géol. Bull.* (40): 84-97.

Gadsden-Esparza, H., G. Aguirre-León, 1993. Historia de vida comparada de una población de *Sceloporus undulatus* (Sauria : Iguanidae) del Bolsón de mapimí. *Bol. Soc. Herpetol. Mex*., 5: 21-41.

García-Arévalo, A. 2002. Vascular Plants of the Mapimí Biosphere Reserve, México: *A Checklist. Sida* 20(2) : 797-807.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Instituto de geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 2a. edic. 246 p.

Glinka, K.D. 1963. Treatise on soil science (translated from the Russian). Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. 125 p.

Gonfiantini, R. 1972. Notes on isotope hydology, internal publication, IAEA, Vienna.

González-Barrios, J. L. 1986. Estudio de la repartición de la salinidad en una zona baja (playa) de una cuenca endorreica, en el desierto de Chihuahua. *Tesis profesional. Universidad autonoma de Nuevo Leon, Facultad de ciencias biologicas. Monterrey, N.L.*

González-Barrios, J.L. 1992. Características de la salinidad edáfica en la parte baja de una cuenca endorreica. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp201-220.

González-Barrios, J.L. 1994. Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride Mexicaine : Exemple dans la "*Comarca Lagunera*". Orstom TDM 117 Paris 321 p

González-Barrios, J.L., J.Y. LOYER, 1995. Availability and Quality of Irrigation Waters in Arid "Lagunas" of Northern Mexico. In : Transactions of the International Symposium on Salt-Affected Lagoon Ecosystems. Valencia Spain

Gould, F.W., R.B. Shaw, 1992: Gramineas, clasificación sistematica. Traducción A. Cuevas Rios. AGT editor: Calle Progreso 202, Pla. Alta, C.P. 11800 México, D.F..

Grenot, C., R. Barbault, M.E. Maury, 1978. Contribution a la connaissance de l'herpetocenose du Bolsón de Mapimí (Désert de Chihuahua, Mexique). *C.R. Soc. Biogeogr.*, 476: 67-84.

Grenot, C., V. Serrano, 1982. *Distribution spatiale et structure des communautés de petits vertébrés du désert de Chihuahua. C. R. Soc. Biogéogr. 58(4):159-191.*

Grünberger, O., J.L. Janeau, 1991. Programme sols salés de la Playa (Réserve de la Biosphère de Mapimi). Rapport d'activité, ORSTOM, Durango (Mexique). 20 p.

Grünberger, O., C. Liot, J.L. Janeau, 1993. Las salinas de Carillo y el clima Chihuahuense, eficiencia de dos sistemas de producción de sal continental. XIIth International congress of anthropological and social sciences, Mexico August 1993. Symposium. Weather : perception, forecast, manipulation.

Hachicha M., G. Stoops, A. M'Hiri, 1987. Aspects micromorphologiques de l'évolution des sols de lunettes argileuses en Tunisie. Micromorphologie des sols, edited by Fedoroff, Bresson and Courty. Association Française pour l'étude des sols. *VIIth International Working Meeting on Soil Micromorphology. Paris - July 1985.*

Hammer, U.T. 1986. Saline lake ecosystems of the world. In Dumont E. (Ed.). Dr Junk W. publishers, Hollande, *Monographiae Biologicae*, 59**:** 1-91.

Halffter, G. 1988. El concepto de la Reserva de la Biosfera. In Montaña C. (Ed.), *Estudio integrado de los recursos vegetacion, suelo, y agua en la Reserva de la biosféra de Mapimí*. Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex. pp 19-44.

Halffter, G. 1992. Papel de la reserva de Mapimí en el desarrollo de la ganaderia en el norte de Mexico. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimi " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetacion en una zona arida del norte de Mexico orientado a la utilisación racional de estos recursos para la ganderia extensiva de bovinos*. Gomez-Palacio, Durango, Mexico, 23- 29 Octobre 1989. pp14-23.

Halitim, A., M. Robert, 1987. Interactions du gypse avec les autres constituants du sol. Analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentales. *In Micromorphologie des sols*, édité par Fédoroff, Bresson, Courty. Actes de la VIIº Réunion Internationale de Micromorphologie des sols, Paris - Juillet 1985.

Harvey, A. M., S.G. Wells, 1994. Late pleistocene and holocene changes in Hillslope sédiment supply to alluvial fan systems: Zzyzx, California. In Millington A. C. , Ken Pye (Eds.). *Environmental change in drylands*. J. Willey and Sons, Chichester. R.Unis. pp. 66-84.

Harvie, C.E., N. Noller, J.E. Waere, 1984. The prediction of mineral waters: The Na-K-Mg-Cl-SO4-OH-HCO3-CO2-H2O System to High Ionic Strnghts at 25°C. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48: 723-751.

Hayne, D. W. 1949. The methods of estimating populations forn trapping records. *J. Mammal*, 30: 399-411.

Hermman, A. G., H. Peters, 1973. Geochemistry of modern seawater and brines from salt pans: main component and bromine distribution. *Contr. Mineral and Petrol.* 40:1-24.

Hernández L., M. Delibes, 1994. *Seasonal food habits of coyotes, Canis latrans, in the Bolsón de Mapimí*. *Sauquetierkunde,* 59 : 82-86.

Heine K., 1987. Anthropogenic sedimentological changes during the holocene in Mexico and central America . In Starkel L.(Ed.). *Anthropogenic sedimentological changes during the Holocene*, *STRIAE*, 26: 51-63.

Herrero Isern, J. 1991. Morfología y génesis de suelos sobre yesos. INIA, Madrid, 447 p.

Hill, J.B. Jr. 1974. Temperature variability and synoptic cold fronts in the winter climate of Mexico. McGill University, Depto. Of Geography. *Climatological Research Series*, (in Schmidt, 1983).

Howland, J.M. 1992. Life History of *Cophosaurus texanus* (Sauria: Iguanidae). Enviromental Correlates and Interpopulation Variaion. *Copeia* 1: 82-93.

Hubac, C. 1990. Stratégies des plantes en milieu salé ou semi-aride. *Bul. de la société d'écophysiologie*, (15)-1, 23-36.

Huelen, F. 1992. Presqu'ile de Guérande, fleur de sel mensuel Thallassa (60): 34-42.

Hulse, A.C. 1985. Home range size in Holbrookia maculata (Iguanidae) from southeastern Arizona. Southwest. *Nat*., 30: 608-610.

Hurlbert, S.H. 1978. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology*, 59: 67-77.

Ingerson E., F.J. Jr. Pearson, 1964. Estimation of age and rate of motion of groundwater by the ^{14}C-method. *Recent Researches in the Fields of Hydrosphere, Atmosphere and Nuclear Geochemistry*, Maruzen, Tokyo. 217 p.

INEGI: cartas topograficas 1:50000 y 1:25000 del Desierto de Chiuhuahua.

INIF, 1980. Primera reunión nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las plantas útiles del desierto. Monterrey, N.L. 27-31 de enero de 1980.

Janeau J.L., R.R. Esparza-Villareal, 1992. Cartographie des états de surface d'une toposéquence représentative du bassin versant de San Ignacio. Delhoume J.P.(1992). Le milieu physique. In Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona arida del norte de México orientado a la*

utilización racional de estos recursos para la ganderia extensiva de bovinos. Gomez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp161-176.

Jasso, CH. C. 1985. Influencia de algunos sistemas de labranza en las propiedades físicas del suelo, producción de materia seca y extracción de nitrógeno en sorgo bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 145 p.

Johnson, K.S. 1981. Dissolution of salt on the east flank of the permian basin in the southwestern U.S.A. *J. of Hydrology*, 54**:** 75-93.

Jones, S.M., R.E. Ballinger, 1987. Comparative life histories of Holbrookiamaculata and Sceloporus undulates in WesternNebraska. *Ecology*, 68: 1828-1838.

Junge, C.E. 1963. Air Chemistry and Radioactivity, Academic Press, New York. 55 p.

Katz A., N. Kolodny, 1988. Hypsersaline brine diagenesis and evolution in the dead sea- Lake Lisan system (Israel). *Geoch. Cosmoch. Acta* 53: 59-67.

Kaus, A. 1993. Social realities of environmental ideologies: A case study of the Mapimí biosphere Reserve. *Culture and Agriculture*, 45,46 : 29-34.

Koeppen, W. 1948. Climatología. Fondo de Cultura Ecónomica. México, D.F., 478 p.

Krebs, CH. J. 1989. Ecological Methodology. Harper & Row, Publishers, University of British Columbia, New York.

Krumhansl, J. L., C.L. Stein, 1988. A model for the evolution of brines in salt from the lower Salado Formation , southeastern New Mexico. *Geoch. Cosmoch. Acta*. (52): 1037-1046.

Lamb, H.F., C.A Duigan, J.H.R. Gee, K. Kelts, G. Lister, R.W. Maxted, A. Merzouk, F. Niessen, M.Tahri, R.J. Wittington, E. Zeroual, 1994. Lacustrine sedimentation in a high-altitude, semi arid environement: the paleoecological record of the lake Isli, High Atlas, Marocco. In Millington A. C. , Ken Pye (Eds.). *Environmental change in drylands*. J. Willey and Sons, Chichester. R.Uni. pp147-162.

Le Bissonnais, Y. 1988. Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse de doctorat, INRA, centre de recherches d'Orléans-Ardon, 45160 Olivet, France.

Le Bissonnais, Y., A. Bruand, M. Jamagne, 1989. Laboratory experimental study of soil crusting: relation between aggregate breakdown mechanisms and crusts structure. *Catena*, 16: 377-392.

Lefond, S. J. 1969. Handbook of world salt resources. Mexico Plenum Press. N.Y. pp. 123-136.

Lepran, J.C., 1989. Ecologie comparée de deux régions semi-arides: Le nordeste du Bresil et le Sahel Africain, in: Actas del Seminario de Mapimí. IRD-INECOL, Xalapa, Ver. México. pp 285-284.

Le Souder, C. 1990. Effet d'un conditionneur minéral sur la formation des croûtes superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de doctorat, INA-PG, France.

Levins, R. 1968. Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Liot, C. 1992. Etude du fonctionement et des contraintes de production de salines continentales dans la réserve de la biosphère de Mapimi. Nord Mexique Mémoire de fin d'études ISTOM (Institut Supérieur Technique d'Outre Mer), Cergy Pontoise, France. 90 p.

Lozet, J., C. Mathieu, 1990. Dictionnaire de Science du sol. Technique et Documentation, coll. Lavoisier, Paris. 384 p.

Loyer, J. Y. 1991. Classification des sols salés : les sols salic. *Cah. ORSTOM, sér. Pédologie,* vol XXVI, 1 : 51-61.

Loyer, J.Y., J. Estrada-Avalos, R. Jasso-Ibarra, L. Moreno-Diaz, (1993) Estudio de los factores que influencian los escurrimientos y el uso del agua en la región hidrológica 36. INFIFAP-CENID RASPA, Gómez-Palacio, Mex., 367 p.

Luna Jurado, R. 1991. Comparación, notas y comentarios preliminares a la iniciativa de reforma al articulo 27 constitucional. Folleto de la Universidad Autónoma de Cuidad Juárez.16p. Nov. 1991.

Lyons, W. B., H. E. Gaudette, 1985. Trace metal concentrations in sediments from the Gavish Sabkha. In Friedman G.M., Krumbein W.E. (Eds.) *Hypersaline ecosystems*, Springer Verlag, Berlin, (53): 346-349.

Mac Intyre, D.S. 1958. Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impacts. *Soil Science* (85): 261-266.

Macpherson, J.V., P.R. Unwin, 1995. Recent advances in kinetic probes of the dissolution of ionic crystals. *Prog. reaction Kinetics*, 20: 185-244.

Mac Mahon, J. A. 1976. Species and guild similarity of North American desert mammal faunas: a functional analysis of communities, *In*: *Evolution of desert biota (Ed. DW. Goodall). University of Texas Press, Austin.* pp. 134-148

Maglione, G. 1976. *Géochimie des évaporites et silicates néoformés en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires du Tchad* - Afrique. ORSTOM, Travaux et Documents, Paris. 319 p.

Maury, M.E., R. Barbault, 1981. The spatial organization of the lizard community of the Bolsón de Mapimí (Mexico). in: Barbault, R. y G. Halffter /eds.). *Ecology of the Chihuahuan Desert: Oranization of some vertebrate communities*. Publ. Instituto de Ecologia, México.

Mauchamp, A., 1992. L'hétérogénéité spatiale sa dynamique et ses implications dans une mosaique de végétation en zone aride. Thèse de Doctorat de l'Univ. Montpellier II. 46 p.

Mauchamp, A., J.L. Janeau, 1993. Water funnelling by the crown of Flourensia cernua, a Chihuahuan desert shrub. *Journal of arid environment*, 25: 299-306.

Metcalfe S.E., F.A. Street Perrott, S.L. O'Hara, P.E. Hales, R.A. Perrot, 1994. The paleolimnological record of environmental change : Examples from the arid frontier of mesoamerica. In Millington A. C. , Ken Pye (Eds.). *Environmental change in drylands*. J. Willey and Sons, Chichester. R.Uni. pp131-146.

Meybeck, M. 1984. Variabilité géographique de la composition chimique naturelle des eaux courantes. *Verh. Int. Verein. Limnol*., 22: 1766-1774.

Millington A.C., K. Pye, 1994. Biogegraphical and geomorphological perspectives on environmental change in drylands. Pp. 427-441 *in Environmental change in drylands*. Edited by Millington and Pye, Geography department, University of Leicester, University road, Leicester LE1 7RH, UK.

Montaña, C. 1988. Las formationes vegetales, *In: Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí*. Montaña C. (Ed.), Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex.. pp167-223.

Montaña, C. 1990. A floristic-structural gradient related to land forms in the southern Chihuahuan Desert. *Journal of Vegetation Science* 1: 669-674.

Montaña, C., R.F. Breimer, 1988. Major vegetation and environement units, *In: Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí*. Montaña C. (Ed.), Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex.. pp 99-114.

Montaña, C., B. Cavagnaro, O. Briones, 1995. Soil water use by co-existing shrubs and grasses in the southern Chihuahuan desert, Mexico. *Journal of Arid environnements*, 31: 1-13.

Montaña, C., E. Ezequiel, A. Carrillo, J.P. Delhoume, 1988. The decomposition of litter in grasslands of northen Mexico: a comparison between arid and non arid environements. *Journal of Arid Environments*, 14: 55-60.

Montaña, C., P. Greig-Smith, 1990. Correspondence analysis by environmental variable matrices. *Journal of vegetation Science*, 1: 789-798.

Monúfar-López, A. 1987. Estudio polínico de la alta babícora Chihuahua. Cuaderno de trabajo del Instituto Nacional de Antropología, D.F., Mex. (38), 46 p.

Monúfar-López, A. 1987. Estudio polínico y etnobotánico de una área dentro el bolsón de Mapimí. Cuaderno de trabajo del Instituto Nacional de Antropología, D.F., Mex. (37), 53 p.

Mook, W.G. 1976. The dissolution-exchange model for dating groundwater with ^{14}C. Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical Data in Groundwater Hydrology (Proc. Panel Vienna, 1975), IAEA, Vienna. 213 p.

Mücher, H.J., J. De Ploey, 1977. Experimental and micromorphological investigation of erosion and redeposition of loess by water. *Earth Surface Processes*, (2): 117-124.

Murray, W.B. 1993. Perceptiones de aridez en una communidad del noreste Mexicano: un modelo interdisciplinario. Présentation au XIIIº *Congrès International des sciences anthropologiques et ethnologiques*, Mexico, Mex., 29-5 agosto 1993. pp 19.

Nuñez De Esquibel, M. 1787. Carta de la depresión endorreica de la Laguna de Mayrán, Parras, 1787.

Orona, I., D. Gallard, 1994. Organización y manejo del agua en la parte media de la cuenca del Aguanaval, Proyecto ORSTOM-Cenid Raspa, 1994, Gómez Palacio;

Páez Pérez, N. 1994. Estudio de las relaciones de suelos salinos y estados de superficie del bolsón de Mapimí en comparación con la playa de la reserva de Mapimí. Tesis de licenciatura de la Universidad de Durango, Escuela de Ciencias Forestales. 123 p.

Peitgen, H.-O., P.H. Richter, D. Saupe, 1992. Chaos and Fractals : New Frontiers in Science. Springer-Verlag, New York, 971 p.

Pret, D. 1982. Calcul d'équilibres géochimiques par minimisation d'énergie libre. Thèse de Doc. Ing. de l'ENSA de Rennes. 112 p.

Perrodon, A. 1972. Mécanisme de formation des bassins et dépôts salins. Géologie des dépots salins acte du colloque de Hanovre (1968), *Sciences de la Terre*, UNESCO. Pp. 13-18..

Pessarakli, M. 1991. Formation of saline and sodic soils and their reclamation. Journal of environmental science and health. pp 1303-1320. part. A. environmental science and engineering. Univ. of Arizona, dep. Soil Water Sci., Tucson, AZ 85721, USA.

Peterson, J.A. 1985. Petroleum geology and resources of northeastern Mexico. U.S. Geological Survey Circular, 943, 30 p. (*in* Bartolino, 1988)

Plaut Z., E. Bachmann, J.J. Oertli, 1991. The effect of salinity on light and dark CO2-fixation of salt-adapted and inadapted cell cultures of Atriplex and Tomato. *Journal of experimental botany*, (42)-237: 531-535.

Plummer, L.N., D.L. Parkhust, G.W. Fleming, S.A. Dunkle, 1988. A computer program incorporating pitzer's equations for calculation of geochemical reactions in brines. *Water resources Investigations Report* 88-4153. US. Geological Survey. 307 p.

Plummer, L.N., A.H. Trusdell, B.F. Jones, 1976. WateqF, a Fortran IV version of Wateq, a computer program for calculating chemical equilibrium of naturel waters. U.S. Geol. Surv. report, (13), 61p.

Pontier, G. 1992. L'environement en Afrique. Afrique contemporaine, *in*: Gaud M. (Eds.) *La documentation Francaise*, Paris, (161), 293 p.

Pouyaud, B. 1986. Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libre en climat tropical sec. Exemple du lac de Bam et de la mare d'Oursi (Burkina Faso), du lac Tchad et d'acudes du nordeste brésilien. Collection "*Etudes et Thèses*", éds de l'ORSTOM. 253 p.

Reyes Gómez, V.M. 1995. Caracterización hidrodinámica de algunos suelos del norte árido de México ". *Terra. Soc. Mex. de la Ciencia del Suelo*. 13(2) : 87-97.

Reyes Gómez, V.M., O. Grünberger, J.L. Janeau. 1996. Hidrodinámica en el suelo de un pastizal en una zona árida del norte de México. *Terra. Soc. Mex. de la Ciencia del Suelo*. 14(2) : 129-136.

Reyes Gómez, V.M. 1998. Comportamiento químico e hidrodinámico con simulación de lluvia en suelos salinos de la reserva de Mapimí. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados de Montecillo. México, 120 p.

Raup, O. B. 1970. Brine mixting : an additional mechanism for formation of basin evaporites. *Am. Ass. Petrol. Geol.* (54): 2246-2259.

Rengasamy, P., K.A. Olsson, 1991. Sodicity and soil structure. *Aust. J. Soil. Res.*, 29: 935-952.

Reid, D.A., R.C. Graham, R.J. Southard, C. Amrhein 1993. Slickspot soil genesis in the Carrizo Plain, California. *Soil Sci. Soc. Am.* , 57: 162-168.

Rietveld, J.J. 1978. Soil non weattability and its relevance as a contribuiting factor to surface runoff on sandy dune soils in Mali. Production primaire au Sahel, Wageningen. Multigrade, 179 p.

Rightmire, C. T. 1978. Seasonal variation in pCO2 and 13C content of soil atmosphere. *Water Resour. Res*. 14: 691-692

Risacher, F. 1978. Le cadre géochimique des bassins à évaporites des andes boliviennes. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.* (X): 37-48.

Risacher, F., B. Fritz B. 1995. La génèse des lacs salés. *La Recherche*, (276)-26: 516-522.

Rivera, E., G. Viggers. 1992. Estructura trófica de una comunidad de artrópodos epígeos, en un magueyal del Bolsón de Mapimí, Dgo., México (Desierto Chihuahuense). *Acta Zoológica Mexicana,* 48: 1-21.

Robert, B.R. 1993. Water management in desert environnements. A comparative analysis. Springer-Verlag , Berlin. 327 p.

Roedder, E., 1984. The fluid in salt. *Am. Miner*. 69: 413-439.

Rojas, F.P. 1991. Las hormigas (Hymenóptera: Formicidae) de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Dgo. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM, México

Root, R.B. 1967. The Niche Exploration Pattern of the Bluegray Gnatcatcher. *Ecol. Monogr*., 37: 317-350.

Roundy, B.A., V.K. Winkel, H. Khalifa, A.D. Mathias 1991. Soil water avaibility and temperature dynamics after one time heavy cattle trampling and land imprinting. *Journal of Range Managemen*t, (35): 53-59

Rosenzweig, J. 1974. Geographical relationships of the flora of Mexican dry regions. *in*: Vegetation and vegetational history of norhtern Latin America (Ed. A. Graham). Elsevier, New York. pp. 61-72

Ruiz de Esparza, R. 1988. Lista de las Especies Vasculares, *in: Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo, y agua en la reserva de la biosfera de Mapimí*. Montaña C. (Ed.), Instituto de Ecología A.C. D.F., Mex. pp 225-239.

Ruiz de Esparza, R. 1992. Inventario y espectro biológico de las plantas vasculares. *in* Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp14-23.

Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Editorial Limusa, Balderas, México, D.F. 325 p.

Sabouraud Rosset, C. 1972. Microcryoscopie des inclusions liquides du gypse et salinité des milieux générateurs. *Rev. de Geograph. Phys. Géol. Dyn.* (XIV)-2: 133-144.

Salliege, J. F., J. CH. Fontes, 1983. Essais de détermination expérimentale du fonctionnement des isotopes ^{13}C et ^{14}C du carbone au cours des processus naturels. *Inter. J. of Appl. Rad. and Isot*. (35)-1: 55- 62.

SARH, 1987. Guia para la asistencia técnica agrícola: Area de influencia del campo agrícola experimental Valle del Guadiana. Secretaria de Agricultura y recursos hidraulicos.116 p

Satllings, J.H. 1962. El suelo- su uso y mejoramiento (soil use and improvement). Cia editorial continental , Mexico. 480 p.

Schmidly, D. J. 1974. Factors governing the distribution of mammals in the Chihuahuan Desert region U.S. and México. Pp: 163-192, *In*: Transactions of the symposium on Biological Resources of the Chihuahuan Dsert (Eds. R. H. Wauer y D. H. Risking). *National Park Service, Transac. Proc. Ser*., 3: 163-192.

Schwab, O.G. 1990. Ingeniería de Conservación de suelos y aguas. Ediciones Noriega México. 570 p.

Shaw, P. A., D.S.G- Thomas, 1989. Playas ,pans and salt lakes, *In* , *Arid zone geomorphology*, Thomas D. S. G. (Ed.) Belhaven Press, Londres, pp. 184-205.

Stickel, L. F. 1954. A comparison of certain methods of measuring small mammals. *Journal of Mammalogy* (35): 1-15.

Soil Survey Staff, (SSS), 1994. Claves para la taxonomía de suelos. SMCS, Montecillos, México. 306 p.

Sonnenfeld, P. 1984. Brines and evaporites. Academic Press, Orlando, USA. 581 p.

Sposito, G. 1984. The surface chemistry of soils, Oxford Univerity Press, N.Y. 233 p.

Swanson N., P. 1965. Rotating boom rainfail simulator. *Am. Soc. Agr. Engineers*, 8 (2): 71-72.

Szabolcs, I. 1989. Salt affected soils. CRC press, Boca Raton, Florida. 261 p.

Talbot, C., M. Jackson 1987. Les remontées de sel. *Pour la Science*, Oct.1987, pp. 46-57.

Tamyo, I., J. 1982. Geografía moderna de México. 9ª. Ed., TRILLAS, México. pp 140-145.

Tamers, M.A. 1975. Validity of radiocarbon dates on groundwater. *Geophys. Surv.*, (2), 217 p.

Tarín T., G. 1992. Caracterización hidrodinámica en una formación vegetal denominada "mogote" con simulación de lluvia. Reserva de la Biosfera de Mapimí. Tesis de Licenciatura. UAC, Coahuila, México.147 p.

Tessier, J. 1978. Etude de l'organisation des argiles calciques. Evolution au cours de la dessication. *Annales Agronomiques,* 29 (4): 319-355.

Thorbun , P.J., G.R. Walker, P.H. Woods, 1992. Comparison of diffuse discharge from shallow water tables in soils and salt flats. *J. of Hydrol.* 136: 253-274.

Tinkle, D.W. 1967. The life and demography of the side-blotched lizard, *Uta stanburiana*. Misc. *Publ. Mus. Zool. Univ. Michigan*, 132: 1-182.

Tinkle, D.W., R.E. Ballinger, 1972. Sceloporus undulates: a study of the intraespecific comparative demography of a lizard. *Ecology*, 53: 570-584.

Tinkle, D.W., A.E. Dunham, 1986. Comparative life histories of the two syntopic Sceloporine lizards. *Copeia*, 1986: 1-18.

Valentin C., F. Ruíz Figueroa, 1987. Effects of kinetic energy and water application rate on the development of crusts in a fine sandy loam soil using aprinkling irrigation and rainfall simulation. Micromorphologie des sols, edited by Fedoroff, Bresson and Courty. Association Française pour l'étude des sols. *VIIth International Working Meeting on Soil Micromorphology. Paris - July 1985.*

Valentin C., L.M. Bresson, 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. Elservier Science Publishers B.V., Amsterdam. *Geoderma*, 55: 225-245

Valles, V., A.M. Cockborne, 1992. Elaboration d'un logiciel de géochimie appliquée à l'étude de la qualité des eaux. Séminaire altération et restauration de la qualité des eaux continentales INRA-Avignon. France.

Valles, V., Y.A. Pachepsky, A.A. Ponizovsky, 1991. Invariant criteria for irrigation water quality assesement in arid and semi arid regions. In Genesis and control of fertility of salt-affected soils. ISSS subcommission A. All-Union Society of Soil Science, USSR, V.V. Dokuchaev Soil Institute.Moscow, pp. 330-333

Van Devender, T.R., W.G. Spaulding, 1979. Development of vegetation and climate in the Southwestern United States. *Science*, 204: 701-710.

Velasco-Molina, H.A., 1991. Las zonas áridas y semiáridas. Sus características y su manejo. 1ª Edición. LIMUSA, México. 730 p.

Ventura R., E. Jr. 1992. Efecto de la labranza y la estructura del suelo y su relación con el crecimiento, desarrollo y rendimiento del sorgo en Guanajuato. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 153 p.

Viramontes-Pereida, D. 1992. Redistribución espacial del agua en el paisaje , escurrimiento y erosion hidrica a traves de una toposequencia. Delhoume J.P.(1992). Le milieu physique. *in* Delhoume J.P., Maury M.E. (Eds.). *Actas del seminario Mapimí " Estudio de las relaciones Agua-Suelo-Vegetación en una zona árida del norte de México orientado a la utilización racional de estos recursos para la ganadería extensiva de bovinos*. Gómez-Palacio, Durango, México, 23- 29 Octubre 1989. pp.143-160.

Vivian, S.H., M.R. Spencer, 1984. Salt, evaporites and brines: an annoted bibliography. Oryx Press.Phoenix, Ar. 216 p.

Whintford, W.G., M.F. Creusere, 1977. Seasonal and classification of surface crust in loamy and sandy soils. *Geoderma*, 55: 54-65.

Zartman, R.E., E.B. Fish, 1992. Spatial Characteristic of playa lakes in castro country , Texas. *Soil Science*.153(1): 63-68.

Zins Paulas, M.P. 1988. Géochimie de la silice dans les saumures et les milieux évaporitiques naturels. Doctorat de l'Univesité de Strasbourg. 187 p.

Anexo 1

Convenciones utilizadas

En la medida posible, las unidades utilizadas corresponden al sistema internacional. Sin embargo, para las concentraciones, los meq l^{-1} son utilizados por comodidad para el balance iónico y la afinidad con las nociones como alcalinidad y la mejor relación con la conductividad eléctrica de las soluciones. Por supuesto que para las especies no ionizadas, se emplea el mol l^{-1}. Para la conductividad eléctrica la unidad del S.I. es Ω^{-1} m^{-1} o el S m^{-1}, sin embargo estas unidades definidas para los cuerpos sólidos son usadas inadecuadamente para soluciones naturales en las que los valores de conductividad sean con un factor inferior a 100. Es por eso se encuentra una gran variedad de subunidades para expresar las medidas de conductividad eléctrica de las soluciones. Generalmente, los aparatos expresan la medida con relación al centímetro porque esta unidad corresponde a la separación de los electrodos y a su superficie de medida lo que permite definir un factor de electrodo próximo a 1.

Para la conductividad eléctrica de las soluciones, para evitar algunas confusiones, la unidad dS m^{-1} está reservada a la conductividad de los extractos saturados (o extractos a saturación), es decir la solución extraída por succión ejercida sobre una mezcla de suelo y agua con proporciones fijadas por el límite de liquides de mezcla. La intención de esta medida es puramente agronómica: conocer la naturaleza de las soluciones en equilibrio con el suelo. Esta medida constituye una clave de clasificación de suelos.

La conductividad del extracto acuoso, o de lixiviación está expresada en μS cm^{-1}. Consiste en una solución de la mezcla suelo –agua en una proporción de masa. En esta obra se empleó la relación 1:16 (1 g de suelo por 16 g de agua). En este aspecto, la intención es diferente porque se trata de conocer, la cantidad de solutos que el suelo es susceptible de liberar.

La conductividad de las soluciones naturales está expresada de la misma manera en μS cm^{-1} lo que corresponde a la unidad más cómoda debido a las lecturas de los aparatos.

Un factor de 1000 separa las dos unidades derivadas que se emplean en este libro.

Tabla 2. Diferentes unidades de conductividad eléctrica, su empleo y sus valores relativos

	Unidad del S.I.	Otras unidades		
Empleo de las unidades	Geofísicas Físicas	Revistas de pedología (pastas saturadas)	Oceanográficas (raras)	Aparatos de medidas de soluciones naturales
Unidades→	Ω^{-1} m^{-1} (S m^{-1})	dS m^{-1} (mS cm^{-1})	mS m^{-1}	μS cm^{-1}
Unidades↓				
Ω^{-1} m^{-1} o S m^{-1},	1	10	1000	10 000
DS m^{-1} o mS cm^{-1}	0.1	1	100	1000
mS m^{-1}	0.001	0.01	1	10
μS cm^{-1}	0.0001	0.001	0.1	1

Anexo 2

LISTA FLORISTICA

FAMILIA *Especie* (1995)	FAMILIA *Especie* (2003)	NOMBRE LOCAL
AIZOACEAE	SIN CAMBIO	
Sesuvium verrucosum Raf.		
AMARYLLIDACEAE	AGAVACEAE	
Agave asperrima Jacobi	*Agave scabra* Salm-Dyck ssp. Scabra	Maguey
BORAGINACEAE	SIN CAMBIO	
Cordia parvifolia DC.		Cenicillo
CACTACEAE	SIN CAMBIO	
Echinocereus sp.		
Opuntia rastrera Weber		Nopal rastrero
Opuntia sp.		
Opuntia violacea Engelmann	*Opuntia macrocentra* Engelmn.	Nopal morado
COMPOSITAE	ASTERACEAE	
Zinnia acerosa A. Gray		
Flourensia cernua DC.		Hojasen
Haplopappus heterophyllus (Gray) Blake		
Parthenium incanum (H.B.K.)		
Pectis angustifolia Torr.		
CHENOPODIACEAE	SIN CAMBIO	
Allenrolfea occidentalis (Wats.) O. Ktze		
Atriplex acanthocarpa (Torr.) S. Watson		
Atriplex canescens (Pursh) Nutt.		Costilla de vaca
Salsola kali L.	*Salsola tragus* L.	Rodadora
Suaeda nigrescens I.M. Jonst. var. glabra I.M. Johnst.		Saladillo
Suaeda suffrutecens S. Watson		Saladillo
EUPHORBIACEAE	SIN CAMBIO	
Croton potstsii (Klotch) Muell.-Arg.		
FOUQUERIACEAE		
Fouquiera splendens Engelm.		Ocotillo
GRAMINEAE	POACEAE	
Chloris virgata Sw.		
Hilaria mutica (Buckl.) Benth.	*Pleuraphis mutica* Buckley	Sabaneta, toboso
Tridens pulchellus (H.B.K.) Hitchc.	*Erioneuron pulchellum* (Kunth) Tateoka	Pasto borreguero
Mulhenbergia sp.		
Panicum obtusum Kunth		
Scleropogon brevifolius Phil.		Pasto Alfombrita
Sporobolus airoides (Torr.) Torr.		Pajón, zacatón alcalino
Sporobolus sp.		
KOEBERLINACEAE	SIN CAMBIO	
Koeberlinia spinosa Zucc.		

CONTINUACIÓN DE LISTA FLORISTICA

FAMILIA *Binomio* (1995)	FAMILIA *Binomio* (2003)	NOMBRE LOCAL
LEGUMINOSAE	FABACEAE	
Acacia constricta Benth var. *constricta*		Huisache
Acacia greggii Gray		
Acacia neovernicosa Isely		
Dalea scoparia A. Gray		
Prosopis glandulosa Torr. var. *torreyana* (L. D. Benson) M. C. Johnst.		Mezquite
LILIACEAE	SIN CAMBIO	
Yucca elata Engelm.		Yuca
Yucca sp.		Yuca
PORTULACACEAE	SIN CAMBIO	
Portulaca oleracea L.		verdolaga
SOLANACEAE		
Lycium berlandieri Dun. var. parviflorum (Gray) Terrac.		
ZYGOPHYLLACEAE	SIN CAMBIO	
Larrea tridentada (DC.) Cov.		Gobernadora
Haplapappus spinulosus **		

LISTA DE ALGAS ASOCIADAS AL SUELO (BIODERMA)

FAMILIA	*Género*
CIANOFICEAE	*Lygbya* sp.
	Microleus sp.
	Oscillaoria sp.
CRYSOFICEAE	*Nitzohia* sp.
	Cyclotella sp.
	Fragillaria sp.

Anexo 3

LISTADO DE FAUNA

ARTROPODOS TERRESTRES

ORDEN FAMILIA	*Especie*	NOMBRE LOCAL
ARÁNAE THERAPHOSIDAE	*Aphenopelma chalcodes* Chamberlin	Tarántula
HIMENOPTERA FORMICIDAE	*Pogomyrmex rugosus* Emery, 1895	Hormigas
	Pheidole psammophila Creighon y Gregg, 1955	Hormigas
ISÓPTERA TERMITIDAE	*Gnathamitermes tubiformans* (Buekky)	Termitas

ARTROPODOS ACUATICOS

ORDEN FAMILIA	*Especie*
DIPLOSTRACA	
DAPHNIIDAE	*Daphnia sp.*
	Daphnia pulex
	Daphnia lergi
	Daphnia longipinis
	Cynopotus sp.
	Eucypris sp.
	Artemia salina
CHIRONOMIDAE	*Polypedilum sp.*
NOTONECTIDAE	*Notonecta sp.*
BELOSTOMIDAE, CORIXIDAE	*Tenagobia sp.*
AESCHNIDAE	*Anax walsinghami*
COENAGRIONIDAE	*Enallagma civile*
LESTIDAE	*Lestes alacer*
LESTIDAE	*Celina sp.*

REPTILES

ORDEN SUBORDEN FAMILIA	*Binomio latino*
SQUAMATA LACERTILIA	
PHRYNOSOMATIDAE	*Sceloporus edbelli* (antes S. *undulatus*)
	Phrynosoma cornutum
	Holbrookia maculata
TEIIIDAE	*Aspidoscelis inornata* (antes *Cnemidophorus inornatus*)
	Aspidoscelis gularis (antes *Cnemidophorus scalaris*)

PEQUEÑOS VERTEBRADOS

ORDEN FAMILIA	Especie	NOMBRE LOCAL
RODENTIA		
HETEROMYIDAE	Dipodomys nelsoni Merriam, 1907	Rata canguro
	Dipodomys merriami Mearns, 1890	Rata canguro
	Chaetodipus penicillatus (Woodhouse, 1852)	Ratón de abazones
	Perognathus flavus Baird, 1855	Ratón de abazones
SCIURIDAE	Spermophilus spilosoma Bennett, 1833	Ardilla terrestre
MURIDAE		
	Neotoma albigula Hartley 1894	Rata nopalera
	Peromyscus eremicus (Baird, 1858)	Ratón de cactus
LAGOMORPHA LEPORIDAE		
	Lepus californicus Gray, 1837	Liebre de cola negra
CARNÍVORA MUSTELIDAE		
	Taxidea taxus (Schreber, 1777)	Tejón

Anexo 4

La clasificación de los suelos de playa

Este anexo corresponde a la aclaración al lector de algunas dificultades para establecer las relaciones entre los diferentes clasificaciones existentes y en ningún caso se sustituye a las obras existentes de referencia. El problema que se presenta para el desierto Chihuahuense, como en todos los sitios, es que se utilizan diferentes sistemas de clasificación o de referencia que a veces cambian a través. Los grupos de suelos susceptibles a priori de estar representados en un contexto de playa en Mapiní están en la base de datos mundiales (SSS, 1994): los grupos formados por los Vertisoles, Fluvisoles, Solonchaks, Solonets, Gleyisoles; Gypsisoles, Calcisoles, Arenosoles, Regosoles y (accesoriamente) los Anthrosolesles. Se recomienda al lector de consultar en "*la world reference base for soil resources*" para encontrar los detalles de las definiciones de los grupos y de sus límites.

La mayoría de los términos utilizados en esta "clasificación" (SSS, 1994) surgen sin muchas modificaciones de las categorías de la leyenda de la FAO de la carta mundial de 1975, salvo los Cálcisoles, los Gypsisoles y los Anthrosoles. Desapareciero los Yermososles y los Xerosoles.

Los términos Yermosol (o más raramente, Yermosoles) y Xerosoles, frecuentemente son más utilizados en las cartas pedológicas del INEGI y dentro de las obras sobre Mapimí. Están definidos por su empleo, en la leyenda de la carta de la FAO de 1975 y consignados dentro del sistema FAO-UNESCO de 1981 lo que corresponde a los periodos de inventario de l Reserva. Estas dos nomenclaturas ya no existe en la carta mundial de la FAO de 1989. Esos suelos eran definidos esencialmente por la presencia de un horizonte ócrico poco importante. Este horizonte era de color muy claro, endurecido y masivo en estado seco; contiene muy poca materia orgánica. Se trata de suelos poco evolucionados (CPCS, CFS 1967) y en función de sus atributos a veces se les denomina *suelos grises subdesérticos* (para los Yermosoles) lo que en ciertas ocasiones es contradictorio con lo observado en Mapimí. Sin embargo el horizonte ócrico ha permanecido como un horizonte de diagnóstico en la *World Reference Base* (Draft, 1994). El grupo de los Regosoles es el grupo de suelos que debe contener un horizonte ócrico.

Los Yermosoles gypsicos y los Xerosoles gypsicos (FAO, 1975) deben reclasificarse sin ninguna duda dentro de los Gypsisoles (SSS, 1994)**.** Se puede realizar la misma operación para los Yermosoles y Xerosoles cálcicos (FAO, 1975) como Calcisoles (SSS, 1994)**.** Sin embargo, cierta ambigüedad es difícil de retirar para los suelos clasificados como Yermosoles y Xerosoles háplicos y lúvicos (FAO, 1975) que se podrían asociar según sea el caso a los Regososles (SSS, 1994) a los Fluvisoles (SSS, 1994), o a los Arenosoles con caracteres ócricos.