

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Sucesión en campos de cultivo abandonados en la región agrícola de la Costa de  
Hermosillo: Fisiología ecológica de las especies vegetales dominantes durante la sucesión e  
implicaciones para la restauración.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ARIDAS**

**PRESENTA**

**María Jesús Martínez Contreras**

**Ensenada, Baja California**

**Junio de 1998**

**Sucesión en campos de cultivo abandonados en la región agrícola de la Costa de  
Hermosillo: Fisiología ecológica de las especies vegetales dominantes durante la sucesión e  
implicaciones para la restauración**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRESENTA**

**María Jesús Martínez Contreras**

**APROBADA POR:**

  
**Dr. Alejandro E. Castellanos Vázquez**  
Director de tesis

  
**Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal**  
Sinodal

  
**Dra. Clara Tinoco Ojanguren**  
Sinodal

  
**M. C. José Luis Moreno Vázquez**  
Sinodal

## *Dedicatoria*

*A mis padres...*

*Bernardo Martínez y Martha Lilia Contreras, por su apoyo y amor perennes.*

*Con cariño para mis hermanos,*

*Martha, Sandra, Bernardo, José y Lorena.*

*A la memoria de los hombres que dejaron sus vidas en el desierto forjando la Costa de Hermosillo.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alejandro Castellanos por su apoyo y disposición como amigo, por sus enseñanzas para mi formación y por toda su asesoría, apreciaciones y críticas, las cuales fueron de gran valor para esclarecer las dudas durante el desarrollo de la tesis.

A la Dra. Ileana Espejel, Dra. Clara Tinoco y al M. C. José Luis Moreno, por haber aceptado ser parte del comité de tesis y por sus valiosos comentarios y contribuciones al trabajo.

Asimismo quiero agradecer al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), por haberme facilitado todo el apoyo logístico para la realización de este estudio.

A Tuly Yanes, Lupita Avila y Manuel Espericueta, por haber compartido conmigo las arduas y calurosas tareas de campo.

A toda la gente de los diferentes campos agrícolas de la Costa de Hermosillo, que siempre estuvo dispuesta a compartir su tiempo conmigo y se mostró accesible para la realización de la investigación.

A CONACyT por su apoyo económico, número de registro 68435.

Al Fish Wildlife Services, U. S. A. y SEMARNAP, por su apoyo económico. Beca número 14-48-0009-96-1264.

Al Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Plantas del Dpto. de Ciencias del Suelo de la Universidad de Arizona por haber realizado el análisis físico-químico de los suelos de diez campos de cultivo abandonados.

Al maestro Pacheco, encargado del Lab. de Edafología del Dpto. de Agricultura y Ganadería de la UNISON, por haber permitido que realizara los análisis físico-químicos de los campos de cultivo restantes.

Al Dr. Garza, coordinador de la Maestría en Ciencias en Horticultura del Departamento de Agricultura y Ganadería de la UNISON, por haberme aceptado como alumna especial de la materia de ecofisiología vegetal, para la culminación de mis estudios de posgrado.

Al Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo, por su interés en el tema y proporcionarme información sobre el desarrollo de la Costa de Hermosillo.

A los amigos, gracias por su apoyo.

## INDICE

	Página
Lista de Figuras	i
Lista de Cuadros	iii
Abstract	v
Resumen	vi
Presentación	1
Hipótesis	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
<b>CAPITULO I</b>	
<b>HISTORIA, DESARROLLO Y PROBLEMATICA DE LA COSTA DE HERMOSILLO.</b>	<b>3</b>
Introducción	3
Metodología	4
Marco geográfico, biológico y físico de la Costa de Hermosillo	5
<i>Ubicación</i>	5
<i>Fisiografía</i>	5
<i>Geología</i>	5
<i>Edafología</i>	5
<i>Clima</i>	7
<i>Hidrología Superficial y Subterránea</i>	8
<i>Vegetación</i>	8
Resultados y Discusión	10
Desarrollo Productivo y Decadencia de la Costa de Hermosillo	10
Conclusiones	20
<b>CAPITULO II</b>	
<b>SUCESION SECUNDARIA EN LOS CAMPOS DE CULTIVO ABANDONADOS DE LA COSTA DE HERMOSILLO</b>	<b>22</b>
Introducción	22
Sucesión en zonas áridas	23
Sucesión en campos de cultivo abandonados	26
<i>Sucesión en campos abandonados de zonas templadas</i>	26

<i>Sucesión en campos abandonados de zonas áridas</i>	28
Metodología	30
Resultados y Discusión	33
Suelos	33
Secuencia sucesional en campos ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero	36
Secuencia sucesional en campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero	45
Estructura de la vegetación en remanentes naturales	55
Conclusiones	57
<b>CAPITULO III</b>	
<b>USO DE RECURSOS POR LAS PRINCIPALES ESPECIES VEGETALES EN EL DESARROLLO SUCESIONAL</b>	59
Introducción	59
Uso de recursos por las especies sucesionales	59
Características ecofisiológicas de las plantas sucesionales	61
<i>Fotosíntesis</i>	61
<i>Respuesta a la limitante de agua</i>	62
<i>Transpiración y Uso de agua</i>	63
Metodología	64
Resultados y Discusión	67
Uso de los recursos por especies sucesionales de la Costa de Hermosillo	67
Conclusiones	76
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>SUCESION, IMPLICACIONES PARA RESTAURACION Y RECOMENDACIONES</b>	78
Estrategias de Restauración	80
LITERATURA CITADA	82
ANEXOS	

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.- Ubicación geográfica del área de estudio	6
Figura 2.- Serie histórica de extracción de agua en el acuífero que alimenta el Distrito de Riego No. 51-Costa de Hermosillo.	11
Figura 3.- Abatimiento del manto acuífero subterráneo en las últimas tres décadas en la Costa de Hermosillo.	14
Figura 4.- Desarrollo de la apertura de pozos desde el inicio de la Costa de Hermosillo, hasta la década de los 80's.	15
Figura 5.- Superficie sembrada en la Costa de Hermosillo desde 1953 a 1994.	16
Figura 6.- Cambios de la producción en la Costa de Hermosillo desde 1953 a 1990.	17
Figura 7.- Distribución de los campos muestreados en el Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo.	31
Figura 8.- Disminución de la densidad en <i>B. sarathroides</i> , con el avance en la edad de abandono de los campos ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina al acuífero.	39
Figura 9.- Relación entre densidad y cobertura de <i>B. sarathroides</i> , en los campos abandonados en la zona fuera de riesgo por intrusión salina al acuífero.	40
Figura 10.- Disminución de la densidad de <i>B. sarathroides</i> , con el avance en la edad de abandono de los campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero.	47
Figura 11.- Disminución del valor de importancia relativa en <i>B. sarathroides</i> ,	

- con el avance en la edad de abandono de los campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero. 48
- Figura 12.- Variación de la eficiencia del uso del agua con respecto a la conductancia estomática en especies del campo MLT. 67
- Figura 13.- Variación en la eficiencia del uso del agua con respecto a la conductancia estomática en especies del campo SI. 68
- Figura 14.- Relación entre la tasa de asimilación y la de transpiración en el campo MLT, lo cual también muestra la eficiencia en el uso del agua de las especies. 68
- Figura 15.- Relación entre la tasa de asimilación y la de transpiración en el campo SI, lo cual también muestra la eficiencia en el uso del agua de las especies. 69
- Figura 16.- Desarrollo diurno de la actividad fotosintética, con relación al potencial hídrico de *Atriplex canescens* y *A. polycarpa*. 72
- Figura 17.- Eficiencia en el uso del agua en relación con la transpiración en *Atriplex canescens* y *A. polycarpa*. 73
- Figura 18.- Tasa neta de asimilación en *P. glandulosa*, en relación a la conductancia estomática 73
- Figura 19.- Tasa de pérdida de agua en *P. glandulosa*, en relación a la conductancia estomática. 74
- Figura 20.- Eficiencia en el uso del agua en *L. tridentata* y *P. glandulosa*, en relación a la conductancia estomática. 75

## LISTA DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1.- Volumen de agua utilizado en millones de metros<sup>3</sup>, área plantada y producción para los cultivos tradicionales y para los nuevos cultivos en el ciclo agrícola 1975-1976.</b>	18
<b>Cuadro 2.- Porcentaje de materia orgánica, textura y conductividad eléctrica, de los suelos en campos ubicados en la zona fuera de riesgo por intrusión salina al acuífero.</b>	34
<b>Cuadro 3.- Porcentaje de materia orgánica, textura y conductividad eléctrica, de los suelos en campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero.</b>	34
<b>Cuadro 4.- Estructura de la vegetación en campos agrícolas con diferente tiempo de abandono, ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero.</b>	42
<b>Cuadro 5.- Índice de similitud (%) en campos agrícolas ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero.</b>	43
<b>Cuadro 6.- Secuencia sucesional en campos abandonados en la zona fuera de riesgo de intrusión salina.</b>	44
<b>Cuadro 7.- Estructura de la vegetación en campos agrícolas con diferente tiempo de abandono, ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero.</b>	51
<b>Cuadro 8.- Índice de similitud (%) en campos agrícolas ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero.</b>	53
<b>Cuadro 9.- Secuencia sucesional en campos abandonados en la zona bajo riesgo de intrusión salina.</b>	54

**Cuadro 10.- Estructura de la vegetación en remanentes naturales.****55**

## ABSTRACT

The great development of a highly technique agriculture and a deficiently management of resources, specially water, in Costa de Hermosillo (Sonora), produced a desertification process that began with the remotion of the vegetative cover and a subsequent change in the profile soil, an overexploitation of the aquifer, a salinity intrusion and a salt contamination of some soil portions. At present, only abandoned fields and crumbling ditches remain as witnesses of the tremendous capital invested during its heyday. A successional sequence in different abandoned fields between 1 and 42 years were studied. The soil and the plant communities structure of a secondary succession in 20 fields localized in a zone under risk of salinity intrusion on aquifer and 10 fields localized out it were analyzed. In both situations the succession began with fast growth and easy dispersion species. At fields of 3 years of abandon, localized in the out of risk of salinity zone, and of 5 years, in the risk zone, *Baccharis sarathroides* colonized the fields and avoided other species to grow. During the period of dominance almost total by *B. sarathroides* we suggest that occur a process of intraespecific competition, because the specie tend to diminish in density and to increase in cover. In fields under risk, *Baccharis* disappeared on late successional stages and was almost totally replaced by *Atriplex polycarpa*. In fields without risk, *Baccharis* remained on late successional stages together with *Larrea tridentata*, *Cercidium floridum* and *Prosopis glandulosa*. The vegetation of abandoned fields has undergone changes in composition during the last 42 years showing a successional trend herb-shrub-tree, determined possibly by mechanisms of inhibition first and later by patterns of tolerance. The displacement of *Baccharis* from the successional sequence in fields localized on the zone under risk of salinity intrusion could be in some cases by a high concentration of salt in soils which imposed extremely dry conditions that could affect the development of this species, but too is suggested a possible displacement of *Baccharis* by *Atriplex polycarpa*, specie that resist with low water potential, which allows it to stay under water stress. Possibly exist a process interespecific competition between *Baccharis* y *A. polycarpa*. The patterns observed resulted from changes on the availability of water resource, condition produced possibly by low contained of organic matter on soils of abandoned fields, and which can determined the occurrence of species during the cronosequence. The successional study is important for restoring disturbed ecosystems. Based on ours results, we present three restoration strategies would aid restore the perturbations by effect of agriculture on la Costa de Hermosillo.

## RESUMEN

El rápido desarrollo de la agricultura altamente tecnificada y el manejo deficiente de los recursos naturales, en especial el agua en la Costa de Hermosillo, produjo un proceso de desertificación que inició con la remoción de la vegetación nativa y posteriormente contribuyó a cambios en el perfil del suelo, a la sobreexplotación del acuífero subterráneo, a la intrusión salina en el mismo y al ensalitramiento de algunas porciones del suelo. Hoy día, en una porción considerable de la Costa de Hermosillo, sólo quedan campos agrícolas desolados y diques desmoronados, testigos del tremendo capital financiero y técnico, invertido durante su auge. En este estudio se determinó la secuencia sucesional en diferentes campos abandonados con una edad entre 1 y 42 años de abandono. Se analizó el suelo y la estructura de las comunidades vegetales participantes en el proceso de sucesión secundaria de 20 campos abandonados ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el manto acuífero y 10 campos más localizados en la zona fuera de riesgo de intrusión salina al manto acuífero. En ambas situaciones (campos sin riesgo y campos bajo riesgo de intrusión salina al acuífero), la sucesión inicia con especies de rápido crecimiento y fácil dispersión. A los tres años de abandono en campos localizados en la zona fuera de riesgo de intrusión y a los cinco años en la zona bajo riesgo, *Baccharis sarathroides*, coloniza los campos y al parecer ejerce un efecto supresivo sobre las otras especies. Durante el período de dominancia casi total por *B. sarathroides*, sugerimos que ocurre un proceso de competencia intraespecífica, debido a que la especie tiende a disminuir en densidad y aumentar en cobertura. En los campos bajo riesgo, *Baccharis* desaparece de las etapas tardías de la sucesión y estas son dominadas casi totalmente por *Atriplex polycarpa*. En los campos sin riesgo, *B. sarathroides* permanece en etapas tardías con otras especies como *Larrea tridentata*, *Cercidium floridum* y *Prosopis glandulosa*. La composición de especies cambió con la edad de los campos y se considera que durante el lapso estudiado (42 años), existe una tendencia sucesional hierba-arbusto-árbol, determinada al parecer por el mecanismo de inhibición en primer plano y posteriormente por el patrón de tolerancia. El desplazamiento de *Baccharis* de la trayectoria sucesional en campos localizados en la zona bajo riesgo de intrusión salina, se debe posiblemente en algunos casos a la gran cantidad de sales en el suelo, lo cual impone condiciones estresantes en el suelo, donde *Baccharis* no puede funcionar óptimamente, pero también se sugiere un posible desplazamiento por parte de *A. polycarpa*, especie con resistencia a bajos potenciales hídricos, que le permite permanecer en condiciones de mayor estrés por agua. Al parecer se establece un proceso de competencia interespecífica entre las dos especies. El patrón de sucesión observado, es el resultado de cambios en la disponibilidad del recurso agua, lo cual determina cuales especies ocurren durante las cronosecuencias, respondiendo a un gradiente en la disponibilidad del recurso agua en el tiempo. El estudio de la sucesión es central para entender la restauración de

ecosistemas perturbados y asegurar que las técnicas de restauración ecológicas empleadas ayuden a reparar los ecosistemas desérticos perturbados. Con base en los resultados se proponen tres estrategias de restauración que pueden ayudar a reparar en algún grado las perturbaciones sufridas por efecto de la agricultura en la Costa de Hermosillo.

## PRESENTACION

Actualmente es posible disponer de datos generados por estudios (Bahre 1991, Hastings y Turner 1965) que buscan entender cómo cambia la vegetación de lugar a lugar y con el paso del tiempo, debido al efecto de actividades antropogénicas como la ganadería y la agricultura. Generalmente, los cambios originados por la agricultura son los más impactantes y hoy, es posible observar en varios distritos de riego de México, campos agrícolas abandonados por efecto de un mal manejo de los recursos en la actividad agrícola (Comisión Nacional de Zonas Áridas y Secretaría de Desarrollo Social 1994).

Un campo agrícola abandonado, puede ser definido como una porción de terreno o el predio en su totalidad, donde se ha dejado de cultivar la tierra por períodos de tiempo variable, ya sea por falta de recursos económicos, falta de agua o por la aparición de limitantes físicas como la intrusión salina al manto acuífero o contaminación del suelo con sales. La Costa de Hermosillo, es una región agrícola en el noroeste del país, donde actualmente es posible observar un mosaico muy heterogéneo de terrenos abandonados con diferencias muy marcadas en cuanto al desarrollo de la vegetación. Sin embargo, se desconoce cuáles son los factores que teóricamente pueden regular o alterar la dinámica de estas comunidades vegetales.

Ante la necesidad de obtener un diagnóstico sobre los impactos que ha causado la agricultura en la región y discutir los cambios en el contexto de suelo, comunidades bióticas y uso de recursos, se estructuró el presente trabajo en cuatro capítulos, los cuales constituyen distintos niveles de aproximación o enfoque a un mismo tema. El primer capítulo presenta un análisis sobre el desarrollo de la región agrícola de la Costa de Hermosillo, con especial énfasis en el deficiente manejo del agua, lo cual ha generado graves problemas de producción y consecuentes procesos de desertificación. El segundo capítulo del trabajo se interesa en describir las diferentes trayectorias sucesionales en campos de cultivo abandonados y explicar las causas de la sucesión secundaria, involucrando características de historia de vida de las especies presentes en dichos campos y factores físicos-químicos como propiedades del suelo. El tercer capítulo explora el significado de las estrategias de las especies con relación a los procesos que controlan la estructura y dinámica de la vegetación. El cuarto y último capítulo, de una manera integradora propone posibles estrategias de restauración, las cuales en algún grado pueden ayudar a reparar algunos de los impactos ocasionados por la agricultura en esta región.

### **HIPOTESIS**

Un entendimiento del proceso ecológico de sucesión, así como de los mecanismos implicados en el reemplazo y funcionamiento de las principales especies, es especialmente informativo para la restauración en ecosistemas perturbados.

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar él o los patrones sucesionales en los campos agrícolas abandonados de la Costa de Hermosillo, basándose en los cambios producidos por el hombre, en el uso y disponibilidad de recursos, características de historia de vida e interacciones entre especies.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Documentar cambios en el ecosistema por efectos de la agricultura y analizar el uso de recursos principalmente agua, en relación al abandono de campos agrícolas.

Conocer las características físico-químicas de los suelos que determinan la presencia de diferentes especies sucesionales, para entender su distribución y requerimientos.

Describir la estructura de las comunidades vegetales en campos de cultivo abandonados, participantes en el proceso sucesional y determinar densidad, dominancia, frecuencia e índice de similitud, como indicadores de la progresión sucesional.

Monitorear variables fisiológicas de las especies dominantes que participan en el proceso sucesional, para analizar su éxito en términos del uso de recursos disponibles, en particular el uso del agua.

# CAPITULO I

## HISTORIA, DESARROLLO Y PROBLEMATICA DE LA COSTA DE HERMOSILLO

### Introducción

Históricamente la actividad agrícola ha sido de las más importantes y tradicionales en el estado de Sonora. Se tienen registros de que agricultura de temporal se practicaba ya en los tiempos prehispánicos por distintos grupos indígenas en la región del Río Sonora (Baroni 1992). Los primeros esfuerzos por desarrollar la agricultura de riego en Sonora comenzaron en 1890, pero fue hasta 1936 cuando algunos de los proyectos se vieron cristalizados con la construcción de la presa La Angostura, la cual proporciona agua al Valle del Yaqui, la región agrícola más extensa del estado. En la década de los años 40 se abren los primeros campos agrícolas en la Costa de Hermosillo, basados en el riego por bombeo de agua subterránea profunda y cuya región llega a conformarse como una de las zonas agrícolas más importantes en la entidad (West 1993). Sin embargo, el rápido desarrollo de la agricultura altamente tecnificada produjo un proceso de desertificación que inició con la destrucción de la cubierta vegetal de cientos de hectáreas, una alteración de la estructura del suelo y una grave disminución del recurso agua. Por consiguiente muchos campos agrícolas han sido abandonados. En particular, la región agrícola de la Costa de Hermosillo es un claro ejemplo de un deficiente manejo de los recursos naturales que conlleva a la desertificación.

Con esta perspectiva, el propósito de este primer capítulo es presentar una visión del manejo que se ha hecho en la Costa de Hermosillo de los recursos, principalmente del agua y analizar las consecuencias de su uso en relación con el abandono de los campos agrícolas.

### **Metodología**

A fin de conocer como sucedió la transformación del desierto a zona agrícola, la historia, desarrollo y las causas de la problemática actual de la Costa de Hermosillo, se hizo una revisión bibliográfica exhaustiva de trabajos realizados en el área, donde se consultaron series históricas de producción agrícola, estadísticas sobre volúmenes de extracción de agua, documentos históricos, decretos presidenciales, mapas sobre el avance de la salinización, programas de desarrollo para la Costa de Hermosillo y los registros de apertura de pozos, entre otros. Posteriormente, se consultaron cartas topográficas de INEGI escala 1:50 000 y se ubicó la distribución de los campos abandonados en la región.

Una parte de los documentos fueron proporcionados en las oficinas del Distrito de Riego No. 51, y otra consultada en la biblioteca y archivos de El Colegio de Sonora.

## **Marco geográfico, biológico y físico de la Costa de Hermosillo**

### ***Ubicación***

El Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo, está situado en la parte central del estado de Sonora y dentro del municipio de Hermosillo. Está comprendido entre los paralelos 28° 22' y 29° 45' latitud norte y los meridianos 111° 00' y 112° 25' longitud oeste con una altitud promedio de 60 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

El Distrito limita al norte con los municipios de Pitiquito y Carbo, al sur con el municipio de Guaymas, al poniente con el Golfo de California y al oriente con la ciudad de Hermosillo. La superficie total del Distrito es de 1'480,000 has y la superficie de la Costa de Hermosillo es de alrededor de 283, 300 has (CNA 1992). La producción agrícola se desarrolla actualmente en un ámbito de aproximadamente 60 000 has.

### ***Fisiografía***

Este Distrito se ubica dentro de la provincia Llanura Sonorense y de la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses. Abarca el sistema de topofomas llamado llanuras, con diferente origen. Las llanuras aluviales formadas por depósitos de buen drenaje, mismas que ocupan la mayor extensión territorial del Distrito de Riego y las llanuras deltaicas que cubren sólo la parte más occidental y las cuales presentan fase salina (SPP 1981). El relieve está formado por extensas planicies y cerriles muy localizados. La pendiente varía de 0 a 6% en las planicies y de 20 hasta 60% en los cerriles. Altitudinalmente las planicies se encuentran de 0 a 100 m y los cerriles registran una altura de 200 msnm (SPP 1981).

### ***Geología***

Geológicamente, el área de estudio está constituida por rocas de la era Cenozoica y período Cuaternario. Existen también pequeños afloramientos dispersos como Siete Cerros, formados por rocas ígneas extrusivas ácidas del Cenozoico y período Terciario (SPP 1980).

### ***Edafología***

En la Costa de Hermosillo, el tipo de suelo predominante es el yermosol. Se distribuye principalmente en la zona central de la Costa y noreste de la misma. El suelo tiene un gran contenido de arena y es de textura media, pobre en materia orgánica, libre de sales y de una profundidad que varía entre 20 y 100 cm (SPP 1983, INEGI 1988 y Distrito de Riego No. 51 1995).

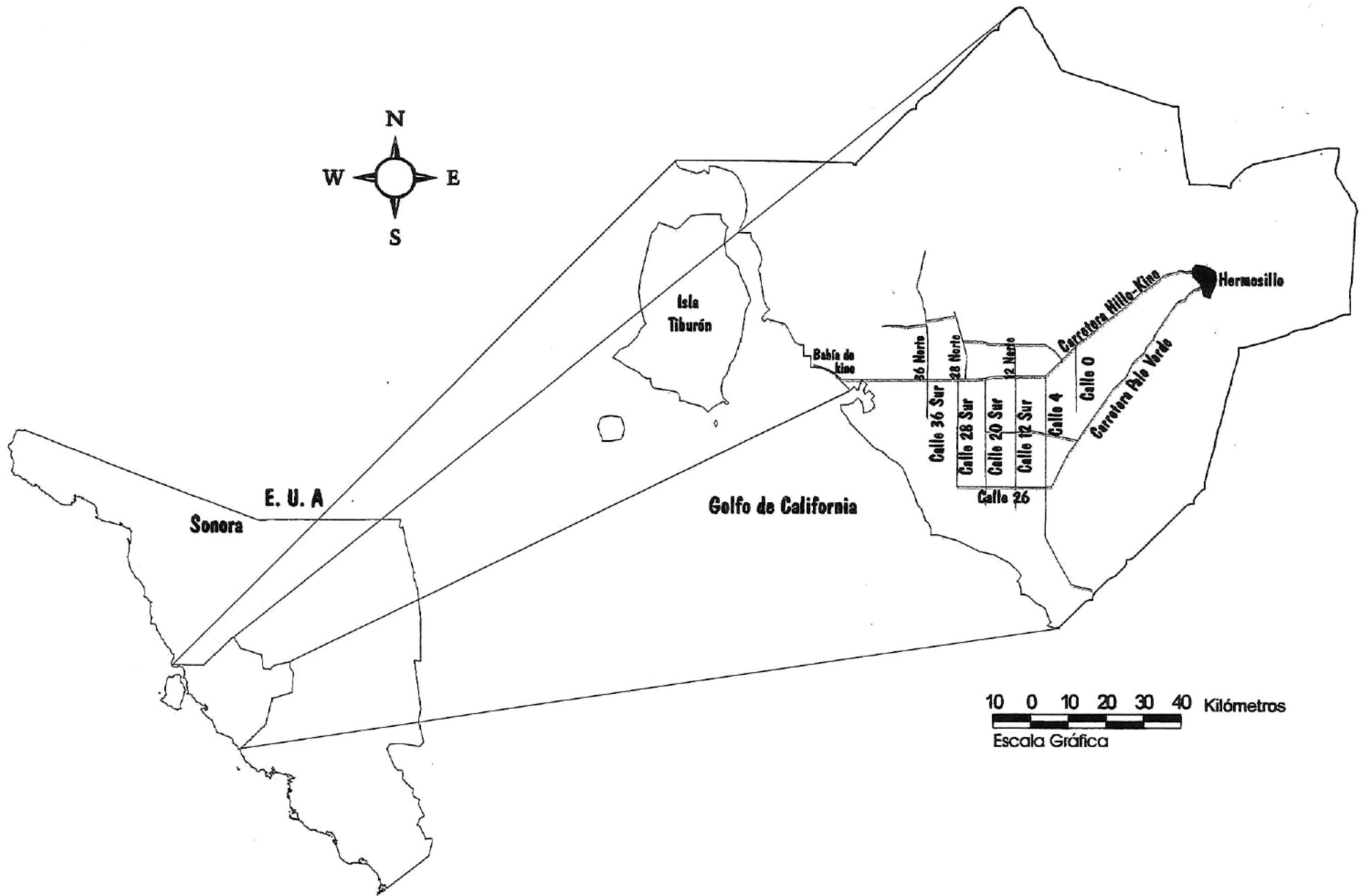


Fig. 1.- Ubicación del área de estudio.

Otro de los suelos importantes es el vertisol. Este se extiende sobre la parte norte y oeste de la Costa y en algunas secciones presenta una fase fuertemente sódica y fuertemente salina. Son suelos con una profundidad general de 100 cm y con un gran contenido de arcilla y limo, por lo tanto de textura fina (SPP *op cit.*, INEGI *op cit.* y Distrito de Riego No. 51 *op cit.*).

Los xerosoles constituyen el tercer grupo de suelos importantes en el área de estudio y es posible observarlos al norte y en una sección muy localizada de la parte sur de la Costa. Algunas porciones presentan fase salina o sódica. Al igual que el yermosol, presenta una capa superficial de color claro, muy pobre en materia orgánica y de textura de gruesa a media (SPP *op cit.*, INEGI *op cit.* y Distrito de Riego No. 51 *op cit.*).

Existen otros suelos de menor importancia como el solochack, el regosol y el feozem. El primero se caracteriza por la presencia de un alto contenido de sales y se encuentra muy cerca de la línea de costa, el segundo se localiza al norte y noroeste y del tercer tipo hay una franja en la parte noreste; ambos presentan una clase textural que va de gruesa a media (SPP *op cit.*, INEGI *op cit.* y Distrito de Riego No. 51 *op cit.*).

### ***Clima***

El área comprende dos tipos de climas.

Hacia el oeste del Distrito de Riego (cercano a la línea de costa) se presenta un clima BWhw(x')(e'), el cual se caracteriza por ser un clima muy seco o desértico. El régimen de lluvias es de verano, con un porcentaje de precipitación invernal de 10.2 y con invierno fresco. La temperatura media anual es de 20°C y con una oscilación anual de las temperaturas mayor de 14°C (muy extremo). La precipitación anual es de 100 mm (INEGI 1981).

Hacia los 111° 45' de longitud oeste del Distrito de Riego, le corresponde el clima BW(h')hw(x')(e'), también de los muy secos o desérticos. El régimen de lluvias es de verano, con un porcentaje de precipitación invernal mayor de 10.2 e invierno cálido. La temperatura media anual es mayor de 22°C y la del mes más frío mayor de 18°C, se localiza en la isoyeta de 200 mm y al igual que el tipo anterior es muy extremo con una oscilación mayor de 14°C (INEGI 1981).

### *Hidrología superficial y Subterránea*

El Distrito se ubica en la Región Hidrológica 9, Sonora Sur y se encuentra distribuido en proporción desigual entre las cuencas del Río Sonora y Río Bacoachi; a este último le corresponde el sector norte de la zona agrícola y el resto a la parte baja de la cuenca del Río Sonora. Toda la zona agrícola presenta un coeficiente de escurrimiento superficial menor de 10 mm anuales (SPP 1981).

Para su abastecimiento, esta zona agrícola recurre a la explotación de dos acuíferos interconectados entre sí, denominados acuífero superior y acuífero inferior. El primero considerado de tipo libre, está constituido por material aluvial del Reciente con un espesor medio de 600 m, caracterizado en sus últimas capas por un manto arcilloso de origen marino. A su vez, el acuífero inferior se encuentra semiconfinado por el estrato arcilloso ya descrito y se constituye por clásticos y rocas extrusivas permeables del Terciario, con espesores variables hasta los 700 m de profundidad (INEGI 1993). Actualmente, el acuífero superior representa la principal fuente de explotación de agua subterránea en el área, un 22% de la recarga del acuífero es por flujo horizontal proveniente de las partes altas de las cuencas de los ríos Bacoachi y Sonora, mientras que el 78% restante procede del acuífero inferior a través del manto arcilloso. La recarga anual del acuífero superior es del orden de los 350 millones de metros cúbicos; sin embargo, anualmente un volumen de 409 millones de metros cúbicos es extraído por la operación de 498 pozos, lo cual ha ocasionado la sobreexplotación del acuífero y el avance de la intrusión salina al mismo (INEGI *op cit.*).

La calidad del agua subterránea es predominantemente dulce en las zonas este y norte, con valores entre 250 y 400 ppm de sólidos disueltos totales, presentándose problemas de intrusión salina en las partes suroeste y oeste de la zona, con valores de 800 a 8000 ppm, cuya agua es considerada no apropiada para el cultivo agrícola. Existen otras zonas, donde el agua es catalogada como tolerable para el cultivo agrícola, pues sus aguas contienen una concentración máxima de 525 ppm de sólidos disueltos (Distrito de Riego No. 51 1993).

### *Vegetación*

El área de estudio forma parte de dos subdivisiones del Desierto Sonorense.

El suroeste y oeste de la zona agrícola se encuentra en la subdivisión Costa Central del Golfo. Las comunidades vegetales que conforman esta subdivisión se caracterizan por una heterogeneidad en su composición y porque sus elementos están ampliamente espaciados entre sí. La vegetación es una asociación de arbustos bajos y medianos como *Jatropha cuneata* y *J.*

*cinerea*, *Larrea tridentata* y *Atriplex polycarpa*, los dos últimos se encuentran entre los arbustos más comunes. También se presentan árboles bajos y de hojas pequeñas como *Bursera hindsiana* y *B. microphylla* o de tallo fotosintético como *Cercidium microphyllum*. Las cactáceas más frecuentes son *Opuntia bigelovii*, *Mammillaria microcarpa*, *Pachycereus pringlei*, *Carnegiea gigantea* y *Lophocereus schottii* (Shreve y Wiggins 1964).

La porción este de la zona agrícola, yace sobre la subdivisión Planicies de Sonora. Los remanentes de vegetación natural pertenecientes a tal subdivisión, están dominados por árboles y arbustos y se observa un incremento en la cobertura herbácea. La fisionomía dominante es descrita como una asociación de leguminosas dispersas y árboles heliófitos; la altura de los árboles varía entre 4 y 5 metros, incluso hasta los 8 y 10 metros. Las especies mejor representadas son *Cercidium microphyllum*, *C. floridum* y *Prosopis glandulosa*. Una especie poco común es *Forchammeria watsoni*, un árbol esclerófilo perenne muy localizado en esta parte del Desierto Sonorense. *Encelia farinosa* alcanza su máximo desarrollo y forma grandes agrupaciones (Aguirre-Murrieta *et al.* 1974, Turner y Brown 1994).

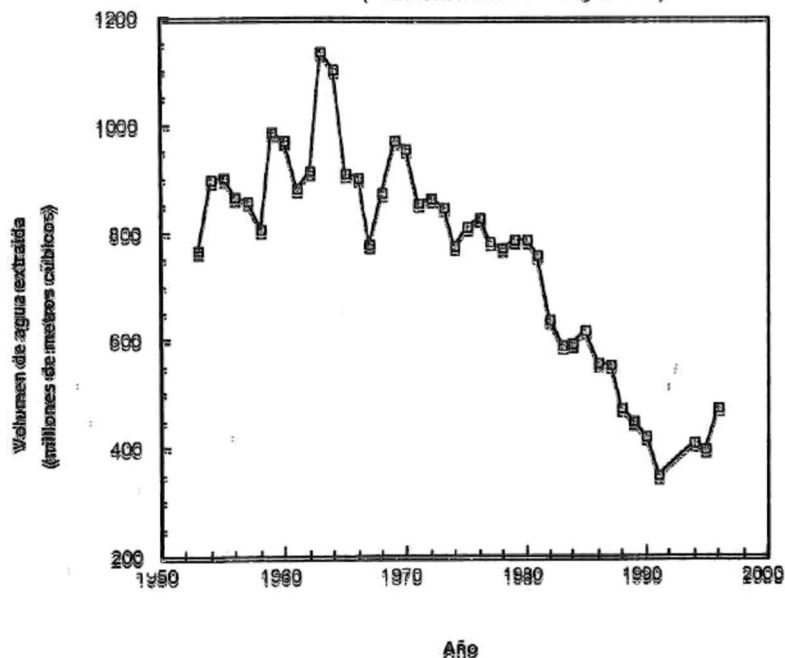
En la actualidad existen fragmentos de diferente tamaño con los dos tipos de vegetación descritos.

## Resultados y Discusión

### Desarrollo Productivo y Decadencia de la Costa de Hermosillo

Se tienen registros de que los pioneros de la Costa de Hermosillo fueron los hermanos Ignacio María y Pascual Encinas, quienes provenientes de la región de Sahuaripa en 1844, establecieron en el área de Siete Cerros la Hacienda San Francisco de la Costa Rica (Thomson 1989). Ahí mismo en 1844 el primer pozo fue perforado para proveer de agua al ganado y regar algunos campos de maíz y trigo. Entre mediados del siglo pasado y 1940, se registró la llegada de inmigrantes europeos y de algunos colonizadores nacionales, los cuales se asentaron en los márgenes del Río Sonora y utilizaron las aguas provenientes de las avenidas para regar sus tierras, así como para mantener el ganado de sus haciendas y ranchos (Moreno 1997 *manuscrito en prensa*). Pero no fue hasta los años 40's cuando los propietarios locales, fomentados por el gobierno federal para incrementar la producción agrícola, perforaron algunos pozos, de tal manera que para 1945 estaban en funcionamiento 15 pozos. Seis años más tarde el número alcanzó 258 y para finales de los años 50's el agua de 450 pozos estaba siendo usada para irrigar 106 515 hectáreas. Estas eran fundamentalmente de propiedad privada y cultivaban principalmente algodón y trigo. Para 1980, 498 pozos estaban en operación, mismos que permanecen en la actualidad (West 1993). Durante este período hubo una gran proliferación de pozos que comenzaron a bombear agua subterránea en una forma masiva sin ninguna regulación o control. El volumen de agua extraída en el acuífero para uso agrícola de 1953 hasta 1996 se muestra en la Figura 2.

Fig. 2.- Serie histórica de extracción de agua en el acuífero que alimenta el Distrito de Riego No. 51-Costa de Hermosillo, (Comisión Nacional del Agua 1997)



Cabe mencionar que una de las circunstancias que propició el desarrollo espectacular de la Costa de Hermosillo, fue la construcción de la Presa Abelardo L. Rodríguez iniciada en 1944 y concluida en 1948, en las inmediaciones de la ciudad de Hermosillo. Con su construcción, los productores de la parte baja de la cuenca ya no contaron con las aguas provenientes del caudal del Río Sonora para regar de manera natural sus propiedades. Fue cuando surgió la necesidad de buscar agua en el subsuelo y perforar pozos (Thomson 1989). Así, se daría el desarrollo inicial de uno de los sistemas de agricultura más intensivos y modernos en el noroeste del país. Sin embargo, ello significó el impacto sobre una gran extensión de hectáreas de vegetación nativa, conformada en gran parte por extensas mesquiteras descritas en Thomson y más hacia la línea de costa por una gran cantidad de cactus. Toda esta riqueza sería derribada en muy pocos años para abrir nuevas tierras al cultivo en el Distrito.

En 1953 se publicó en el Diario Oficial la creación del Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo, el cual abarca una superficie de 1' 480 000 has; ya para esas fechas la región agrícola presentaba problemas de abatimiento del acuífero, debido a que se extraía más agua de la que llegaba naturalmente al acuífero y a pesar de la veda decretada en 1951 para regular las extracciones de agua. En 1954 se expidió una ampliación de la zona vedada en 1951; a diferencia de la primera, incluyó una serie de lineamientos que regulaban la extracción en un

área mayor a la región propiamente agrícola. En 1967 se decretaría una tercera veda. No obstante, de todos los documentos expedidos el más importante fue el reglamento para la explotación de aguas subterráneas de 1963, que planteó por primera vez y de manera explícita la disminución de las extracciones de agua en el Distrito. En 1963, también se observó que además del problema de sobrexplotación, la contaminación del acuífero por intrusión salina comenzaba a hacerse presente y en 1964 se detectó el primer pozo contaminado con sales (CNA 1992, Moreno 1997 *manuscrito en prensa*). Veinte años después, la salinización continuó y fue evidente en la mayoría de los pozos cercanos al mar y en 1977 se recomendó la reducción de las extracciones de agua en un 50% (Distrito de Riego No. 51 1974 y CNA 1992). No obstante, la extracción de agua del acuífero entre 1970 y 1980 siguió siendo alrededor de los 840 millones de metros cúbicos, mientras que la capacidad de recarga del acuífero era de solamente 350 millones de metros cúbicos (SARH 1988). En consecuencia, esto provocó dos problemas fundamentales para los agricultores:

1) Intrusión salina en el manto acuífero. En condiciones naturales, existe un cierto equilibrio entre el acuífero y las aguas marinas; pero al incrementarse la extracción del acuífero, el nivel del mismo disminuye y el agua de mar penetra ocasionando la contaminación del agua dulce (Distrito de Riego No. 51 1974).

Debido a que las restricciones impuestas no fueron suficientes, la intrusión salina siguió avanzando y en enero de 1980 se decretó la reubicación de 105 pozos afectados por este proceso. Algunos de estos pozos contienen aguas de características físico-químicas totalmente inadecuadas para el uso agrícola, provocando daños considerables en la producción, además del ensalitramiento de los suelos; asimismo, otros pozos están bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero (DIARIO OFICIAL 1980). Los 105 pozos regaban una superficie de aproximadamente 31 500 has y a la fecha únicamente se han reubicado 42 pozos, los cuales comprenden una superficie de 12 600 has. Sólo 5000 has de terreno presentan salinidad en el suelo (*com per* Ing. Roberto Biebrich jefe del D. R. No. 51 1993 e Ing. Ramón Gámez León, Jefe de Operación del D. R. No. 51 1997).

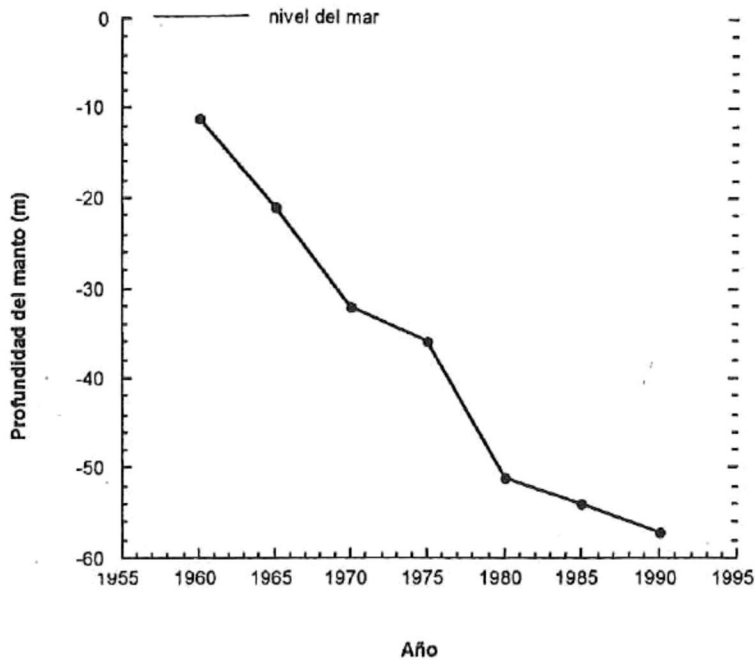
Para llevar a cabo la reubicación se expropiaron 55 000 has de terrenos localizados al norte del Distrito, pero debido a la falta de recursos económicos para construir la infraestructura necesaria (camino, tendidos eléctricos) y a causa también de que el decreto no obligaba al productor a reubicarse a la zona llamada de relocalización, el programa de rehabilitación de la Costa no tuvo el éxito esperado (Moreno 1994).

Vale la pena resaltar, que la parte más impactada de la Costa de Hermosillo por el avance de la intrusión salina y donde se registra el mayor número de campos abandonados, es la zona sur de la región. En la parte norte la calidad del agua es predominantemente dulce y de hecho es la zona que se escogió para la reubicación de los pozos afectados por la intrusión de sales en el acuífero (*obs per* M. J. Martínez).

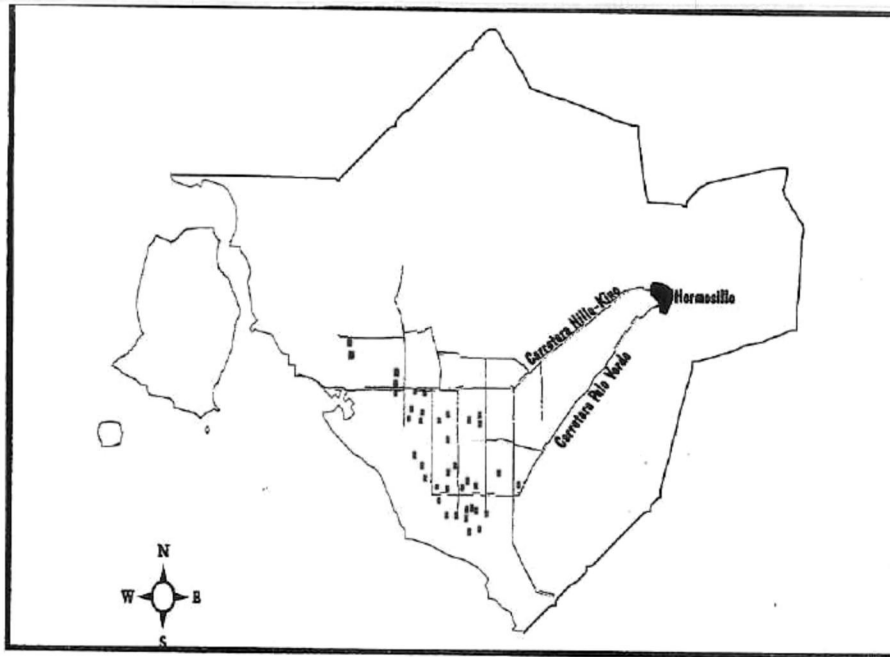
Es importante aclarar que los productores reubicados abandonaron la tierra porque la intrusión salina penetró en sus pozos, no obstante, toda la infraestructura y labor humana fue trasladada a otros sitios donde la producción se inició de nuevo. Sin embargo, hubo productores que se rehusaron a ser reubicados, por lo cual optaron por dejar de producir (cerrar el campo y consecuentemente el abandono del mismo) y vender sus derechos para el uso del agua a otros productores ubicados en la zona fuera de riesgo por intrusión salina (*com per* Ing. Ramón Gámez León, Jefe de Operación del D. R. No. 51 1997).

2) Abatimiento del manto acuífero. A pesar de la implementación de los programas de reducción de extracciones de agua en las décadas pasadas, la sobreexplotación de los mantos acuíferos continuó, aunque con una intensidad menor que en años anteriores. Los niveles promedio de abatimiento a finales de los 60's y principios de los 70's se encontraban en 1.24 m, y a principios de la presente década el nivel ha disminuído hasta 0.35 m. Esto quiere decir que los niveles se han reducido aproximadamente en un 70%. Pero aún así, el abatimiento persiste debido a que los niveles estáticos medios siguen profundizándose (Moreno 1994 y SARH 1988). En el Distrito, el nivel rebasa ya los 50 metros bajo el nivel del mar. La profundidad del acuífero en la Costa de Hermosillo y su evolución en las últimas tres décadas se presenta en la Figura 3.

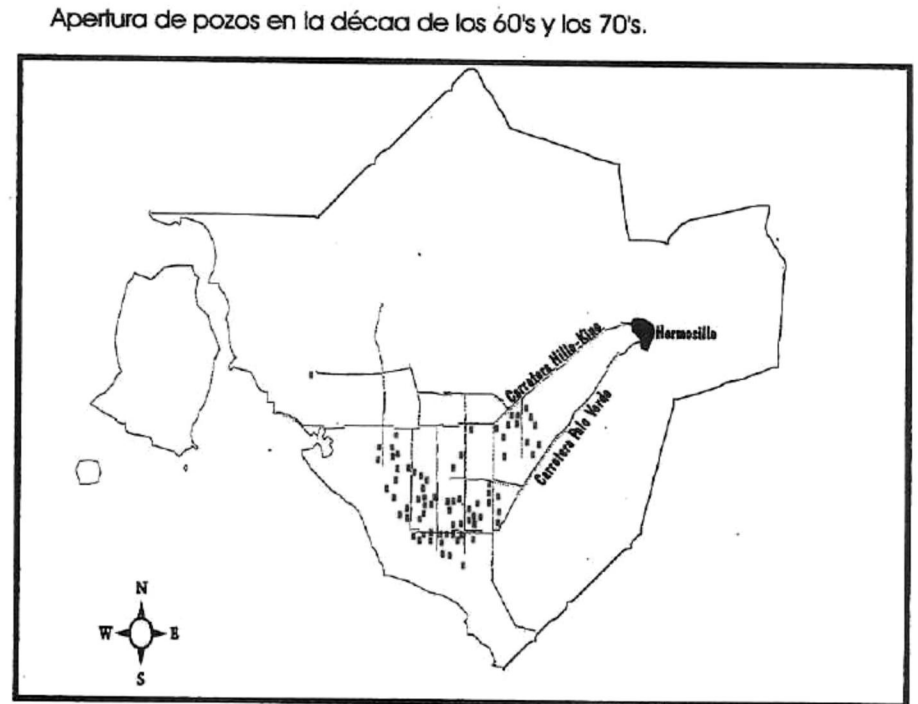
Fig. 3.- Abatimiento del manto acuífero subterráneo, en las últimas tres décadas en la Costa de Hermosillo.  
(Moreno 1994)



En los años 60's y 70's hubo una mayor extracción de agua en el acuífero y un aumento en el número de pozos abiertos (Figura 4). Es posible notar en la misma Figura que en las tres décadas esquematizadas, muchos de los pozos fueron abiertos cerca del mar, a una distancia entre 8 y 15 km. de la costa marina. Así que, si se considera que la mayoría de los pozos fueron abiertos cerca del mar, posiblemente ello sea un factor que dio como resultado la aceleración en la tasa de salinización. Cabe aclarar que en las décadas esquematizadas en la Figura 4, no se consideraron todos los pozos abiertos en el norte y sur de la región, debido a que no se dispuso de las fechas de apertura de todos ellos.



Apertura de pozos en la década de los 40's y los 50's.



Apertura de pozos en la década de los 60's y los 70's.

Apertura de pozos en la década de los 80's.

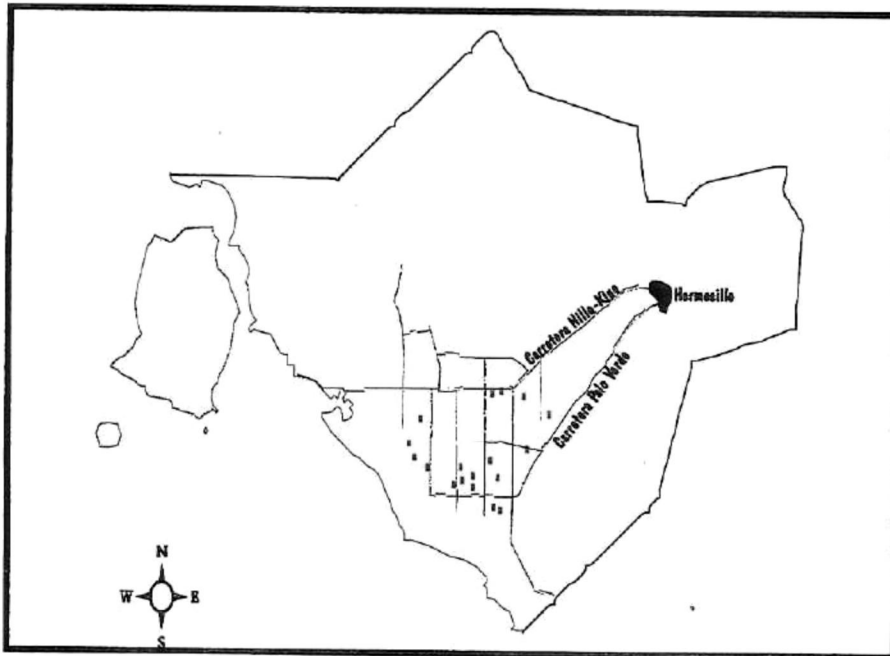


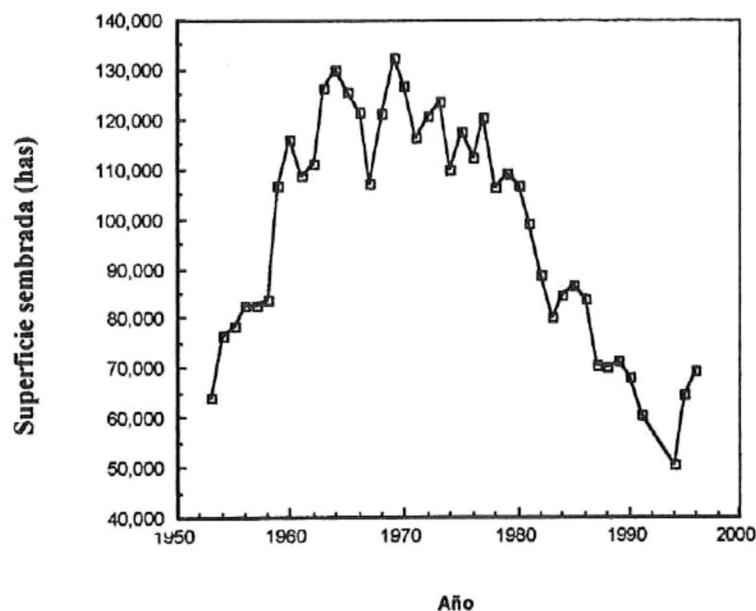
Fig. 4.- Desarrollo de la apertura de pozos desde el inicio de la Costa de Hermosillo, hasta la década de los 80's. (Distrito de Riego No. 51 1996)

Obviamente al haber limitantes en el uso del agua, también hubo una disminución en la superficie sembrada (Figura 5). De 1970 a 1996 la superficie sembrada se redujo un poco más del 50% (SARH 1995), por lo que se podría suponer que aproximadamente 60 000 has se encuentran sin cultivar, lo que quiere decir que están abandonadas o dedicadas a alguna otra actividad como la ganadería de tipo “marginal”.

Recientemente la ganadería extensiva, ha ido ganando terreno a costa de los campos abandonados, provocando aún más la erosión de los suelos y la dispersión de malezas en los campos de cultivo. Asimismo, se registra cada vez más superficie dedicada a la siembra de forrajes y el libre pastoreo de los residuos de las cosechas, lo que está dando lugar a un mayor empobrecimiento y compactación de los suelos (Martínez 1993).

No obstante los efectos negativos de esta actividad, la gente de algunos campos afectados está optando por esta alternativa debido a que el ganado se alimenta de muchas de las malezas y plantas nativas que crecen en el lugar, por lo cual la inversión es muy baja para su mantenimiento.

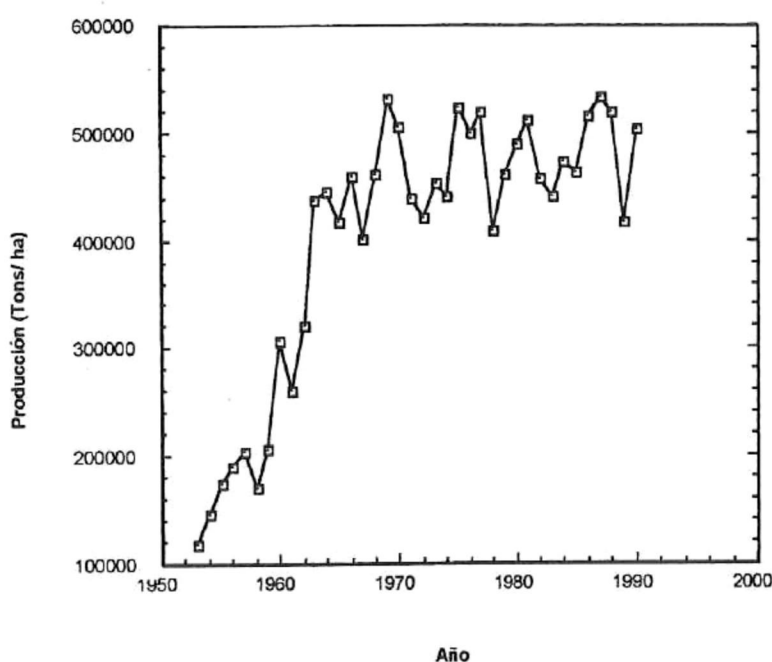
Fig. 5.- Superficie sembrada en la Costa de Hermosillo desde 1953 a 1996.  
(Distrito de Riego No. 51 1997)



Por otro lado, a pesar de haber habido una baja sustancial en la superficie sembrada, la producción general de la Costa de Hermosillo no ha disminuido de una manera proporcional, los niveles se han mantenido relativamente estables desde 1963 hasta 1990 (Figura 6). Dada

esta situación es posible observar que un proceso de desertificación no siempre es acompañado de una marcada disminución de la producción como lo marcan algunos autores (Dregne 1976, Anaya 1977 en Ortiz-Solorio *et al* 1994). La desertificación también puede ser expresada en términos de una alta producción (Castellanos 1997), aunque ello sea producto de incrementos en los costos de producción, debido a la mayor entrada de insumos como fertilizantes, fungicidas, mejoradores de suelo y herbicidas; pero con una consecuente pérdida de los recursos naturales y de las relaciones funcionales del ecosistema. En este caso producción es interpretada en toneladas de materia vegetal cosechada.

Fig. 6.- Cambios de la producción en la Costa de Hermosillo desde 1953 a 1990. (SARH 1993)



La reconversión de cultivos fue un elemento clave para enfrentar la problemática de La Costa. La introducción de nuevos cultivos perennes principalmente, fue fomentada a mediados de los años 70's, bajo el supuesto de una mayor eficiencia en el uso del agua con respecto a los cultivos tradicionales (SARH 1988). En el Cuadro 1 se observan los distintos volúmenes de agua utilizados para algunos de los cultivos introducidos (denominados nuevos) y ciertos cultivos ya sembrados con anterioridad (denominados tradicionales).

**Cuadro 1.- Volumen de agua utilizado en millones de metros<sup>3</sup>, área plantada y producción para los cultivos tradicionales y para los nuevos cultivos en el ciclo agrícola 1975-1976.**

(SARH 1988)

CULTIVOS	AGUA USADA (mm <sup>3</sup> )	AREA PLANTADA (has)	PRODUCCION (Tons/ha)
Cultivos tradicionales			
Trigo	474 144	71 840	4.6
Garbanzo	15 754	2 800	1.9
Algodón	122 080	14 000	3.5
Cártamo	19 199	3 200	2.0
TOTAL	631 117	91 840	12.0
Nuevos cultivos			
Uva de mesa	7 400	1 000	6.46
Uva industrial	24 735	3 400	11.52
Cítricos	21 060	2 600	20.0
Nogal	11 100	1 500	1.0
TOTAL	64 295	8 500	38.97

No obstante que la reconversión de cultivos fue uno de los principales esfuerzos encaminados a evitar la decadencia de la Costa de Hermosillo, no se ha logrado elevar la prosperidad de años anteriores. La contaminación salina del acuífero y el sobrebombeo de agua subterránea persisten, y han creado condiciones de abandono en ciertas áreas de la región.

Por otra parte, existen campos abandonados en áreas consideradas fuera de riesgo para la contaminación salina del manto freático. Dichos campos han sido abandonados por diversos motivos, pero los más frecuentes han sido por falta de agua (no por su ausencia sino porque el productor no tiene la dotación autorizada para bombearla, o la dotación la rentó o la vendió a otros productores), escasez de recursos económicos y por deudas con la Comisión Federal de Electricidad. Dicha deuda provocó el corte de energía en 142 pozos en 1993 (Moreno 1994). Tales factores indujeron a muchos productores a cerrar sus campos o reducir el área de cultivo. La cantidad de hectáreas abandonadas por estas situaciones varía anualmente debido a que algunos de estos campos son reabiertos al cultivo cuando el productor logra pagar sus deudas y hacerse acreedor a un nuevo crédito de siembra, al mismo tiempo que otros son cerrados por falta de recursos. Por tal motivo el Distrito de Riego No. 51 no cuenta con un registro exacto de

campos cerrados o superficie sin cultivar (*com per* Ing. Ramón Gámez León, Jefe de Operación del D. R. No. 51 1997). Sin embargo, Moreno (1994) menciona de la existencia de 50 campos cerrados por problemas de salinidad y/o falta de recursos económicos en la región.

Como consecuencia del uso dispendioso del agua durante el crecimiento y desarrollo de la Costa de Hermosillo, actualmente existe una tendencia hacia un mayor incremento en la superficie sembrada de cultivos perennes, de tal manera que en el último ciclo agrícola 96-97, se sembraron 18,837 has de cultivos perennes, entre los que destacan por su importancia en superficie la vid, los cítricos y el nogal. Otros de los cultivos que en los últimos años han cobrado importancia por su supuesta eficiencia en el uso del agua, son las hortalizas, de las cuales en este último ciclo se sembraron 5,198 has. Durante este mismo ciclo, aunque la superficie sembrada de cultivos básicos (tradicionales) como trigo, garbanzo, cártamo, algodón y sorgo fue mayor (31,916 has) en comparación a la superficie de perennes, la tendencia de los primeros es hacia un descenso de su superficie sembrada con respecto a los ciclos anteriores. El número total de has sembradas para el ciclo agrícola 96-97 en la Costa de Hermosillo fue de 61,049 has, que de alguna manera resumen o expresan las consecuencias negativas del auge agrícola en la región (Distrito de Riego No. 51 1998).

### Conclusiones

Las principales causas que produjeron el deterioro de la Costa de Hermosillo fueron el abatimiento del manto acuífero por la sobreexplotación del mismo y la intrusión salina derivada de aquél. Este proceso afectó sobre todo a los pozos más cercanos a la línea de costa, por lo cual, la parte sur de la Costa de Hermosillo es la más impactada y donde se registra el mayor número de campos abandonados.

Las respuestas del gobierno a las crecientes dificultades con el manejo del agua en la Costa de Hermosillo, hasta el momento no han sido suficientes, debido a que el uso inadecuado del recurso y el abatimiento del acuífero subterráneo persisten. En este sentido, sería importante realizar estudios recientes sobre la condición actual del manto freático, para que las políticas de manejo sean acordes a la situación real del acuífero subterráneo y por ende del recurso agua.

Tanto los campos que permanecen en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero, así como algunos de los ya relocalizados, no necesariamente deben considerarse como tierras en las que el pozo y el suelo están contaminados por sales, sino que están bajo un inminente riesgo de intrusión salina en el acuífero. La permanencia de los campos no reubicados en la zona de riesgo, crea a futuro un escenario bastante desolador e insostenible para la Costa de Hermosillo. Por ello es prioritaria la relocalización de los pozos con inminente riesgo de intrusión salina a la zona expropiada para tal efecto al norte del Distrito de Riego, así como la disminución del volumen de agua extraída del acuífero al nivel de la recarga natural (350 millones de metros cúbicos), para detener la intrusión salina y el abatimiento del acuífero. Por último, dado que los cultivos perennes y otros cultivos como hortalizas, presentan una alta eficiencia en el uso del agua, incrementar la superficie sembrada de ellos puede ayudar a reducir el volumen de agua bombeada del acuífero.

Los efectos de la agricultura en la región han contribuido a la remoción de la vegetación nativa, dejando sólo pequeños parches de la misma dentro del gran paisaje de campos de cultivo. Ha producido también, cambios en los perfiles del suelo, el ensalitramiento de algunas porciones del suelo, la intrusión salina en el acuífero subterráneo y la sobreexplotación del mismo.

Los terrenos agrícolas de la Costa de Hermosillo, han sufrido una disminución de su potencial productivo, afectando la regulación del ciclo hidrológico, la permanencia de la biodiversidad, la fijación de energía y la sucesión como un proceso de restauración natural. En conclusión, se ha afectado la capacidad biológica del sistema. Hoy día, en una porción considerable de la Costa

de Hermosillo sólo quedan campos agrícolas desolados y diques desmoronados, testigos del tremendo capital invertido durante su auge.

Actualmente en la Costa de Hermosillo se puede observar un mosaico muy heterogéneo de terrenos abandonados con diferencias en edad, características de suelo y desarrollo de la vegetación. Las diferencias en vegetación se dan principalmente por distintas historias de manejo en los campos, época de abandono (verano, invierno) lo cual determina en gran parte la disponibilidad de especies invasoras, heterogeneidad ambiental del terreno, fluctuaciones climáticas y atributos de historia de vida y fisiológicos de las especies. Dado el abandono, la heterogeneidad ambiental, edafológica y el mosaico de vegetación existentes, la aproximación de la segunda parte del trabajo, está enfocada a un conocimiento de la estructura de las comunidades vegetales participantes en el proceso de sucesión natural de los campos de cultivo abandonados en esta zona agrícola.

## CAPITULO II

### SUCESION SECUNDARIA EN LOS CAMPOS DE CULTIVO ABANDONADOS DE LA COSTA DE HERMOSILLO

#### Introducción

Por sucesión se entiende un cambio secuencial en la abundancia relativa de las especies dominantes en una comunidad (Odum 1969, Huston y Smith 1987), inducido por cambios ambientales, propiedades intrínsecas de las plantas y perturbaciones antropogénicas. Su dinámica es central para comprender la estructura de todas las comunidades de plantas, debido a que es un proceso modelador en el cual una población vegetal es reemplazada por otra.

Se puede hablar de sucesión primaria y sucesión secundaria. La primera se refiere al desarrollo de la comunidad en un lugar donde previamente no han existido poblaciones vegetales y la sucesión secundaria es el término usado para describir la recolonización progresiva de especies en suelos donde la vegetación previa fue destruida, como en el caso de campos agrícolas abandonados (Richardson 1977).

Aún cuando a nivel nacional existe la cantidad de más de 500 000 has de terrenos agrícolas abandonados con problemas de desertificación, por efecto de la destrucción de la cubierta vegetal y alteración de la estructura del suelo (Comisión Nacional de Zonas Áridas y Secretaría de Desarrollo Social 1994), estudios de la dinámica vegetal secundaria en campos abandonados no se trabajan en México. En dichos terrenos se desconoce cuáles son los factores que teóricamente pueden alterar la trayectoria sucesional, también se ignora si la vegetación retoma a su estado original o si varios tipos de vegetación alternativos pueden establecerse por las condiciones iniciales de abandono. De los estudios de sucesión conducidos en México, se puede señalar el trabajo de Gomez-Pompa y Vazquez-Yanes (1985), realizado en diferentes sitios del ecosistema tropical de Veracruz, perturbados por fuego, agricultura o ganadería. La importancia de los estudios sucesionales en sitios perturbados como un proceso de recuperación natural tiene gran relevancia en consideraciones de manejo.

En este contexto, el propósito de esta segunda parte del estudio, fue conocer la estructura de las comunidades vegetales participantes en el proceso de sucesión natural y discutir las trayectorias sucesionales determinadas por las condiciones del suelo de los campos de cultivo abandonados en la zona agrícola de la Costa de Hermosillo.

### Sucesión en zonas áridas

Connell y Slatyer (1977), proponen que la secuencia de especies en un proceso sucesional puede estar determinada por varios mecanismos alternativos. Los tres mecanismos o modelos sugeridos por ellos, pueden provocar un cambio sucesional después de una perturbación.

El primer modelo de la facilitación señala que la entrada y crecimiento de un individuo es dependiente de la primera especie, la cual modifica el suelo y el microclima, solo después de esto una segunda especie puede colonizar. En dicho modelo la muerte de las primeras colonizadoras es debida a un proceso de competencia con las invasoras tardías. Evidencias que apoyen el modelo de la facilitación en zonas áridas provienen de Wells 1961 (en MacMahon y Wagner 1985). A pesar de las incertidumbres acerca de una sucesión real en desiertos, cambios y secuencias de especies los cuales parecen ser autogénicos en algún grado, fueron descritos por este autor, quien comparó la vegetación en las calles de un pueblo fantasma en Nevada de 33 años de abandono, con las áreas no perturbadas. Wells considero el desarrollo de la vegetación en las calles un proceso seral.

Cambios a largo plazo en la estructura de la vegetación en desiertos, son frecuentemente el resultado de interacciones bióticas entre especies. La sobrevivencia de plántulas de *Carnegiea gigantea* muestran que su desarrollo depende de la sombra de otras especies (plantas nodrizas) o en ocasiones de la sombra de rocas (Niering *et al.* 1963).

Otro tipo de sucesión en desiertos que podría ser en algún grado autogénica, es el tipo de sucesión cíclica. Por ejemplo las áreas abiertas del desierto de Texas, son invadidas por semillas de *L. tridentata*, cuyas semillas germinan y una vez que el arbusto es establecido, atrae pájaros y roedores que dispersan semillas de *Opuntia leptocaulis*, la cual se establece junto a la primera especie y cuando crece puede competir por agua con *Larrea* y ello conduce a la muerte de *L. tridentata*. Una vez removida la influencia protectora de *L. tridentata*, las raíces de *O. leptocaulis* quedan expuestas a procesos erosivos y a la invasión de roedores para la construcción de sus madrigueras, ello debilita el sistema radicular de la especie y muere. Ahora el espacio es disponible de nuevo para la invasión de *Larrea tridentata* (Yeaton 1978 en Barbour *et al.* 1980).

Sin embargo, en la gran mayoría de los casos se ha observado que en el desierto no ocurre sucesión en el sentido autogénico, debido a que la vegetación no tiene o ejerce poca influencia sobre el ambiente físico. No existe una evidencia clara en la base de un reemplazamiento herbácea-arbusto-árbol, la secuencia en el desierto puede simplemente involucrar un

reemplazamiento sutil de un grupo de especies por otro de la misma estatura general (Shreve 1940 en MacMahon y Wagner 1985).

El modelo de la tolerancia sugiere que durante la secuencia sucesional existe la presencia de especies que han evolucionado diferentes estrategias para explotar los recursos, por lo cual la comunidad siempre está compuesta de especies que aprovechan eficientemente los recursos de las condiciones prevalecientes. La secuencia de especies está determinada por características de historia de vida.

El tercer y último modelo llamado de la inhibición indica que todas las especies resisten invasiones de competidores. El primer ocupante se adueña de los recursos y excluye o inhibe posteriores colonizadores hasta morir, solamente entonces ocurre una liberación de recursos y pueden otras especies alcanzar la madurez. El reemplazo ocurre cuando las primeras especies mueren por disturbios locales causados por condiciones físicas o enemigos naturales tales como herbívoros o parásitos. En tal modelo existe la posibilidad de que el primer colonizador, interfiera con posteriores invasores y prevenga cualquier grado de sucesión.

El modelo de la inhibición se podría aplicar con mayor facilidad a los procesos sucesionales observados en desiertos. Las evidencias en el Desierto Sonorense que apoyan dicho modelo provienen de los siguientes estudios.

Shreve (1929) fue uno de los primeros en estudiar los patrones de cambio vegetacional en desiertos. Él registró los cambios que tomaron lugar durante un período de 22 años en la vegetación de seis pequeñas áreas localizadas en el Laboratorio del Desierto de Tucson, Arizona, y las cuales estuvieron protegidas totalmente de depredadores. Los cambios observados proporcionan alguna certeza de la longevidad relativa de las diferentes perennes. En el caso de grandes perennes como *Carnegiea gigantea*, los cambios en el número poblacional fueron pequeños, pero para perennes pequeñas frecuentemente los cambios fueron grandes. La mayoría de las áreas mostraron un incremento en su densidad poblacional durante la investigación hasta de 302% en un caso. Sin embargo, no hubo indicio de que la vegetación sufriera cambios conducentes a un reemplazamiento gradual de ciertas especies por otras. En cualquiera de las áreas todas las especies que aparecieron o desaparecieron fueron constituyentes comunes de la vegetación adyacente; en resumen no hubo evidencia de cambio sucesional.

Shreve y Hinckley (1937) observaron cambios en la vegetación sobre un período de 30 años en siete zonas marcadas del mismo sitio. Durante el lapso de observación, todas las áreas establecidas mostraron un incremento en la densidad poblacional hasta en un 851%. El número total de grandes perennes permaneció sin cambiar y sólo se registraron pequeños cambios en número, las pequeñas especies perennes presentaron un incremento considerable en densidad y en los pastos hubo algunos cambios en dominancia numérica.

La historia de todas las áreas muestra que los nuevos individuos establecidos, pertenecen a especies las cuales previamente crecieron en el área o en zonas adyacentes. Solo un caso de invasión por una nueva especie (*Haplopappus hartwegii*), se contempló en tres de las áreas. Por lo tanto, lo anterior es una mera expresión del movimiento local de las especies y un indicio de que la tendencia es hacia una representación más uniforme de todas ellas a través de toda el área. Tales investigaciones llevaron a Shreve y Hinckley a concluir que existe la carencia de una tendencia sucesional en las áreas de estudio.

Mueller (1940) no reportó evidencia de secuencia sucesional en una comunidad de *Larrea-Flourensia* al oeste de Texas; un tipo de vegetación expuesto a los disturbios más extremos. Durante el período de observación, tan pronto como el suelo pudo soportar una cobertura de plantas, el tipo de vegetación original aparece en una forma dispersa y escasa.

Cambios a largo plazo de varias especies han sido reportados por Goldberg y Turner (1986). El estudio es una continuación de las investigaciones iniciadas por Shreve en 1906 y comprende un lapso de 72 años, durante los cuales son observados los cambios en la vegetación y dinámica poblacional en los cuadrantes permanentes ubicados en Tumamoc Hill, cerca de Tucson, Arizona. Durante los 72 años de estudio, no se presentaron cambios direccionales y consistentes en la composición de la vegetación. Aunque en muchos casos las fluctuaciones en cobertura fueron más grandes que las fluctuaciones en densidad, el porcentaje total de cobertura de las plantas fue equitativamente estable en la mayoría de los cuadrantes y en todas las áreas de observación la dominancia fue consistentemente compartida entre tres o cuatro especies. La cobertura, la densidad y diversidad de especies incrementó continuamente en muchos de los cuadrantes entre 1906 y 1978. Especies menos comunes como *Cercidium microphyllum* muestran grandes fluctuaciones sobre el tiempo. Las interpretaciones de los cambios en la abundancia de plantas en términos de variables climáticas es complicado, no obstante, para la mayoría de las especies cambios en cobertura y densidad absoluta parecen haber sido una respuesta a años excepcionalmente húmedos y secos.

Turner (1990) observó la dinámica vegetacional en el Cráter MacDougal de la Sierra del Pinacate, Sonora, a través de tres fuentes de datos: fotografías tomadas entre 1907 y 1986, de lugares donde la perturbación humana y de ganado fue excluida totalmente, establecimiento de cuadrantes permanentes los cuales comprenden un período de 22 años y análisis de distribución de edad de una población de 170 años de *Carnegiea gigantea*.

Para la mayoría de las plantas registradas a través de las fotografías como *Larrea tridentata*, *Cercidium microphyllum*, *C. floridum*, *Olneya tesota* y *Prosopis* sp., hubo un marcado decremento en su número poblacional durante el período de observación principalmente entre 1907 y 1959; sin embargo, durante ese mismo lapso de tiempo la población de *Carnegiea gigantea* incrementó cuatro veces con solamente cuatro pérdidas. En los cuadrantes permanentes la cobertura de especies como *Encelia farinosa* y *L. tridentata* estuvo fluctuando ampliamente durante el período de estudio, asimismo ocurrieron tres picos de establecimiento para *C. gigantea*. Desde el comienzo del estudio sólo nueve plantas de *C. microphyllum* y una de *Ambrosia dumosa* aparecieron, ambas características de la vegetación aledaña al cráter. Los registros de reclutamiento y mortalidad para las fuentes de datos fueron comparadas con registros climáticos; de lo cual se derivó que la alta mortalidad para algunas de las especies fue probablemente el resultado de una prolongada sequía durante 1936-1964 y los establecimientos para otras parece estar relacionado con temporadas de alta precipitación. De lo anterior el autor concluye que la vegetación de los desiertos es altamente sensitiva a los cambios temporales de humedad y que los cambios observados en el Cráter MacDougal han sido rápidos y conspicuos.

Ambos estudios (Goldberg y Turner 1986, Turner 1990), tampoco muestran una secuencia sucesional, sus resultados sólo arrojan cambios en densidad y cobertura con el transcurso de los años.

### **Sucesión en campos de cultivo abandonados**

#### *Sucesión en campos abandonados de zonas templadas*

La sucesión en campos de cultivo abandonados ha sido estudiada por varios autores con diversos enfoques (Odum 1969, Tramer 1975, Keever 1950 ). Una de las descripciones más completas es la de Oosting (1942) en Odum (1960), quien tabuló la densidad y frecuencia de plantas en una serie de campos de varias edades en Carolina del Norte.

Odum (1960) estudió el aspecto funcional de la dinámica de comunidades desarrolladas en campos de cultivo abandonados, en Savannah River Plant Reservation en Carolina del Sur. La producción primaria neta fue medida durante los primeros siete años de sucesión. Cambios en

la composición taxonómica de la comunidad con el tiempo fueron conspicuos. El modelo general de sucesión resultó en un incremento de la diversidad de especies y la secuencia general de formas de vida fue de anuales a pastos perennes. El estudio mostró que la productividad no necesariamente cambia con el reemplazo de especies, ni tampoco incrementa con la sucesión. Desde el punto de vista funcional, el autor sugiere que la sucesión secundaria parece estar involucrada con una serie de estados de estabilidad temporal, cada uno de ellos asociado con una forma de vida en particular más que con un cambio de especies. Por ejemplo, después del incremento en productividad asociado con el establecimiento de las primeras anuales, se presentó una estabilidad funcional. Pueden ocurrir incrementos temporales en productividad en la transición de una forma de vida a otra. Tales incrementos pueden ser el resultado de la explotación de recursos por nuevas formas de vida y no disponibles para la especie previa; una vez que la nueva especie asuma un equilibrio funcional, presumiblemente pueda persistir hasta que las condiciones del hábitat cambien (Odum 1960).

Cambios en la comunidad están estrechamente relacionados con la diversidad de especies. Variaciones en diversidad son positivamente correlacionadas con la estabilidad de la comunidad (Odum 1969). Tramer (1975) se interesó en los mecanismos que regulan la diversidad de especies durante las primeras etapas de sucesión en un pequeño campo de cultivo abandonado en Ohio. Dicho autor analizó el patrón de diversidad de plantas durante los primeros cuatro años de sucesión. La diversidad fue calculada usando datos de abundancia y biomasa. La diversidad basada en abundancia fue baja durante el primer año y principios del segundo, aunque se registró un agudo incremento a mediados del mismo año, pero durante el tercer y cuarto año declinó y se estabilizó en un nivel intermedio. La diversidad basada en biomasa disminuyó constantemente hasta el cuarto año. Ninguno de tales patrones se adaptó al dogma convencional de que la diversidad incrementa durante las primeras etapas de la sucesión, sin embargo, las variaciones en las tendencias de diversidad en los campos, pueden ser el reflejo de distintas historias de manejo de la tierra. No obstante, que la tasa de reemplazamiento fue lenta, un cambio definitivo ocurrió en las estrategias de historia de vida dominantes en el sistema. Las anuales dominaron el campo justo después del abandono, las bianuales fueron relativamente importantes en el segundo año y las perennes llegaron a dominar completamente los años sucesivos. La riqueza de especies fue alta inmediatamente después del abandono pero declinó marcadamente durante el cuarto año.

El estudio de Keever (1950), también indica que el ciclo de vida de las especies involucradas en el desarrollo sucesional, es una característica importante en determinar la secuencia de especies. Peculiaridades como el tiempo del año en el cual la semilla madura y germina y la

relación del tiempo de germinación de la semilla con el tiempo en el cual inicia la sucesión secundaria, frecuentemente proporciona una ventaja decisiva en una especie sobre otra, para llegar a ser una invasora dominante. Keever (1950) también concluyó que aunque la influencia de una especie en su ambiente frecuentemente produce condiciones que favorecen el establecimiento de otras especies, la segunda invasora puede alcanzar la dominancia sin importar las modificaciones realizadas en el ambiente por la dominante anterior. De tal manera que el patrón sucesional tradicionalista propuesto por Clements, no siempre es un mecanismo de cambio en campos de cultivo abandonados.

Hils y Vaskat (1982) mostraron que más de uno de los modelos sucesionales propuestos por Connell y Slatyer (1977), puede ocurrir en el mismo campo y al mismo tiempo, debido a la heterogeneidad espacial que caracteriza a los campos abandonados, sin embargo al igual que en el estudio de Keever, el modelo de la facilitación fue rechazado y se vio favorecido el modelo de la tolerancia sobre el de la inhibición.

Bazzaz (1968) determinó la tendencia y tasa de sucesión natural de campos de cultivo abandonados al sur de Illinois, originalmente cubiertos por bosques. Los campos fueron establecidos a finales del siglo XVIII y principios del XIX y más tarde abandonados a causa de una severa erosión y baja producción de cultivos. La sucesión fue estudiada en campos de 1 hasta 40 años de abandono. Los campos de 1 a 3 años de abandono, fueron ocupados principalmente por anuales como *Ambrosia artemisiifolia*. Las hierbas perennes como *Andropogon virginicus* fueron prominentes en campos de 4 a 10 años de edad. Arbustos como *Sassafras albidum* alcanzaron su máxima dominancia en campos con 25 años; por otra parte, no obstante que algunas de las especies arbóreas tales como *Juniperus virginiana* aparecieron desde los cuatro años de abandono, ellos no llegaron a conformar la mayor parte de la vegetación, sino hasta los 40 años de abandono o más. Por lo tanto, la tendencia sucesional es de herbácea-arbusto-árbol. Bazzaz (*op. cit.*) concluye que la tasa de cambio y las especies involucradas en el remplazamiento, están influenciadas grandemente por la historia pasada de los campos de cultivo abandonados, sobre todo durante las primeras etapas de la sucesión. Myster y Pickett (1994), también mostraron una relación importante entre la tasa sucesional y las condiciones de abandono del campo.

#### *Sucesión en campos abandonados en zonas áridas*

Para campos abandonados en zonas áridas se conoce muy poco o nada acerca de la tasa de cambio y las especies involucradas en el remplazo sucesional. (Reichhardt 1982 en Jackson *et al.* 1991), encontró un establecimiento muy limitado de pastos perennes nativos en campos con

una edad de abandono de 40 años en el este del estado de Colorado, y donde anualmente se registra una precipitación promedio de 30 cm. Otro autor (Karpiscak 1980 en Jackson *et al.* 1991), virtualmente no encontró una cobertura de plantas en un campo con 25 años de abandono en el sur de Arizona y concluyó que el restablecimiento de *Atriplex* spp y *Larrea tridentata* era altamente variable; diez años después de este estudio el sitio se encontró prácticamente igual. En la mayoría de estos campos abandonados, las anuales y arbustos de corta vida han persistido, pero los arbustos perennes todavía son ausentes y solamente aquellos campos adyacentes a remanentes de vegetación no perturbados se han recuperado rápidamente.

### Metodología

La secuencia sucesional fue observada a través del muestreo de la vegetación con el método cuadrantes centrados en un punto en diferentes campos abandonados con una edad entre 1 y 42 años de abandono. La selección de los campos muestreados se hizo con base a los siguientes criterios: campos abandonados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero y campos abandonados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero. Se estudiaron 20 campos abandonados ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el manto acuífero y 10 campos más ubicados en la zona que no está bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero, pero están abandonados por falta de agua principalmente. Cabe aclarar que uno de estos 10 últimos campos, no estaba abandonado sino en reposo, pero fue necesario su inclusión debido a que se requería conocer la composición de plantas casi inmediatamente después de ser abandonado un campo (Figura 7, ANEXO 1).

El orden de muestreo fue arbitrario y estuvo dividido en tres etapas: a) en el verano de 1994 se muestreo la vegetación y el suelo de 12 campos de cultivo abandonados, b) en octubre de 1995 nueve campos fueron muestreados y c) durante el invierno y primavera de 1996 ocho campos más fueron examinados y en el verano del mismo año un campo más se sumo a los restantes.

El muestreo de la vegetación se realizó a través del método cuadrantes centrados en un punto, en cada campo se estableció un transecto y el número de cuadrantes por transecto estuvo determinado por el método del promedio móvil (running mean) (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974). Dentro de cada cuadrante, se realizaron mediciones de cobertura de la planta más cercana y de la distancia punto-planta. El promedio móvil se obtiene multiplicando el número de especies acumuladas cada tres cuadrantes muestreados, por el mismo número de cuadrantes, lo cual es igual a la media de las especies más importantes; el muestreo de la vegetación termina, cuando la adición de un cuadrante más al muestreo no afecta la media de las especies. El ANEXO 2 lista todas las especies encontradas en los muestreos de vegetación en los campos agrícolas abandonados.

Mediante el análisis de los datos, con las fórmulas propuestas para el método cuadrantes centrados en un punto (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974) se determinaron valores absolutos y relativos de densidad, dominancia y frecuencia, así como valor de importancia relativo para cada especie (V. I. R.). A través del índice de Similaridad de Sorensen (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974), fue determinada la similaridad entre campos.

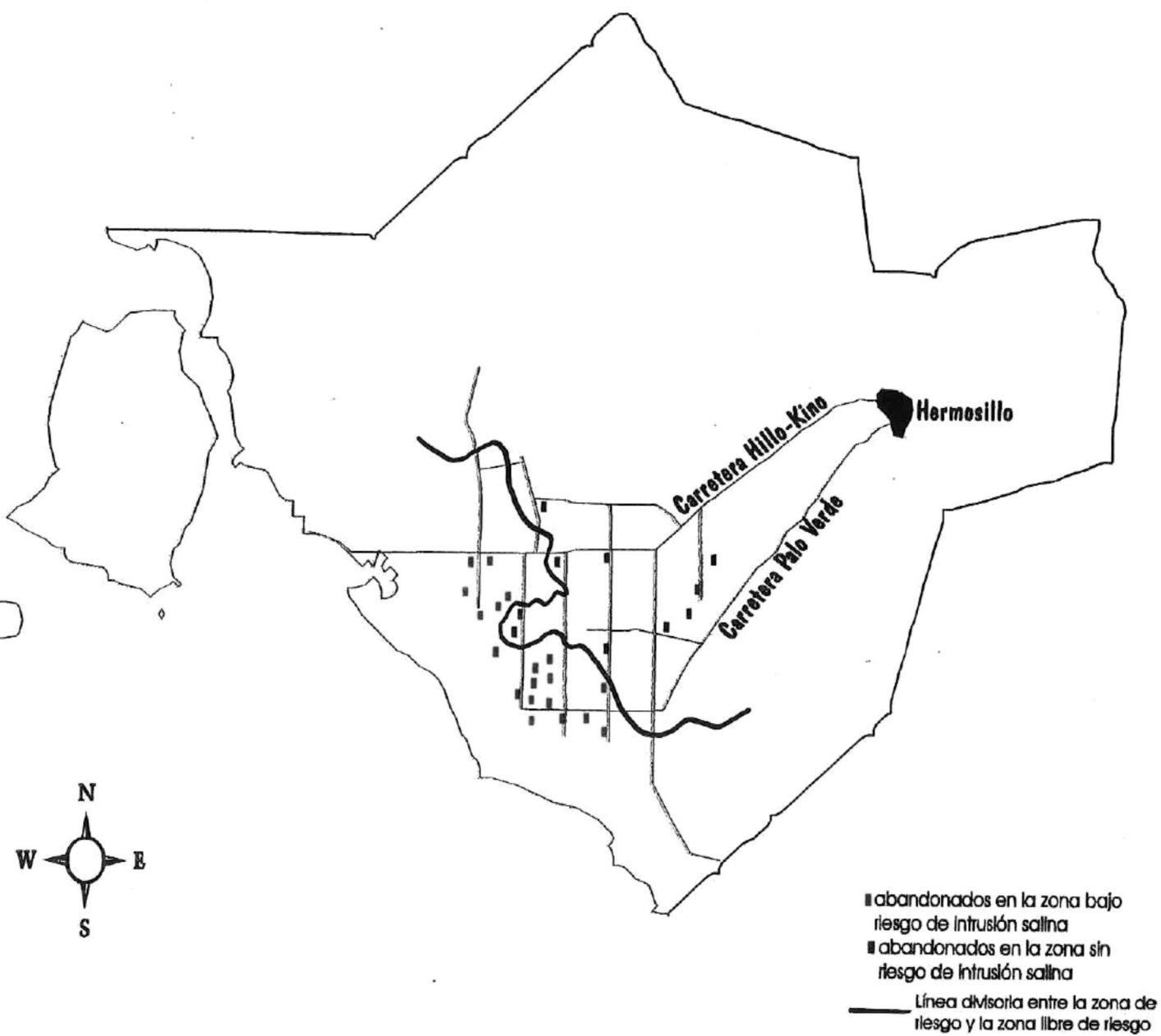


Fig. 7.- Distribución de los campos agrícolas muestreados, en el Distrito de Riego No. 51-Costa de Hermosillo.

Utilizando el método cuadrantes centrados en un punto, también se muestrearon nueve fragmentos de vegetación natural con el fin de discutir la procedencia de los propágulos a los campos abandonados, así como su posición en relación al estado sucesional de los campos abandonados.

Para el muestreo de suelos se siguió la siguiente metodología: se trazaron cinco líneas perpendiculares o paralelas al transecto de vegetación separadas 20 metros cada de otra y se escogió una al azar. Sobre esa línea, cada 15 metros se tomó una muestra de profundidad 0-15 cm sumando un total de cinco; las cinco muestras se mezclaron en una cubeta y se tomó aproximadamente una muestra compuesta de 1 o 2 kgs. de suelo.

Paralelo a los muestreos mencionados se entrevistó al propietario o algún socio del terreno, para obtener la siguiente información:

- 1.- Tiempo de abandono.
- 2.- Causas de abandono. a) por falta de agua, b) por intrusión salina al manto acuífero o c) problemas económicos.
- 3.- ¿Qué cultivos se sembraban anteriormente?
- 4.- Último cultivo antes de abandonar el terreno.
- 5.- Composición de plantas antes de desmontar por primera vez el campo.
- 6.- ¿Qué tan frecuente se fertilizaba?, cantidad y tipo de fertilizante usado.
- 7.- ¿Qué tan frecuente se aplicaban herbicidas?, cantidad y tipo de herbicida usado.
- 8.- ¿Con qué frecuencia se barbechaba el campo?
- 9.- ¿En que estación del año se abandono el campo?
- 10.- ¿El último cultivo fue cosechado totalmente o persistió parte de él?
- 11.- ¿Recuerda si el año en que se abandonó el campo se presentó alguna helada o sequía?

Las respuestas a estas preguntas se muestran en el ANEXO 3.

Los análisis de suelo de nueve campos se realizaron en el laboratorio de análisis de suelo, agua y plantas del Departamento de Ciencias del Suelo y Agua de la Universidad de Arizona. Se determinó la textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Chapman y Pratt 1973), conductividad eléctrica por el método de extractos a partir de suelos (Fixen y Grove 1990) y el porcentaje de materia orgánica por el método de Walkley Blak (Palmer y Troeh 1979). El resto de las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Edafología del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. La textura también fue determinada por el método de Bouyoucos, y para conocer la conductividad eléctrica y el porcentaje de materia orgánica, se usaron los métodos ya mencionados.

## Resultados y Discusión

### Suelos

Los resultados de los análisis de los suelos en campos ubicados en la zona fuera de riesgo por intrusión salina, se presentan en el Cuadro 2. Los resultados obtenidos muestran que la materia orgánica no incrementa con la edad de los campos. El porcentaje de materia orgánica para todos los campos es muy bajo, entre 0.24 y 1.13. El campo con dos meses de reposo, presentó el mayor porcentaje de materia orgánica (1.13), lo cual es muy posible debido a que la cosecha de trigo se había realizado recientemente y aún quedaban bastantes residuos del cultivo en el suelo. En cuanto a textura, predominan los suelos francosos, o sea aquéllos suelos con un alto contenido de limo, los cuales son suelos coherentes y forman agregados estables que los hacen resistentes a la erosión por dispersión; sólo dos campos presentaron suelos arenosos, cuya característica es su alta tasa de infiltración y su bajo contenido de materia orgánica (Kirkby y Morgan 1980). En cuanto a conductividad eléctrica, los valores son bajos de 0.2 a 1.51 mmhos/cm, por lo cual la concentración de sales en estos suelos es baja y no se consideran salinos. Desde el punto de vista agronómico, para que un suelo sea considerado salino la conductividad eléctrica debe de ser mayor a 4 mmhos/cm (Grande-López 1974).

El Cuadro 3, muestra los resultados para los suelos de los campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero. La materia orgánica aunque en general también es bastante baja para todos los campos, entre 0.09 y 1.74%, la tendencia general es hacia un ligero incremento de su contenido con el avance en la edad de los campos. Al igual que el grupo de campos ubicados fuera de la zona de riesgo, los suelos de textura francosa dominaron y tres campos registraron textura arenosa. La conductividad eléctrica fue alta para dos campos de ocho años (12 y 9.5 mmhos/cm respectivamente), para uno de 15 (10.4 mmhos/cm) y para uno de 30 (7.5 mmhos/cm), por lo cual se pueden considerar suelos salinos, el resto de los campos mostraron suelos no salinos.

**Cuadro 2.- Porcentaje de materia orgánica, textura y conductividad eléctrica, de los suelos en campos ubicados en la zona fuera de riesgo por intrusión salina al acuífero.**

Edad abandono (años)	Materia Orgánica (%)	Textura	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)
2*	1.13	Arcillo limoso franco	0.63
1	0.74	Franco limoso	1.5
3	0.39	Franco	0.67
4	0.38	Franco	0.45
10	0.83	Franco arcilloso	0.37
15	0.65	Franco arenoso	0.2
15	0.44	Franco limoso	1.51
23	0.24	Franco arenoso	0.24

\* meses

**Cuadro 3.- Porcentaje de materia orgánica, textura y conductividad eléctrica, de los suelos en campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero.**

Edad abandono (años)	Materia Orgánica (%)	Textura	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)
4	0.90	Franco	0.15
5	0.90	Franco	2.8
5	1.03	Arcillo limoso franco	0.25
5	0.62	Franco	1.5
5	1	Franco limoso	0.35
5	0.32	Franco arenoso	0.37
8	0.09	Franco limoso	12
8	0.84	Franco limoso	9.5
8	0.41	Franco limoso	0.36
13	0.19	Arena francosa	0.27
14	0.53	Arcillo limoso franco	1.3
14	1.03	Franco arcilloso	0.15
15	1.74	Franco arcilloso	0.15
15	0.39	Franco limoso	10.4
16	0.87	Franco arenoso	0.98
30	1.37	Arcilla limosa	7.5
30	1.21	Arcilla limosa	0.25
30	1.04	Arcillo limoso franco	1.15
42	0.62	Franco limoso	2.6

Los datos de los estudios de suelo indican que *Prosopis glandulosa* y *Atriplex polycarpa* son capaces de crecer en una gran variedad de texturas de suelo que varían desde franco-arenoso, franco-limoso, arcilla limosa hasta arena francosa y son bastante tolerantes a condiciones salinas del suelo pero no están restringidos a ellos.

*B. sarathroides*, también es una especie que se distribuye en una gran gama de suelos, como franco, franco-arenoso, arcillo-limoso, franco-limoso, arena-francosa y franco-arcilloso. Esta especie no se excluye de aquéllos suelos salinos, sin embargo, su densidad disminuye.

*Salsola kali*, es una de las especies bianuales que con mayor frecuencia se puede observar en diversos tipos de suelos como: franco-limoso, franco, arcillo-limoso-franco, franco-arcilloso, franco-arenoso y arena-francosa. Los suelos salinos no son un factor limitante en su distribución.

*Encelia farinosa*, una de las especies con mayor potencial de dispersión, sólo fue posible encontrarla en suelos franco-arenosos y suelos considerados no salinos (entre .2 y 2.8 mmhos/cm). Mientras que *Larrea tridentata*, puede ocurrir en suelos franco-arenosos, como suelos arcillo-limosos. En el caso de *Acacia constricta*, *Cercidium microphyllum* y *C. floridum*, se observan principalmente en suelos francosos y no salinos.

### Secuencia sucesional en campos ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero

En un campo con dos meses de reposo después de la cosecha del trigo en junio, las especies que dominaron el paisaje fueron anuales como *Taraxacum officinale*, *Argemone intermedia* y *Helianthus annuus*, con valores de densidad de 36.01, 8.99 y 288.2 inds./Ha respectivamente, y bianuales como *Salsola kali*. *Ambrosia confertiflora*, una hierba perenne de la familia de las compuestas también figuró entre las especies medianamente importantes (Cuadro 4). Dichas especies están consideradas como malezas (Valdez 1991).

En el campo muestreado con un año de abandono se mantuvieron especies que fueron encontradas en campos de dos meses como *S. kali* y *T. officinale*. *H. annuus* desaparece y *T. officinale* asume la dominancia con un valor de importancia compartiéndola con *S. kali*. *Convolvulus arvensis* y *Boerhaavia coccinea* se hicieron presentes con un valor de importancia de 49.4% y 31.36% respectivamente (Cuadro 4).

En un campo con dos años de abandono el cual fue muestreado a principios de noviembre de 1995, *T. officinale* desaparece y su lugar es ocupado por *S. kali*. *Tidestromia lanuginosa* fue la segunda especie más importante con un valor de 34.65%, aunque también fueron abundantes otras hierbas como *Amaranthus fimbriatus*, *B. coccinea* y *C. arvensis*, pero con individuos más pequeños e inconspicuos y fueron importantes en áreas abiertas donde *S. kali* no formó densas coberturas. Especies perennes como *Acacia constricta* se observan en campos con esta edad de abandono con un valor de importancia relativo de 6.77 (Cuadro 4).

La similitud florística, basada en datos de densidad entre campos de 1 y 2 años de abandono fue de 60%, las diferencias fueron florísticas y también en dirección de un cambio en dominancia entre las especies presentes. Las anuales y bianuales son las dominantes en campos de uno y dos años de abandono (Cuadro 5). La similitud entre campos de 2 años y dos meses de reposo es del 18.18%.

En campos de tres y cuatro años, la dominancia está dada en un 100% por *B. sarathroides*; un arbusto perenne de la familia de las compuestas. Sin embargo, a pesar de que en este último campo la densidad de *B. sarathroides* es mayor con respecto al campo de tres años, disminuyó la cobertura promedio de los individuos (Cuadro 4). Florísticamente, los campos de tres y cuatro años de abandono son totalmente distintos a los campos más jóvenes (Cuadro 5). Ambos campos presentan una historia de manejo diferente, pero en ambos la sucesión inició a principios de otoño.

¿Por qué *B. sarathroides* asume la dominancia hasta el tercer año?. La respuesta a la pregunta está relacionada con el ciclo de vida de la planta y con las condiciones ambientales presentes. *Baccharis* es una compuesta que produce muchas semillas pequeñas que pueden dispersarse a través del viento, así que la provisión de semillas generalmente es abundante, sin embargo, son producidas a finales de otoño madurando en invierno y su dispersión es en invierno incluso primavera, cuando las condiciones ambientales son propicias para la germinación, debido a que las temperaturas durante esa época son bajas y en ocasiones existe disponibilidad de agua por las lluvias de invierno, por lo cual la mayoría de las semillas de esta especie podrían germinar durante esos meses. Durante junio, mes en el cual los campos con dos meses de reposo, uno y dos años de abandono cosecharon su último cultivo, es posible que existan muy pocas semillas en el banco, además de que prevalecen condiciones no óptimas para la germinación, pues en esa época la temperatura y la incidencia de la radiación solar en el suelo son extremas aunado a la escasez de agua por la falta de lluvias. Al parecer hay una relación importante entre la secuencia sucesional y la temporada del año en el cual es abandonado el campo.

La sucesión inicia con plantas de ciclo de vida corta (anuales y bianuales), tamaño pequeño, producción de poca biomasa y adaptadas a sobrevivir en hábitats abiertos, de poca cobertura y gran incidencia de radiación solar. En los campos de la Costa hasta los dos años de abandono, el 80% de los organismos son hierbas y en su mayoría anuales; también algunas bianuales exóticas como *S. kali* (Cuadro 6).

En los tres modelos propuestos por Connell y Slatyer (1977) los primeros ocupantes producen modificaciones en el hábitat de tal manera que se hace menos favorable para ellos y más favorable para nuevos ocupantes. En la situación que nos ocupa, las primeras ocupantes son anuales principalmente, las cuales aparentemente producen modificaciones al ambiente y desaparecen, enseguida los campos son invadidos totalmente por *B. sarathroides*, un arbusto perenne.

A partir de los tres años, es probable que inicie una etapa asociada al mecanismo de inhibición, donde *B. sarathroides* se apropia de los recursos (agua, espacio) y excluye totalmente el establecimiento de otras especies. Durante la fase de dominancia total por *B. sarathroides* en la cual alcanza densidades de hasta 2475.24 indvs./ha, el recurso limitante (agua) parece volverse crítico para esta especie y *Baccharis* comienza a disminuir en densidad. Después de la fase de dominancia total por *B. sarathroides*, la secuencia sucesional parecería conformarse a un mecanismo de tolerancia, lo cual ocurre a partir de los 10 años. Bajo una situación así, el modelo supone que las especies siguientes son más eficientes en explotar el recurso limitante.

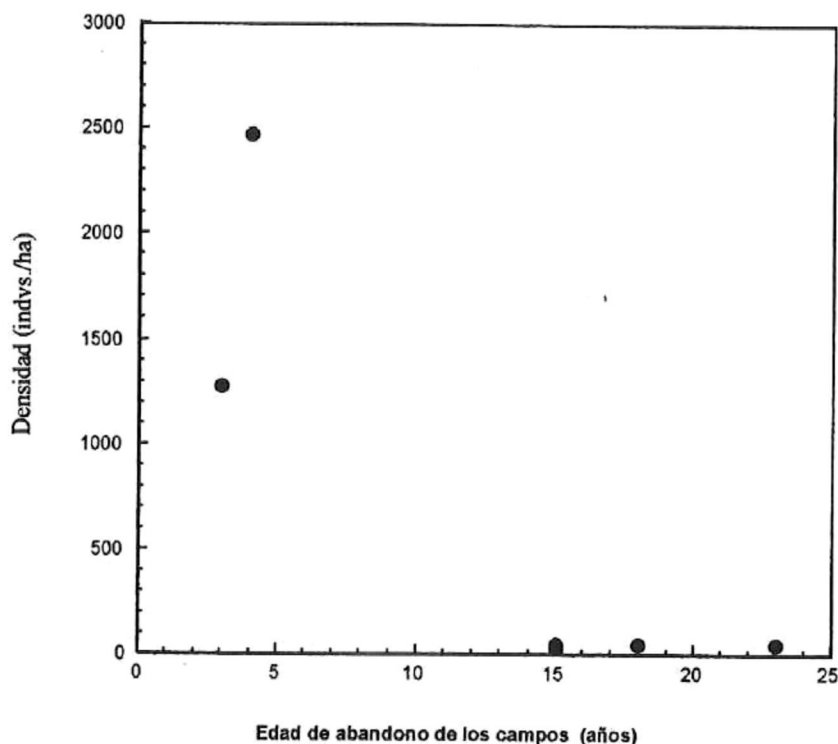
Esto es confirmado con el establecimiento de especies como *Cercidium microphyllum*, *C. floridum*, *A. coulteri* y *L. tridentata* con adaptaciones a condiciones más xéricas. Como lo supone el modelo la presencia de *B. sarathroides* continúa en presencia de las otras especies. En el caso de *P. glandulosa*, es una especie que tiene raíces profundas que alcanzan el manto freático y responde como freatofita (Coumo *et al.* 1992). El aprovechamiento del agua por parte de *Prosopis* a una distinta profundidad que el resto de las especies, permite la coexistencia y evita la competencia en un ambiente de estrés por recursos. Las condiciones de menor disponibilidad de agua que se generan en los campos conforme avanza la edad de los mismos, es posible que se deba a la poca cantidad de materia orgánica que se encontró en ellos (Cuadro 2).

En el campo analizado con 10 años de abandono sobresalieron las especies arbóreas, principalmente *Prosopis glandulosa* con un valor de importancia de 101.97%; *A. constricta* una especie arbustiva, fue subdominante con un valor de 87.12%. *Cercidium microphyllum* y *C. floridum* tuvieron valores de 41.02% y 69.83%. Las especies herbáceas no fueron encontradas en el campo de 10 años de abandono, ni tampoco *B. sarathroides* (Cuadro 4). Tal campo no es similar a ninguno de los campos anteriormente descritos, los cambios dados en este período son principalmente florísticos (Cuadro 5).

Se ha dicho (Keever 1950, Bazzaz 1968), que existe una relación importante entre la tasa sucesional y la ubicación del campo con relación a la fuente de propágulos. Ello, puede acelerar o retardar las etapas sucesionales. En el caso de este campo de 10 años de abandono, está ubicado adyacente a uno de los pocos remanentes de vegetación natural que quedan dentro de la red de cultivos y son precisamente las especies que se encuentran en el campo las mismas que se pueden observar en este fragmento de vegetación natural.

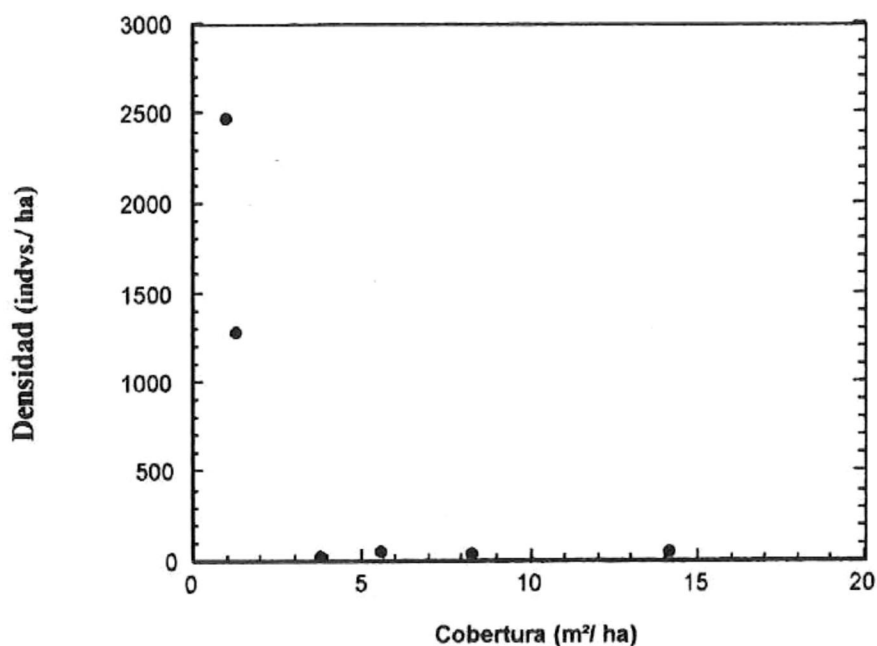
Aunque en diferentes fechas, dos campos con edad de 15 años fueron examinados. *B. sarathroides* aparece en campos con dicha edad, ocupando lugares sobresalientes en frecuencia absoluta y valor de importancia relativo, pero es notable su descenso en densidad absoluta (Figura 8).

Fig. 8.- Disminución de la densidad en *B. sarathroides*, con el avance en la edad de abandono de los campos ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero.



En estos campos localizados en la zona sin riesgo de intrusión salina al acuífero, *B. sarathroides* continúa presente durante toda la secuencia sucesional estudiada. Sin embargo, la tendencia es hacia una disminución considerable en la densidad de la especie y por otro lado, la cobertura de sus individuos se incrementa (Figura 9), observándose grandes espacios abiertos entre los individuos establecidos. Una disminución en la densidad de *Baccharis* puede deberse a un autoaclareo por parte de la especie a través de un proceso de competencia intraespecífica por el recurso agua. Al incrementar el tamaño de los individuos, también incrementa la demanda de agua por parte de ellos lo cual posiblemente ocasione la exclusión de algunos de los individuos por falta de agua.

Fig. 9.- Relación entre densidad y cobertura de *B. sarathroides*, en los campos abandonados en la zona fuera de riesgo por intrusión salina al acuífero.



Otras especies importantes fueron *P. glandulosa* y *C. microphyllum*, la prominencia de estas especies es notable sobre todo por su cobertura. Algunas especies herbáceas características de ambientes sucesionales más tempranos o perturbados, fueron encontradas en estos campos, las cuales son *Sphaeralcea coulteri*, *Cryptantha grayi*, *Nicotiana trigonophylla* y *Chenopodium leptophyllum*. *Ricinus communis* y *Encelia farinosa*, son especies arbustivas que aparecieron por primera vez en la secuencia sucesional. Todas las últimas especies aparecen por vez primera en la trayectoria sucesional. Su similitud con campos de diez años de abandono es del 30.76% (Cuadro 5).

Un campo con 18 años de edad fue muestreado en septiembre de 1996. Aparecen especies conocidas de agrupaciones vegetacionales maduras en el desierto como *Larrea tridentata*. Otras de las especies no registradas anteriormente son *Abutilon reventum*, *Atriplex canescens* y *Haplopappus sonorensis*, la cual es la especie que ocupa la mayor densidad (296.594 inds/Ha). *B. sarathroides* sigue declinando en densidad. De las especies que continúan presentes se encuentra *C. floridum* y *A. constricta*, con una densidad de 49.429 y 19.77 (indvs./Ha) respectivamente. *A. confertiflora* es de las especies que se encuentran en etapas sucesionales más tempranas y perduran aquí (Cuadro 4). Desaparecen de la trayectoria sucesional *R. communis*, *C. leptophyllum*, *S. coulteri*, *N. trigonophylla* y *C. grayi*; mientras que permanece

*E. farinosa* . La similitud entre este campo y los campos de 15 años de abandono es de 22.22%.

A pesar de que *B. sarathroides* es dominante de nuevo en el campo con 23 años de abandono, la tendencia sucesional de la especie es hacia una disminución de su valor de importancia relativo en campos de edad más avanzada. De las especies que persistieron y aumentaron en importancia se encuentran *E. farinosa*, *C. floridum*, *L. tridentata* y *A. canescens* con valores de 57.028%, 54.59%, 18.62% y 52.24% respectivamente (Cuadro 4). También hubo cambios florísticos, *Croton wigginsii* aparece por primera vez en campos abandonados. Florísticamente, este campo es parecido (66.66%) a campos de 18 años (Cuadro 5 y 6).

Cuadro 4.- Estructura de la vegetación en campos agrícolas con diferente tiempo de abandono, ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero.

EDAD (Años)	Cobertura m <sup>2</sup> /Ha	Densidad indvs./Ha	Frecuencia	V. I. R.
2*				
<i>Helianthus annuus</i>	0.38	288.2	1	186.29
<i>Salsola kali</i>	0.62	63.01	0.416	60.01
<i>Ambrosia confertiflora</i>	0.09	36.01	0.33	26.31
<i>Taraxacum officinale</i>	0.02	36.01	0.25	20.82
<i>Argemone intermedia</i>	0.06	8.99	0.083	6.41
1				
<i>Taraxacum officinale</i>	0.15	60.32	0.9	115.32
<i>Salsola kali</i>	1.37	204.92	0.3	103.69
<i>Convolvulus arvensis</i>	0.02	167.86	0.4	49.4
<i>Boerhaavia coccinea</i>	2.13	40.98	0.1	31.36
2				
<i>Salsola kali</i>	0.855	2413.8	0.71	174.3
<i>Tidestromia lanuginosa</i>	0.202	499.06	0.43	34.655
<i>Convolvulus arvensis</i>	0.007	748.83	0.35	32.2
<i>Amaranthus fimbriatus</i>	0.001	582.47	0.43	32.065
<i>Boerhaavia coccinea</i>	0.471	249.3	0.21	20.01
<i>Acacia constricta</i>	0.0025	166.35	0.07	6.77
3				
<i>Baccharis sarathroides</i>	1.25	1275.51	1	300
4				
<i>Baccharis sarathroides</i>	0.96	2475.24	1	300
10				
<i>Prosopis glandulosa</i>	11.14	107.39	0.5	101.97
<i>Acacia constricta</i>	7.29	100.22	0.5	87.12
<i>Cercidium floridum</i>	35.44	50.11	0.5	69.83
<i>Cercidium microphyllum</i>	16.35	28.63	0.3	41.02
15				
<i>Prosopis glandulosa</i>	11.16	24.56	0.83	162.59
<i>Baccharis sarathroides</i>	3.78	29.02	1	137.36
15				
<i>Baccharis sarathroides</i>	14.1	50.2	0.9	215
<i>Cercidium microphyllum</i>	76.7	1.47	0.09	21
<i>Ricinus communis</i>	5.21	2.95	0.18	16.9
<i>Chenopodium leptophyllum</i>	0.01	2.95	0.18	15.1
<i>Sphaeralcea coulteri</i>	0	2.95	0.09	9.81
<i>Encelia farinosa</i>	0.12	1.47	0.09	7.55
<i>Nicotiana trigonophylla</i>	0.03	1.47	0.09	7.54
<i>Cryptantha grayi</i>	0.01	1.47	0.09	7.53
18				
<i>Haplopappus sonorensis</i>	2.98	296.594	0.785	133.582
<i>Atriplex canescens</i>	10.365	49.429	0.214	43.803
<i>Baccharis sarathroides</i>	5.536	49.429	0.285	35.818
<i>Ambrosia confertiflora</i>	4.191	49.429	0.214	29.199
<i>Encelia farinosa</i>	0.08	49.429	0.142	15.991
<i>Acacia constricta</i>	4.099	19.77	0.142	14.321
<i>Larrea tridentata</i>	0.727	19.77	0.142	11.131
<i>Cercidium floridum</i>	11.945	9.882	0.071	10.869
<i>Abutilon reventum</i>	0.125	9.882	0.071	5.286
23				
<i>Baccharis sarathroides</i>	8.24	46.55	0.69	112.14
<i>Encelia farinosa</i>	0.87	43.83	0.46	57.028
<i>Cercidium floridum</i>	4.1	27.38	0.46	54.59
<i>Atriplex canescens</i>	34.86	16.41	0.3	52.24
<i>Larrea tridentata</i>	11.59	5.468	0.15	18.62
<i>Croton wigginsii</i>	0.3	2.73	0.07	5.32

\* meses  
V. I. R. (valor de importancia relativo)

**Cuadro 5.- Índice de similitud (%), en campos agrícolas ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero.**

<b>EDAD (años)</b>	<b>2*</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>23</b>
<b>2*</b>	100								
<b>1</b>	44.44	100							
<b>2</b>	18.18	60	100						
<b>3</b>	0	0	0	100					
<b>4</b>	0	0	0	100	100				
<b>10</b>	0	0	0	0	0	100			
<b>15</b>	0	0	0	20	20	30.76	100		
<b>18</b>	14.28	0	13.33	20	20	30.76	22.22	100	
<b>23</b>	0	0	0	28.57	28.57	20	26.66	66.66	100

\* meses

**Cuadro 6.- Secuencia sucesional en campos abandonados en la zona fuera de riesgo de intrusión salina.**

Formas de vida presentes %	hierbas 80 arbustos 20	arbustos 100	árboles 75 arbustos 25	árboles 20 hierbas 27 arbustos 53	arbustos 83 árboles 17
Edad de abandono (años)	0-2	3-4	10	15-18	23
<i>Helianthus annuus</i>	_____				
<i>Salsola kali</i>	_____			_____	
<i>Ambrosia confertiflora</i>	_____			_____	
<i>Taraxacum officinale</i>	_____				
<i>Argemone intermedia</i>	_____				
<i>Convolvulus arvensis</i>	_____				
<i>Boerhaavia coccinea</i>	_____				
<i>Tidestromia lanuginosa</i>	_____				
<i>Amaranthus fimbriatus</i>	_____				
<i>Acacia constricta</i>	_____		_____		
<i>Baccharis sarathroides</i>		_____		_____	
<i>Prosopis glandulosa</i>			_____		
<i>Cercidium floridum</i>			_____		
<i>Cercidium microphyllum</i>			_____		
<i>Ricinus communis</i>				_____	
<i>Chenopodium leptophyllum</i>				_____	
<i>Spharalcea coulteri</i>				_____	
<i>Encelia farinosa</i>				_____	
<i>Nicotiana trigonophylla</i>				_____	
<i>Cryptantha grayi</i>				_____	
<i>Haplopappus sonorensis</i>				_____	
<i>Atriplex canescens</i>				_____	
<i>Larrea tridentata</i>				_____	
<i>Abutilon reventum</i>				_____	
<i>Croton wigginsii</i>					_____

### Secuencia sucesional en campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero

*Salsola kali* con un valor de importancia de 145.94% y una cobertura 0.133 m<sup>2</sup>/ha dominó el campo de cuatro años de abandono. *Sesbania exaltata* una leguminosa anual fue abundante entre los surcos de maíz remanentes y su distribución fue correlacionada con la acumulación de humedad en los surcos, su valor de importancia fue de 63.77%. Se observa *Baccharis sarathroides* en campos con dicha edad, aunque la mayoría de los individuos son muy pequeños con una cobertura promedio de .0019 m<sup>2</sup>/ha. Se registraron otras especies de vida corta como *Sphaeralcea ambigua*, *Ambrosia confertiflora* y *Euphorbia polycarpa* (Cuadro 7). El último cultivo antes de abandonar este campo fue maíz y después de la cosecha el rastrojo fue dejado sobre el suelo para abono del mismo, lo cual pudo haber retardado la aparición de las primeras sucesionales, como son algunas de las anuales consideradas malezas en este tipo de ambientes.

Fueron analizados cinco campos con cinco años de abandono y en todos la dominancia está dada por *B. sarathroides*. Dicha especie en estos campos, asume la dominancia más tarde en comparación con los campos ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero. Los cinco campos examinados presentan una historia de manejo similar, en todos ellos los cultivos más comunes eran algodón, maíz y trigo y el último cultivo cosechado fue trigo, como consecuencia todos fueron abandonados en el mes de junio, a finales de la primavera. En dos de ellos, *S. kali* aparece como la segunda especie más importante (Cuadro 7). Debido a que *S. kali* pierde su dominancia es muy probable que exista un desplazamiento de esta especie por parte de *B. sarathroides*. Otras de las especies con características para sobrevivir en hábitats abiertos como *E. farinosa* y *Ambrosia confertifolia*, se hacen presentes principalmente en espacios perturbados por lagomorfos (observaciones de la ocurrencia de roedores fueron anotadas al mismo tiempo que se muestreaba la vegetación). *Larrea tridentata* se observa ya en uno de los campos, probablemente debido a que dicho terreno se encuentra adyacente a un fragmento de vegetación natural que nunca ha sido desmontado y donde fisiónómicamente domina la misma especie.

Los campos con cinco años de abandono presentan una similaridad florística del 54.54% con respecto al campo de cuatro años de abandono. A pesar de que hubo cambios florísticos con relación al campo de cuatro años descrito, las modificaciones son preferentemente en sentido de la dominancia entre las especies presentes (Cuadro 8). Las especies de etapas más tempranas que ya no fueron observadas en estos campos ni posteriormente, fueron *Sesbania*

*exaltata*, *Spharalcea ambigua* y *Euphorbia polycarpa*. Todos estos campos se caracterizan por presentar un bajo contenido de sales (Cuadro 3).

Tres campos con ocho años de abandono fueron estudiados. En los primeros dos campos con dicha edad, *B. sarathroides* no aparece. Dichos campos son de los que presentan mayor salinidad en el suelo (Cuadro 3), por lo cual se asume que es uno de los factores que impide el establecimiento de *Baccharis* y favorece la colonización de *Atriplex polycarpa*. Las hierbas, son la forma de vida que domina en estos campos (Cuadro 9). En esta etapa las especies con mayor valor de importancia son *S. kali* (212.74%) y *A. polycarpa* (174.13%), está última aparece por vez primera en la secuencia.

En el otro campo con ocho años, *B. sarathroides* sigue siendo la especie más importante. *S. kali* posee el lugar de subdominante y es una especie que también está en los campos más jóvenes; *Atriplex semibaccata* una maleza bianual muy poco abundante en el campo, es observada por primera ocasión y ocupa un valor de importancia de 6.4%. *A. semibaccata* es una especie introducida de Australia (Roberts 1989). Aunque poco importantes desde el punto de vista fisionómico, individuos pequeños de la especie arbórea *P. glandulosa* tienen un valor de importancia relativo de 39.9 (Cuadro 7). Este último campo, posee un bajo contenido de sales en el suelo (Cuadro 3), lo cual favorece el desarrollo de *B. sarathroides* y determina una secuencia sucesional diferente a la de los dos campos anteriores. Las diferencias florísticas con respecto a los campos de cinco años de abandono son notables y su parecido con ellos es del 30.76% (Cuadro 8).

¿Porqué *A. polycarpa* aparece en la secuencia a partir de los ocho años de abandono?. La respuesta puede encontrarse en las características del suelo. Los campos en los que ocurre esta especie son campos que presentan un alto contenido en limo y arcilla, por lo cual puede ser que exista un factor edáfico (textura principalmente), que limite su aparición en campos más jóvenes, los cuales se distinguen por tener suelos con un alto contenido en arena y limo (suelos francos), (Cuadro 3).

*Prosopis glandulosa*, es la especie que por su cobertura y valor de importancia relativo fue la más sobresaliente en el campo de 13 años y compartió la dominancia con *E. farinosa* (Cuadro 7). Bastantes especies son observadas por vez primera en la secuencia, como *Palafoxia linearis*, *Euphorbia albomarginata*, *Ditaxis neomexicana*, *Spharalcea coulteri* y *Acacia constricta*. De las especies que persistieron en esta etapa se encuentran *A. polycarpa*, *B. sarathroides* y *S. kali*. Se ha llegado a pensar que la diversidad del campo y el tipo de especies

que llega a establecerse en él, está determinado por el grado de salinidad del mismo. Su similitud con campos de 14 años es del 57.14%.

Dos campos muestreados en el mes de abril de 1996 con 14 años de abandono, pudieron ser analizados. En uno de los campos *Atriplex polycarpa* asume la dominancia con un valor de importancia relativo de 272.15 y en el otro la dominancia le corresponde a *P. glandulosa*, el cual la comparte con *B. sarathroides*. Solamente una especie sucesional de edades más tempranas es observada aquí. Es notable que *B. sarathroides* la especie dominante en campos con cinco y ocho años de abandono, empieza a decrecer en campos con 14 años de abandono, en términos de densidad y valor de importancia relativo (Cuadro 7, Figuras 10 y 11). La similitud florística de los campos de 14 años con campos de ochos años de abandono es del 66.66% (Cuadro 8).

**Fig. 10.-** Disminución de la densidad en *B. sarathroides*, con el avance en la edad de abandono de los campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero.

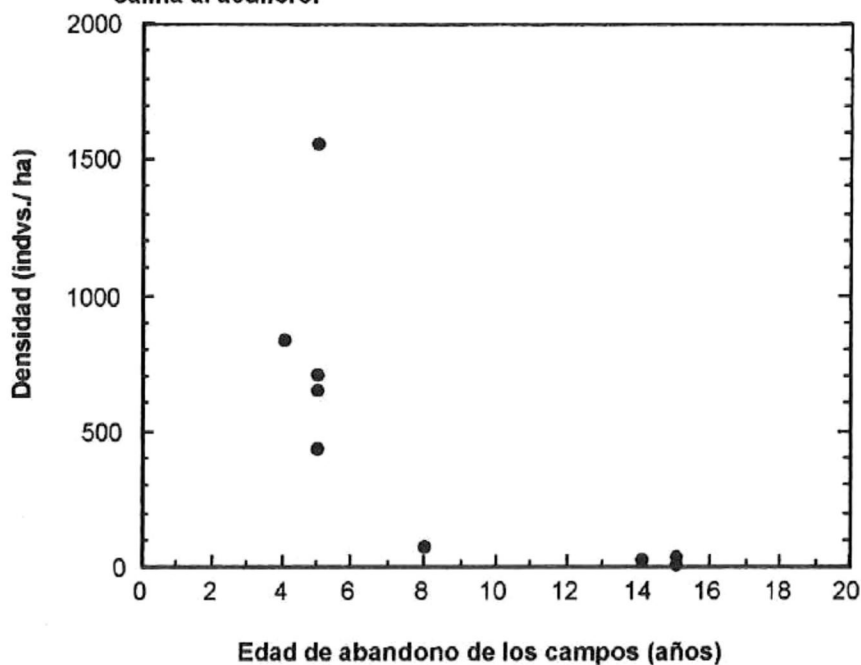
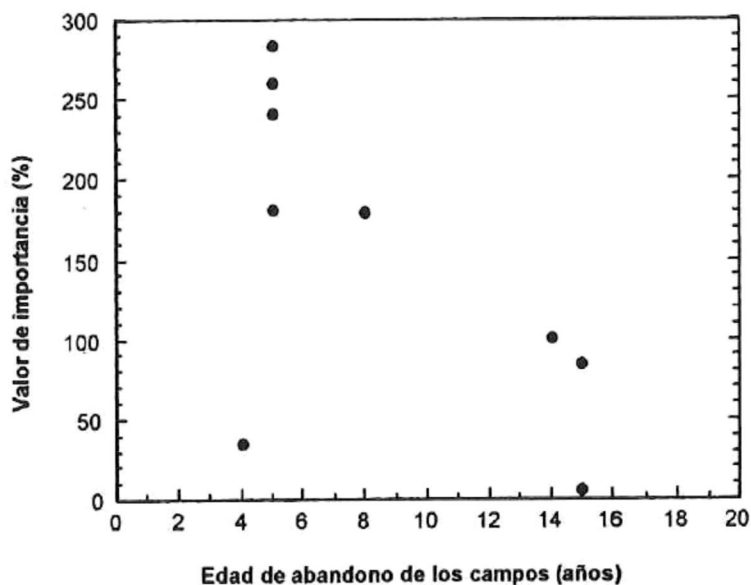


Fig. 11.- Disminución del valor de importancia relativo en *B. sarathroides*, con el avance en la edad de abandono de los campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero



Tres campos con 15 años de abandono fueron disponibles. En dos de ellos *P. glandulosa* es la principal dominante. *A. polycarpa* declina tremendamente en importancia relativa en uno de los campos, sin embargo, en el otro comparte la dominancia con *P. glandulosa*. En otro de los campos *B. sarathroides* se presenta como la especie con mayor valor de importancia relativa (250.33). Este último campo fue cultivado durante muchos años con vid y al momento de abandonarlo, los vástagos de vid fueron dejados en el campo, lo cual es probable implique un proceso de competencia con las especies invasoras y como consecuencia un retraso en la tasa sucesional; quizá por eso *B. sarathroides* se observa todavía como dominante. Especies sucesionales de edades más tempranas como *S. kali* se observan en este campo. Se cree que gracias a su eficiente mecanismo de dispersión (anemófila), logra seguir presente en los campos (Cuadro 7).

La similitud florística entre campos de 15 y 14 años basada en datos de composición es del 100% (Cuadro 8).

Se examinó un campo con 16 años de edad, el cual después de ser abandonado fue utilizado por los agricultores vecinos que introdujeron ganado vacuno, por lo cual el campo presenta grandes espacios y ello da lugar a la colonización por especies de fácil dispersión y rápido crecimiento como *S. kali*, *Portulaca oleracea* y *Amaranthus spinosus*. Sin embargo, la especie

principal dentro del campo es *Atriplex polycarpa* con un valor de importancia de 198.5%. *B. sarathroides* y *P. glandulosa* aunque muy escasamente también ocurren en el sitio, pero ellas no fueron detectadas mediante el muestreo (Cuadro 7). Este campo tiene una similaridad florística del 50% con campos de 15 años de abandono (Cuadro 8). Las diferencias son florísticas y en el orden de la dominancia. Al parecer el éxito de *B. sarathroides* está determinado en gran parte por la cantidad de sales en el suelo, lo cual impone condiciones extremadamente xéricas en el suelo, en las cuales *Baccharis* no es capaz de desarrollarse exitosamente; pero también, al parecer *Baccharis* es desplazado por *A. polycarpa* y su desaparición de la trayectoria sucesional puede deberse a una competencia interespecífica relacionada con el uso de recursos que se discutirá más adelante.

Los tres campos examinados con 30 años de abandono están localizados muy cerca de la línea de costa, por lo tanto, fueron de los primeros que a mediados de los 60's sufrieron los efectos del ensalitramiento del manto acuífero. A pesar de ello, sólo uno presentó un alto contenido de sales en el suelo (Cuadro 3), lo cual sugiere que las sales no son el principal determinante en el establecimiento y desarrollo de *Atriplex polycarpa*. En los tres campos, la especie con mayor valor de importancia es *Atriplex polycarpa* (Cuadro 7). *Portulaca oleracea* es una de las anuales que prevalece aún a esta edad de abandono. *Prosopis glandulosa* también se mantiene en el paisaje, aunque con un valor de importancia muy pequeño (14.75%), sus individuos son poco desarrollados con una cobertura de 2.2 m<sup>2</sup>/ha. *L. tridentata* aparece de nuevo en uno de los campos, pero probablemente al igual que la vez anterior, es debido a que el campo limita con un remanente de vegetación natural donde domina tal especie. Su similaridad florística con campos más jóvenes (15 años) es del 50% (Cuadro 8).

Se muestreó un campo con aproximadamente 42 años de abandono. Desafortunadamente una mínima información se pudo obtener acerca de su historia de manejo; al parecer fue abandonado desde 1953 y actualmente es posible observar un gran número de individuos pequeños de *A. polycarpa*, cuya especie registra un valor de importancia de 158.32%. La segunda especie más importante en el sitio es *P. glandulosa* (Cuadro 7). Es importante enfatizar que fue el único campo donde se registraron cactáceas, en este caso la especie encontrada es *Opuntia fulgida*. El parecido florístico entre este último campo y campos con 30 años de abandono es del 57.14% (Cuadro 8 y 9).

Dentro de esta secuencia se ven marcadas diferencias determinadas por factores edáficos. Al igual que en los campos ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero, la sucesión inicia con una predominancia de anuales, las cuales dan paso a especies arbustivas.

Aproximadamente de los cinco a los ocho años de abandono es posible observar una secuencia que indica la posible presencia del modelo de inhibición, debido a una dominancia casi total de los recursos por parte de *B. sarathroides*. Se postula que después de la liberación de los recursos por *Baccharis*, otras especies con diferentes características de historia de vida empiezan a invadir, capaces de tolerar un ambiente de mayor estrés. Sin embargo, la continuidad de *Baccharis* está determinada por el contenido de sales en el suelo y posiblemente por la presencia de *A. polycarpa*, el cual al parecer establece un proceso competitivo y desplaza a la primera especie.

Los resultados observados son similares al estudio de Hils y Vankat (1982), quienes mostraron que más de uno de los modelos propuestos por Connell y Slatyer (1977) se pueden aplicar en un mismo campo abandonado y al mismo tiempo.

Cuadro 7.- Estructura de la vegetación en campos agrícolas con diferente tiempo de abandono, ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero.

EDAD (años)	Cobertura m <sup>2</sup> /Ha	Densidad indvs./Ha	Frecuencia	V. I. R.
4				
<i>Salsola kali</i>	0.133	1284.31	0.31	145.94
<i>Sesbania exaltata</i>	0.0023	1018.16	0.52	63.77
<i>Baccharis sarathroides</i>	0.0019	841.18	0.16	35.79
<i>Sphaeralcea ambigua</i>	0.384	44.07	0.26	26.23
<i>Euphorbia polycarpa</i>	0.0009	44.07	0.31	20.58
<i>Ambrosia confertiflora</i>	0.0093	132.9	0.05	7.69
5				
<i>Baccharis sarathroides</i>	1.35	438.36	1	241.04
<i>Encelia farinosa</i>	0.41	43.63	0.33	32.43
<i>Larrea tridentata</i>	0.58	43.63	0.22	26.47
5				
<i>Baccharis sarathroides</i>	1.4	650.67	1	284.05
<i>Encelia farinosa</i>	0.04	24.08	0.14	15.95
5				
<i>Baccharis sarathroides</i>	0.36	714.28	1	260.2
<i>Ambrosia confertiflora</i>	0.007	106.29	0.37	13.07
5				
<i>Baccharis sarathroides</i>	2.143	1564.94	0.7	180.87
<i>Salsola kali</i>	0.0063	1467.13	0.7	78.94
<i>Ambrosia confertiflora</i>	0.0034	352.11	0.3	40.18
5				
<i>Baccharis sarathroides</i>	2.203	88.27	1	247.99
<i>Salsola kali</i>	0.154	23.22	0.416	52.01
8				
<i>Atriplex polycarpa</i>	4.163	50.343	0.66	174.137
<i>Portulaca oleracea</i>	1.88	42.309	0.58	114.965
<i>Salsola kali</i>	0.331	4.03	0.083	10.898
8				
<i>Salsola kali</i>	0.405	2904.15	0.93	212.74
<i>Atriplex polycarpa</i>	9.37	62.28	0.07	39.44
<i>Pectis papposa</i>	0.032	185.12	0.21	19.774
<i>Convolvulus arvensis</i>	0.012	185.12	0.14	14.876
<i>Physalis acutifolia</i>	0.028	123.53	0.14	13.17
8				
<i>Baccharis sarathroides</i>	1.136	73.97	0.92	180.11
<i>Salsola kali</i>	0.068	49.3	0.71	73.59
<i>Prosopis glandulosa</i>	1.164	12.3	0.35	39.9
<i>Atriplex semibaccata</i>	0.5	2.47	0.07	6.4
13				
<i>Prosopis glandulosa</i>	25.26	208.84	0.4	131.99
<i>Encelia farinosa</i>	0.233	277.93	0.53	60.64
<i>Palafixia linearis</i>	0.2058	139.26	0.33	33.503
<i>Acacia constricta</i>	9.267	55.87	0.2	25.16
<i>Euphorbia albomarginata</i>	0.041	41.74	0.2	14.932
<i>Atriplex polycarpa</i>	11.34	14.17	0.06	7.32
<i>Ditaxis neomexicana</i>	0.0182	27.76	0.06	6.31
<i>Sphaeralcea coulteri</i>	0.041	14.17	0.06	4.68
<i>Baccharis sarathroides</i>	0.025	14.17	0.06	4.675
<i>Salsola kali</i>	0.007	14.17	0.06	4.671
14				
<i>Atriplex polycarpa</i>	0.705	221.44	1	272.15
<i>Prosopis glandulosa</i>	9.34	4.03	0.071	27.85

14				
<i>Prosopis glandulosa</i>	15.909	27.11	0.84	171.52
<i>Baccharis sarathroides</i>	1.253	30.82	1	101.49
<i>Salsola kali</i>	0.031	4.93	0.3	21.3
<i>Atriplex polycarpa</i>	2.26	1.23	0.07	5.69
15				
<i>Baccharis sarathroides</i>	0.64	1755.56	1	250.33
<i>Salsola kali</i>	0.013	390.12	0.45	49.67
15				
<i>Prosopis glandulosa</i>	21.062	90.46	0.5	147.55
<i>Atriplex polycarpa</i>	0.711	264.86	1	145.87
<i>Baccharis sarathroides</i>	1.03	6.51	0.07	6.58
15				
<i>Prosopis glandulosa</i>	21.09	54.76	0.66	169.9
<i>Baccharis sarathroides</i>	3.85	41.07	0.66	85.03
<i>Atriplex polycarpa</i>	1.4	27.38	0.33	45.05
16				
<i>Atriplex polycarpa</i>	2.468	538.476	0.93	198.492
<i>Salsola kali</i>	0.236	374.975	0.73	83.968
<i>Amaranthus spinosus</i>	0.013	48.952	0.13	12.074
<i>Portulaca oleracea</i>	0.45	16.64	0.06	5.466
30				
<i>Atriplex polycarpa</i>	1.45	886.52	1	300
30				
<i>Atriplex polycarpa</i>	0.615	1084.94	1	261.847
<i>Portulaca oleracea</i>	0.003	67.82	0.23	23.398
<i>Prosopis glandulosa</i>	2.2	22.602	0.077	14.755
30				
<i>Atriplex polycarpa</i>	0.67	5823	83.5	263.8
<i>Larrea tridentata</i>	0.71	426	16.6	35.9
42				
<i>Atriplex polycarpa</i>	0.451	227.87	0.93	158.32
<i>Prosopis glandulosa</i>	13.05	28.58	0.3	104.02
<i>Opuntia fulgida</i>	0.574	39.87	0.3	37.66
V. I. R. (valor de importancia relativo)				

**Cuadro 8.- Índice de similitud (%), en los campos agrícolas ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero.**

<b>EDAD (años)</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	100								
<b>5</b>	54.54	100							
<b>8</b>	28.57	30.76	100						
<b>13</b>	25	40	44.44	100					
<b>14</b>	40	44.44	66.66	57.14	100				
<b>15</b>	40	44.44	66.66	57.13	100	100			
<b>16</b>	20	22.22	33.33	28.57	50	50	100		
<b>30</b>	0	22.22	33.33	28.57	50	50	50	100	
<b>42</b>	0	0	36.36	30.76	57.14	57.14	28.57	57.14	100

**Cuadro 9.- Secuencia sucesional en campos abandonados en la zona bajo riesgo de intrusión salina.**

Formas de vida presentes %	hierbas 67 arbustos 33	hierbas 20 arbustos 80	hierbas 56 arbustos 33 árboles 11	hierbas 50 arbustos 42 árboles 8	hierbas 20 arbustos 40 árboles 20 cactus 20
Edad de abandono (años)	4	5	8	13-16	30-42
<i>Salsola kali</i>	_____				
<i>Sesbania exaltata</i>	_____				
<i>Baccharis sarathroides</i>	_____				
<i>Spharalcea ambigua</i>	_____				
<i>Euphorbia polycarpa</i>	_____				
<i>Ambrosia confertiflora</i>	_____				
<i>Encelia farinosa</i>		_____		_____	
<i>Larrea tridentata</i>		_____			_____
<i>Atriplex polycarpa</i>			_____		
<i>Portulaca oleracea</i>			_____		
<i>Pectis papposa</i>			_____		
<i>Convolvulus arvensis</i>			_____		
<i>Physalis acutifolia</i>			_____		
<i>Prosopis glandulosa</i>			_____		
<i>Atriplex semibaccata</i>			_____		
<i>Palafoxia linearis</i>				_____	
<i>Acacia constricta</i>				_____	
<i>Euphorbia albomarginata</i>				_____	
<i>Ditaxis neomexicana</i>				_____	
<i>Spharalcea coulteri</i>				_____	
<i>Amaranthus spinosus</i>				_____	
<i>Opuntia fulgida</i>					_____

### Estructura de la vegetación en remanentes naturales

El elemento principal en los fragmentos de vegetación natural es *Larrea tridentata* con un valor de importancia relativo de 175.68. Le siguen *A. polycarpa* y *E. farinosa* con un valor de 40.21% y 31.05% respectivamente. La mayor cobertura estuvo representada por elementos del estrato arbóreo como *P. glandulosa* y *C. floridum*.

De los nueve puntos muestreados, sólo en uno ocurrió *B. sarathroides* con una densidad de 3.43 indvs./Ha, por lo cual, la probabilidad de que los propágulos de esta especie provengan de los remanentes de vegetación natural adyacentes a las áreas de cultivo es casi nula.

Otras especies encontradas, pero que fueron menos frecuente son: *Mammillaria* spp, *Lophocereus schotii* y *Jatropha cardiophylla* (Cuadro 10).

De las especies presentes pero que no fueron interceptadas en los muestreos se puede citar a *Carnegieia gigantea*, *Pachycereus pringlei* y algunas especies del género *Opuntia* no identificadas.

**Cuadro 10.- Estructura de la vegetación en remanentes naturales.**

Especies	Cobertura (m2/ha)	Densidad (indvs./ha)	Frecuencia	Valor de importancia (%)
<i>Larrea tridentata</i>	2.83	752.82	0.73	175.68
<i>Atriplex polycarpa</i>	0.78	208.43	0.26	40.21
<i>Encelia farinosa</i>	0.45	164.29	0.22	31.05
<i>Prosopis glandulosa</i>	20.61	30.65	0.057	25.09
<i>Cercidium floridum</i>	9.34	30.65	0.07	15.72
<i>Jatropha cardiophylla</i>	3.96	29.42	0.04	9.01
<i>Lophocereus schotii</i>	0.55	3.43	0.01	1.11
<i>Baccharis sarathroides</i>	0.27	3.43	0.01	1.09
<i>Mammillaria</i> sp	0.001	3.43	0.01	1.06

Al parecer existe un proceso de colonización hacia los campos de cultivo abandonados por parte de la mayoría de las especies encontradas en los remanentes de vegetación natural. Las principales especies que han invadido en algún grado son *L. tridentata*, *P. glandulosa*, *E. farinosa*, *A. polycarpa* y *C. floridum*. Algunas de ellas con gran facilidad de dispersión como *E. farinosa*, por lo cual, es una de las especies con mayor potencial de regeneración y

colonización natural. No obstante, las tasas de colonización de las demás especies podrían ser favorecidas debido a tolvaneras, las cuales son comunes en la Costa de Hermosillo. En el caso de *B. sarathroides*, es más bien una invasión por parte de los individuos que se encuentran en los campos abandonados, a causa del valor tan bajo que presenta de densidad en comunidades naturales (Cuadro 10).

Sin embargo, debido a la destrucción de la vegetación nativa, escasos remanentes y muy pequeños han quedado en medio de la inmensa red de campos de cultivo, de tal manera que las grandes áreas con la flora original del lugar prácticamente han quedado relegadas a la línea de costa. La distancia entre estas áreas y los campos abandonados tiene importantes implicaciones para la restauración de los mismos en términos de la distribución de los propágulos nativos.

### Conclusiones

En general, los suelos de los campos de cultivo abandonados presentan un bajo contenido de materia orgánica, lo cual probablemente podría determinar la disponibilidad del recurso agua en la secuencia sucesional y por lo tanto, el establecimiento de especies.

Se tienen dos diferentes trayectorias o secuencias sucesionales, una en la zona sin riesgo de intrusión salina al acuífero y otra en la zona bajo riesgo de intrusión salina.

Los resultados confirman relaciones importantes entre la tasa de cambio, las condiciones de abandono y la historia de manejo del campo, como el campo con 15 años de abandono en la zona bajo riesgo de intrusión salina, que todavía se encuentra dominado por *Baccharis*. También el estudio muestra que los campos abandonados con características de suelo y de abandono similares, pueden tener patrones de sucesión similares, tal es el caso de los campos con cinco años de abandono en la zona bajo riesgo de intrusión salina al acuífero y tres y cuatro años en la zona sin riesgo de intrusión salina al acuífero.

Las peculiaridades del ciclo de vida de la especie, especialmente el tiempo del año en el cual las semillas maduran y germinan y la relación de esta etapa fenológica con la época en la cual la sucesión secundaria inicia, confiere a la especie una ventaja decisiva sobre otra, para llegar a ser la invasora dominante.

En general, la similitud florística entre los campos de diferente edad en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero, no es fuerte. En las primeras etapas (de 2 meses a 2 años) aunque existen cambios en composición, los cambios son principalmente en el orden de la importancia relativa de las especies, posterior a esta etapa, los cambios son en dirección de la composición florística de la vegetación. En los campos ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero, la similitud florística entre ellos es fuerte. Sin embargo, la vegetación sufrió cambios en composición con el tiempo.

La secuencia sucesional descrita para los campos abandonados en la zona sin riesgo de intrusión al acuífero y en la zona bajo riesgo, muestra que más de un modelo sucesional de los propuestos por Connell y Slatyer (1977), se pueden aplicar en la trayectoria de reemplazo de especies. Las evidencias favorecieron el modelo de la inhibición y de la tolerancia.

A pesar de que se han encontrado pocas evidencias de un reemplazo vegetal verdadero en zonas áridas, en el caso que nos compete se considera que hay una tendencia sucesional hierba-

arbusto-árbol determinada al parecer por el mecanismo de inhibición en primer plano y posteriormente por el patrón de tolerancia.

La secuencia sucesional en la Costa de Hermosillo, en parte se encuentra determinada por la capacidad de dispersión de las especies invasoras. Las primeras especies colonizadoras o sucesionales tienen propágulos que son dispersados efectivamente por el viento. La mayoría de las primeras sucesionales encontradas en la Costa de Hermosillo, son anuales o bianuales consideradas malezas (Valdez 1991) que provienen de los campos de cultivo cercanos al abandonado. Su fácil dispersión también les permite mantenerse por varias generaciones (Connell y Slatyer 1977). Mientras tanto las especies más tardías se dispersan lentamente, debido a que son especies con poca producción de semillas y dispersadas generalmente por animales de baja vagilidad, por otro lado, provienen de los remanentes de vegetación natural, que en ocasiones se encuentran sumamente alejados del campo.

La intensidad de la perturbación y tamaño del área perturbada, también tienen gran efecto en el curso sucesional. En el caso estudiado, el área ha sufrido una de las perturbaciones más extremas como es el caso de la agricultura; por otro lado, la perturbación se ha extendido sobre una gran área, de tal manera que se puede decir que prácticamente todas las especies vegetales preexistentes en el área de cultivo desaparecieron; por lo tanto, la sucesión inicia con el establecimiento de propágulos que llegan de fuera, ya sea de campos de cultivo cercanos al abandonado y/o en ocasiones de semillas de malezas que ya estaban depositadas en el banco de semillas. Posteriormente llegarán los propágulos de especies sucesionales tardías, pero obviamente los campos de la Costa de Hermosillo sufrirán un largo proceso de sucesión.

### CAPITULO III

## USO DE RECURSOS POR ESPECIES VEGETALES DOMINANTES EN EL DESARROLLO SUCESIONAL

### Introducción

Entender la competencia por uso de recursos como determinante de la sucesión de especies, es útil para diseñar algunas de las estrategias de restauración encaminadas a lograr una condición o paisaje deseado.

Para restablecer los sitios drásticamente perturbados, es necesario comprender el desarrollo de la comunidad. Además, se precisa de un estudio sobre los requerimientos fisiológicos y uso de recursos por las diferentes especies con relación a las condiciones ambientales.

El estudio de la sucesión, basado en la fisiología y características del ciclo de vida de los individuos ofrece la posibilidad de entender el complejo reemplazo de especies dentro de la comunidad. Cambios temporales y espaciales en la distribución de individuos en campos agrícolas abandonados son el resultado de un vasto número de interacciones planta-ambiente (Raynal y Bazzaz 1973, Bazzaz 1974). Investigaciones sobre el éxito de una especie en su hábitat y su dominancia en una comunidad dada, requieren de conocer la velocidad y eficiencia con la cual los individuos utilizan los recursos disponibles (Tilman 1988). Esto es con el fin de desarrollar una interpretación funcional del reemplazo de especies.

Actualmente se desconocen trabajos ecofisiológicos de campos agrícolas abandonados en México, más aún en zonas áridas. En este contexto, el propósito de este capítulo es conocer el uso de recursos, en particular el uso del agua, en las principales especies vegetales dominantes en el desarrollo sucesional de campos agrícolas abandonados en zonas áridas y sus implicaciones para la restauración.

### Uso de recursos por las especies sucesionales

Una manera muy particular de intentar explicar el desarrollo sucesional en un hábitat dado, es a través de la visión propuesta por Tilman (1987, 1985), quien ha trabajado especialmente en campos de cultivo abandonados y ha explicado las causas de la sucesión en función de la competencia por el uso de recursos en las especies.

La teoría propuesta por Tilman (1988), para explicar los cambios en la dinámica y estructura de las comunidades, requiere de la determinación de las principales variables ambientales que

puedan limitar la sobrevivencia, crecimiento y reproducción de un individuo, de la determinación de las respuestas fisiológicas y morfológicas que los organismos desarrollan para enfrentar tales limitantes ambientales y requiere además de conocer los mecanismos de interacción biótica intra e interespecíficos tales como la competencia por el uso de los recursos.

Las características morfoestructurales de un organismo se basan en su patrón de asignación de recursos. Un individuo que asigna más fotosintatos a la producción de tallos, asignará menos a otras estructuras como raíces, hojas o semillas. Así, un cambio en la morfología del organismo que incrementa su adecuación en respuesta a determinadas variables ambientales, puede tener un costo fisiológico que disminuya su adecuación bajo otras condiciones y como consecuencia limita al individuo a ser un competidor superior en un conjunto reducido de condiciones potenciales (Tilman 1988). En teoría, cualquier modelo sucesional es causado por limitantes ambientales y por la habilidad fisiológica y morfológica de los organismos para responder a tales limitantes ambientales. Cualquier limitante ya sea disponibilidad de recursos del suelo (como nutrientes y agua), disponibilidad de luz, depredación, patógenos o habilidad para colonización, puede ser superada asignando más fotosintetatos a una estructura particular o función fisiológica (Tilman *op cit.*).

Existen diferentes hipótesis para interpretar el proceso de reemplazo en la vegetación. Algunas de las hipótesis son: dinámica transitoria, colonización, competencia por recursos del suelo y luz, tasa de provisión de recursos (luz y nitrógeno) y herbivoría (Tilman 1990), las cuales dan explicación parcial al proceso sucesional.

Las observaciones realizadas por Tilman (1990, 1988) del proceso de sucesión en campos de cultivo abandonados, han mostrado que la importancia relativa de cada una de estas hipótesis cambia a lo largo de la secuencia sucesional, la cual impone las limitantes ambientales y el tipo de interacción que pueda darse entre los organismos. Por ejemplo, durante la sucesión en un suelo pobre en nutrientes, el principal intercambio puede ser entre asignación a las semillas contra asignación a las raíces, provocando que las especies se diferencien en su habilidad de colonización a un sitio perturbado y su habilidad a competir por un recurso limitante del suelo. Otra comunidad de plantas puede tener otras limitantes y otro patrón sucesional explicado por otros procesos. Sin embargo, los mecanismos fundamentales son los mismos y están basados en las respuestas fisiológicas y morfológicas que las especies desarrollan para enfrentar las limitantes ambientales de cada sitio (Tilman 1990).

### Características ecofisiológicas de las plantas sucesionales

El grado de flexibilidad fisiológica de diferentes especies a aclimatarse a condiciones ambientales difíciles está relacionado con el nivel de variación ambiental del hábitat en el cual ellas se encuentran normalmente. Así que se ha sugerido que las especies de las primeras etapas sucesionales tienen alta flexibilidad fisiológica en relación a las especies encontradas en un proceso sucesional avanzado (Bazzaz y Carlson 1982). Las primeras sucesionales crecen bien en ambientes de alta radiación formando extensas agrupaciones de plantas saludables; en cambio, un alto grado de tolerancia a la sombra se presenta en tardías sucesionales así como un bajo punto de compensación de la luz y capacidad fotosintética. Asimismo, altas tasas de fotosíntesis, respiración, transpiración y conductancia estomática y del mesófilo han sido medidas para las primeras especies sucesionales comparadas con las especies tardías de la misma (Zangerl y Bazzaz 1983).

#### *Fotosíntesis*

Debido a que el éxito de una especie en su hábitat y su dominancia en una comunidad dada es el resultado de la eficiencia con la cual los individuos utilizan los recursos ambientales disponibles, entonces la capacidad de intercambio gaseoso en especies sucesionales en relación a ciertos factores ambientales, se puede tomar como un parámetro de gran peso para evaluar su posición ecológica como dominante en un campo abandonado (Bazzaz 1974).

En campos abandonados de zonas templadas, los datos de tasas fotosintéticas muestran una media cercana a  $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para plantas de sol y de  $7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para perennes tardías sucesionales (Bazzaz y Carlson 1982). El valor de la intensidad de la luz a la cual la fotosíntesis neta es saturada, es de aproximadamente de  $1220 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para plantas de sol y cerca de la mitad de este valor para plantas de ambientes sombreados. Paralelo al mismo estudio se ha observado que otras especies de las primeras etapas sucesionales, a valores de intensidad solar de  $1400 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  aún conservan un 66% de la tasa fotosintética determinada a condiciones de irradiación más óptimas, mientras que especies de estados sucesionales más tardíos mantienen sólo un 40% de su producción fotosintética (Bazzaz y Carlson *op cit*). A pesar de que la tasa fotosintética por unidad de área foliar disminuye con la sucesión, las especies sucesionales tardías son fotosintéticamente más eficientes a bajas intensidades de luz que las primeras sucesionales (Bazzaz 1979).

*Ambrosia artemisiifolia* es una anual que domina los campos en el este de Estados Unidos inmediatamente después de ser abandonados y entre sus adaptaciones a las condiciones extremas del hábitat se encuentra una tasa fotosintética alta, en un amplio rango de

temperaturas que van desde 5° a 35° C. Su tasa fotosintética más alta es de 22.09  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y aún a intensidades de luz de 1.6 calorías  $\text{cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ , la saturación de la luz no es alcanzada, por lo cual la planta está adaptada a vivir en ambientes con altos niveles de energía. La tasa alta de fotosíntesis de dicha especie, es acompañada por una tasa alta de transpiración que facilita el enfriamiento de sus hojas disminuyendo su temperatura con respecto a la ambiental, lo cual favorece la fotosíntesis. El rápido crecimiento de *A. artemissifolia* es conferido en gran parte por su tasa fotosintética, la cual se mantiene aún bajo condiciones de recursos limitantes y le posibilita competir más efectivamente por recursos tales como agua, luz, nutrientes y espacio (Bazzaz 1974). Por otro lado, la habilidad de dicha especie y de *Aster pilosus*, una perenne común de los campos recién abandonados, de mantener tasas altas de fotosíntesis sobre un amplio rango de temperaturas, indica su tolerancia a condiciones ambientales extremas encontradas generalmente en las primeras etapas sucesionales (Peterson y Bazzaz 1978).

#### *Respuesta a la limitante de agua*

El potencial hídrico es un parámetro dinámico que refleja la habilidad de la planta para integrarse al ambiente atmosférico y edáfico. La temperatura del aire, la temperatura de la hoja, la densidad de vapor en el aire y la velocidad del viento, determinan el gradiente de potencial hídrico entre la superficie del mesófilo en el interior de la hoja y el ambiente. Los patrones de transpiración definidos por el gradiente son modificados por resistencias a la difusión de vapor de agua asociadas con la capa limitante de la hoja y los estomas. La absorción de agua y el subsecuente transporte a los sitios de transpiración es directamente proporcional a la energía libre del gradiente entre la raíz y la hoja e inversamente relacionado a las resistencias del transporte. Dado que la absorción de agua no necesariamente balancea la transpiración y aunado a que durante el día la absorción tiende a rezagarse, el resultado es el desarrollo de un déficit de agua en la hoja (Wieland y Bazzaz 1975).

Se han sugerido varias estrategias adaptativas de las especies pioneras con respecto al déficit de agua: primero, una amplia tolerancia a déficits que probablemente ocurren en ambientes abiertos con alta radiación solar, altas temperaturas y por consiguiente, una alta demanda evaporativa. Segundo, regulación interna de la pérdida de agua a través de mecanismos que eviten el estrés hídrico y tercero, una rápida recuperación de los déficits de agua (Wieland y Bazzaz 1975). La fotosíntesis de plántulas colonizadoras permanece relativamente alta, a potenciales hídricos de -20 bars, capacitándolas para tolerar condiciones de sequía temporal. Por lo cual también se les considera plásticas en respuesta al estrés hídrico (Raynal y Bazzaz 1973). Las primeras especies sucesionales son capaces de tolerar condiciones extremas ambientales y pueden responder plásticamente y aclimatarse rápidamente a condiciones

extremas de temperatura y radiación, maximizando su adecuación. En cuanto a especies de etapas sucesionales posteriores, la tendencia es claramente hacia una menor flexibilidad tanto fotosintética como morfológica (Wieland y Bazzaz *op cit.*).

#### *Transpiración y Uso de Agua*

La tasa de transpiración es generalmente alta en las primeras especies sucesionales y baja para las especies tardías del proceso. Una tasa alta de transpiración en los ambientes sucesionales tempranos, está asociada al balance de energía presente en ellos. En otras palabras, una conductancia foliar alta en individuos que ocurren en ambientes abiertos, puede ser efectiva para prevenir daño en las hojas por altas temperaturas (Bazzaz 1979).

La asimilación de CO<sub>2</sub> está inevitablemente asociada con la pérdida de agua a la atmósfera a través de los estomas. Sin embargo, debido al mayor gradiente en el déficit de concentración de agua en el entorno hoja-atmósfera, ello no es un simple intercambio de una molécula de CO<sub>2</sub> por una molécula de agua, así que la cantidad de agua transpirada excede grandemente la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado. Pero dado que la absorción de CO<sub>2</sub> es esencial para el crecimiento, algunas especies han desarrollado características que reducen la pérdida de agua transpirada durante el período de fotosíntesis activa, aún a expensas de la tasa de crecimiento.

Las especies pueden presentar dos tipos principales de estrategias en relación al uso del agua:

- 1) adaptaciones que conducen a la adquisición y uso de la máxima cantidad de agua disponible.
- 2) adaptaciones que conducen a la conservación y uso eficiente del agua adquirida (Fitter y Hay 1987).

La eficiencia del uso del agua (EUA), es el cociente de las unidades de CO<sub>2</sub> obtenidas del medio para fotosíntesis, por la cantidad de agua gastada en la transpiración (Rosenberg *et al* 1983). La EUA está influenciada por la magnitud de las conductancias en la hoja (capa limítrofe, estomas y mesófilo) para el intercambio de gases. Existen pocas mediciones de conductancia al flujo de agua en plantas de diferentes etapas sucesionales. Sin embargo, algunos estudios muestran que las plantas herbáceas tienen una alta conductancia al transporte de agua, en comparación con árboles o plantas leñosas, debido a su mayor eficiencia en el sistema de transporte de agua. La EUA en las primeras sucesionales bajo condiciones óptimas, es más alto que para especies climax como *Acer saccharum* (Bazzaz 1979).

### Metodología

La respuesta fisiológica de seis especies participantes del proceso sucesional en campos de cultivo abandonados de la Costa de Hermosillo, fue caracterizada de febrero a noviembre de 1996. Algunas de las características ecofisiológicas de las especies seleccionadas con base a su valor de importancia relativo en las diferentes etapas sucesionales descritas en el capítulo anterior son:

*Baccharis sarathroides* es una especie de la familia compositae, muy abundante en lugares perturbados. Los individuos de esta especie producen gran cantidad de semillas de fácil dispersión para la colonización de nuevas áreas. Las plantas son de rápido crecimiento y tan pronto como las primeras lluvias de la estación humedecen el suelo, pueden comenzar a fotosintetizar tomando ventaja con respecto a sus vecinos (Bowers 1993).

*Prosopis glandulosa* es otra de las especies estudiadas y pertenece a la familia de las leguminosas. Son plantas de rápido crecimiento, responden como freatofitas y son capaces de mantener altas conductancias estomáticas a bajos potenciales hídricos, lo cual les permite una alta productividad (Turner *et al.* 1995, Epple 1995, Coumo *et al.* 1992).

*Larrea tridentata* es un arbusto distribuido ampliamente en el sur de Estados Unidos, Baja California, Baja California Sur y en el oeste de Sonora. Es una especie extremadamente resistente a las altas temperaturas y bajos potenciales hídricos, que puede mantener actividad fotosintética bajo un amplio rango de condiciones ambientales (Turner *et al.* 1995).

*Encelia farinosa* es una compuesta de rápido crecimiento, con gran producción de semillas y sus adaptaciones a las condiciones de aridez son primariamente morfológicas más que fisiológicas (Turner *et al.* 1995).

*Atriplex canescens* y *A. polycarpa* son arbustos perennes con anatomía Kranz, lo cual teóricamente les confiere una vía metabólica C<sub>4</sub> de fijación de CO<sub>2</sub> y un uso eficiente del agua. Sin embargo, en estas especies, a potenciales hídricos muy bajos, la fotosíntesis decrece y la ventaja competitiva de esta especie disminuye (Turner *et al.* 1995).

El uso de recursos en las especies mencionadas fue medido en dos campos de cultivo abandonados distintos, uno de ellos localizado en la zona bajo riesgo de intrusión salina y el otro en la zona libre de intrusión salina. El primero de ellos será referido de aquí en adelante como MLT (Miguel Lerdo de Tejada) y el otro como SI (Santa Isabel). El MLT, es un campo

abandonado hace alrededor de 13 años por intrusión salina en el pozo y se ubica entre las coordenadas  $28^{\circ} 35' 19.03''$  de latitud norte y  $111^{\circ} 38' 39.26''$  de longitud oeste. Se caracteriza por presentar suelos no salinos, profundos y de textura arenosa. En dicho campo la especie dominante es *Prosopis glandulosa*. El campo SI se localiza entre las coordenadas  $28^{\circ} 49' 52''$  de latitud norte y  $111^{\circ} 34' 20''$  de longitud oeste y fue abandonado hace 23 años por falta de agua para riego. Sus suelos también son no salinos, profundos y de textura francosa. *B. sarathroides* predomina entre las especies presentes.

Mediciones de fotosíntesis neta (absorción de  $\text{CO}_2$  en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en individuos de *B. sarathroides*, *Atriplex polycarpa* y *A. canescens* fueron tomadas usando un sistema portátil de fotosíntesis LI-COR 6200 con una cámara de 0.25 litros. El intercambio de  $\text{CO}_2$  fue medido por un período de un día durante cada mes en hojas maduras en tres individuos diferentes y permanentemente marcados para cada especie y en cada uno de los sitios mencionados. El intercambio de gases era registrado con una frecuencia de dos horas durante el día. Paralelo a las especies mencionadas también se monitoreó fotosíntesis neta en individuos de *Encelia farinosa*, *Prosopis glandulosa* y esporádicamente *Larrea tridentata*. Cabe mencionar que *A. polycarpa* y *P. glandulosa* sólo fueron medidos en el campo MLT y *A. canescens* y *L. tridentata* sólo en el campo SI.

Simultáneamente a las mediciones de intercambio de  $\text{CO}_2$ , el sistema de fotosíntesis determina transpiración ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura de la hoja y del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa (%), la radiación fotosintéticamente activa que llega a la hoja ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), conductancia estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ ) y concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular (ppm). La eficiencia de uso del agua ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ), fue calculada dividiendo la tasa fotosintética por la cantidad de agua transpirada, los datos usados para tal cálculo, son datos generados por el sistema portátil de fotosíntesis LICOR 6200.

Todos los datos (fotosíntesis, transpiración, conductancia y potencial hídrico) que se usaron para el análisis de uso de recursos, son datos del mes de abril, mes en cual todas las especies registraron mayor actividad fisiológica y por lo tanto, sus mayores tasas fotosintéticas y de transpiración. Cada punto de fotosíntesis, transpiración y conductancia representado en las gráficas, es el promedio de las mediciones tomadas sobre dos hojas provenientes de un total de tres individuos diferentes para cada especie ( $n=6$ ). Los puntos muestran la variación diurna de las especies durante un día típico del mes de abril. Solo en *E. farinosa*, el valor es el promedio de las mediciones tomadas sobre una hoja de un total de tres individuos diferentes ( $n = 3$ ).

Al final del día, las hojas fueron cortadas de la planta y el área foliar determinada en el laboratorio con el uso de un Sistema Monocromático AgVision para análisis de imágenes (Decagon Devices, Inc.).

El potencial hídrico fue determinado con una bomba de presión de Scholander (PMS Instrument, Co.). El potencial hídrico fue tomado a un intervalo de dos horas a través del día y cada punto representado en las gráficas, muestra el promedio de las mediciones tomadas en 2 hojas de un total de 2 individuos diferentes en cada especie ( $n = 4$ ). Sólo individuos de *B. sarathroides*, *Atriplex polycarpa*, *A. canescens* y *E. farinosa* fueron evaluados en este sentido.

## Resultados y Discusión

### Uso de Recursos por especies sucesionales de la Costa de Hermosillo

En campos de cultivo abandonados por intrusión salina (MLT), *E. farinosa* es más eficiente en el uso del agua que *A. polycarpa* y *B. sarathroides* (Figura 12).

Fig. 12.- Variación de la eficiencia del uso del agua con respecto a la conductancia estomática en especies del campo MLT.

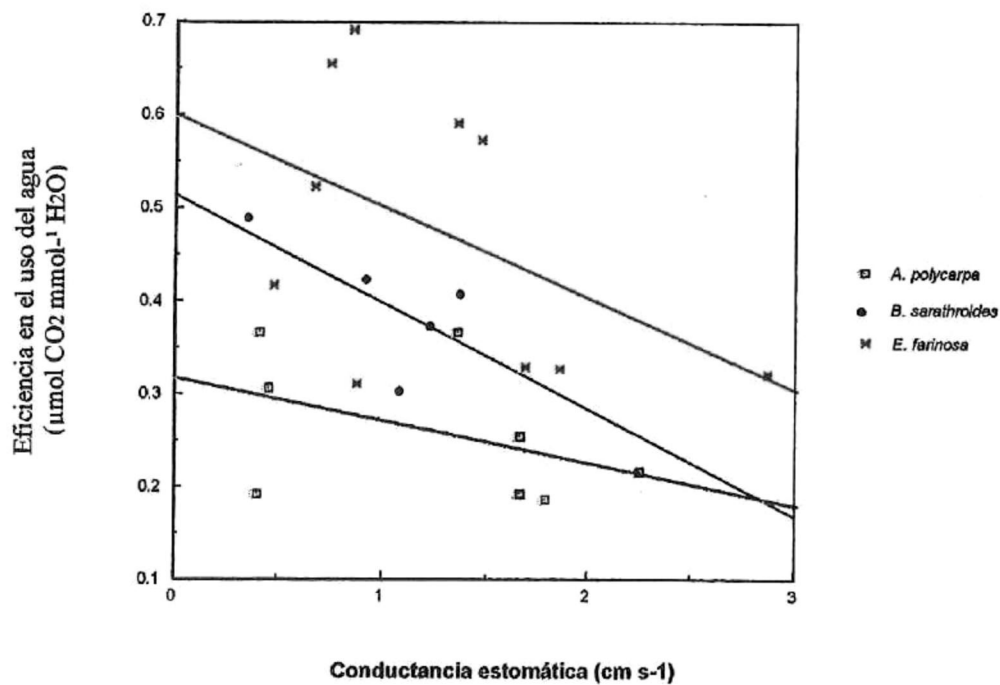


Fig. 13.- Variación en la eficiencia del uso del agua con respecto a la conductancia estomática en especies del campo SI.

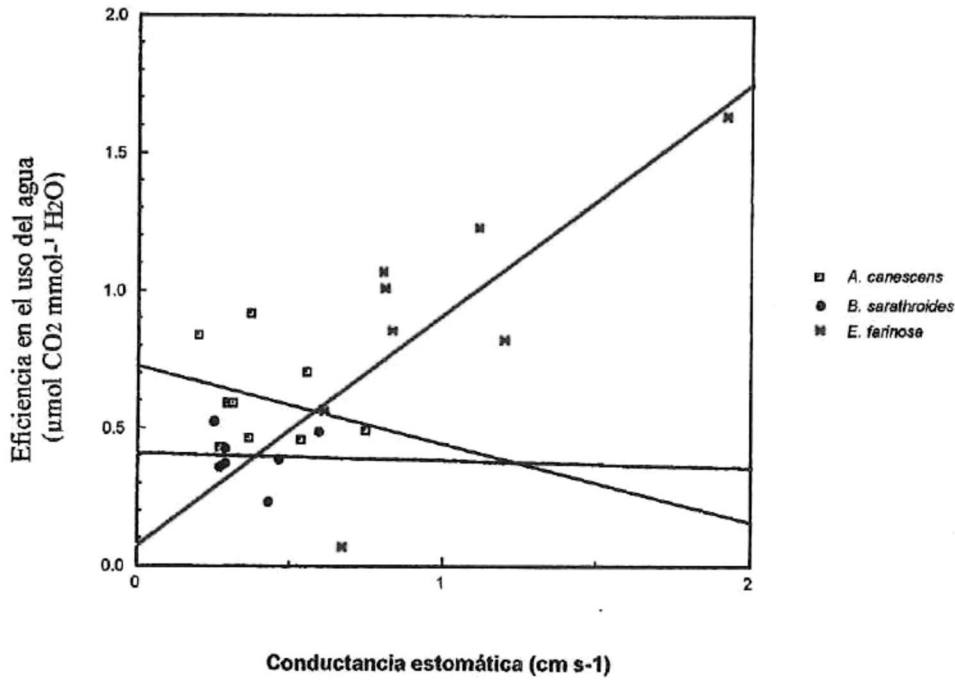


Fig. 14.- Relación entre la tasa de asimilación y la de transpiración en el campo MLT, lo cual también muestra la eficiencia en el uso del agua de las especies.

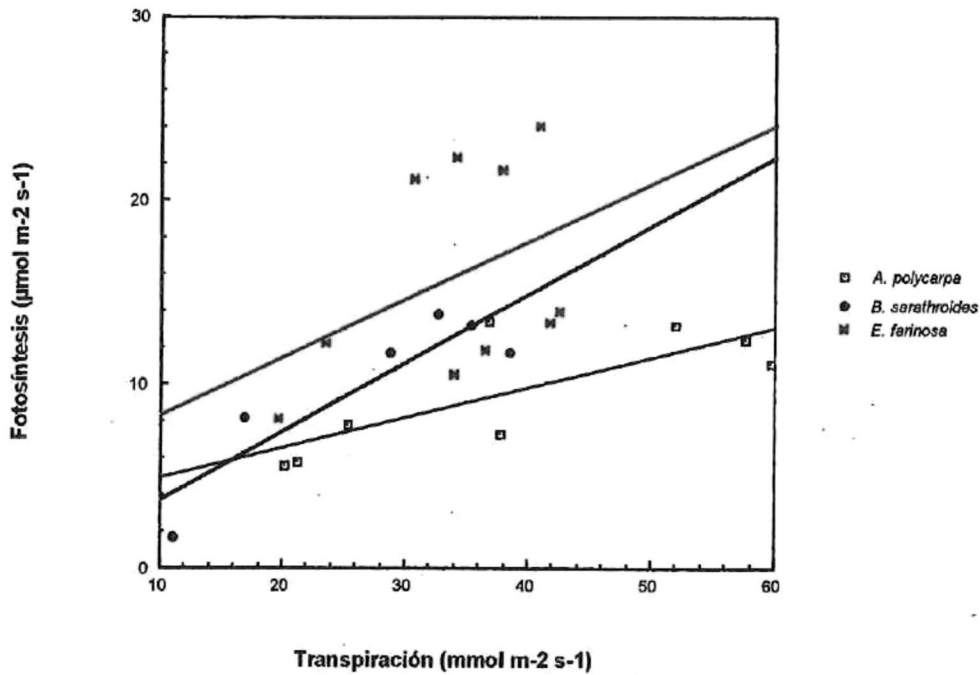
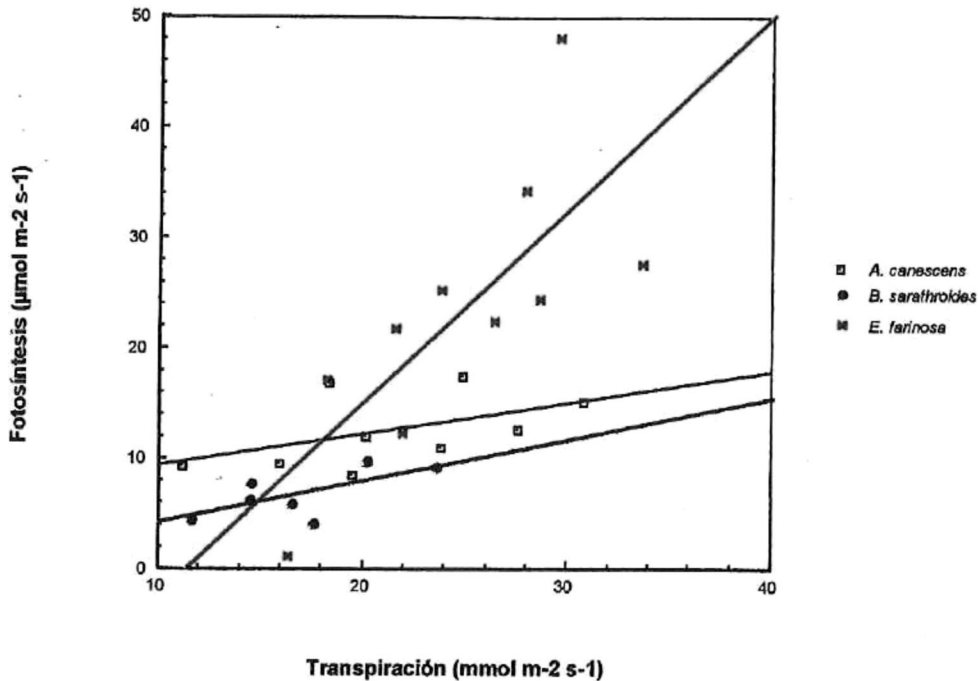


Fig. 15.- Relación entre la tasa de asimilación y la de transpiración en el campo SI, lo cual también muestra la eficiencia en el uso del agua de las especies.



En el campo MLT, *E. farinosa* mantiene una alta eficiencia en el uso del agua, pero ésta disminuye con respecto a la conductancia estomática en la que opera (Figura 12). Los individuos de *E. farinosa* en el campo SI, poseen una eficiencia en el uso del agua más alta con respecto a los individuos de *E. farinosa* establecidos en el MLT (Figura 13); pero también, una eficiencia más alta en comparación con las especies de *A. canescens* y *B. sarathroides* medidas en el SI. Los rangos de conductancia estomática en los que opera *E. farinosa*, también son diferentes. Los individuos del campo MLT presentan un mayor rango de conductancia estomática (0.47 a 2.86 cm s<sup>-1</sup>) que los individuos del campo SI, los cuales registran un máximo en conductancia estomática de 1.97 cm s<sup>-1</sup> (Figuras 12 y 13). Tales diferencias en conductancias estomáticas, quizá le permita a la especie tener una mayor tasa de transpiración en el campo MLT (Figura 14) que en el campo SI (Figura 15).

Una mayor eficiencia en el uso del agua en *E. farinosa*, también se ha encontrado que esta relacionada a la presencia de pubescencia en las hojas que le ayudan a reflejar más del 70% de la radiación fotosintéticamente activa (entre los 400 y 700 nm), como resultado de disminuir su temperatura foliar y su tasa de transpiración hasta en un 30% (Ehleringer y Bjorkman 1978 en Turner *et al.* 1995).

La EUA de *B. sarathroides* es similar en ambos campos (MLT y SI), pero menor con respecto a *E. farinosa* (Figuras 12 y 13). Sin embargo, su conductancia estomática es diferente en ambos campos, en el MLT opera con conductancias estomáticas máximas de  $1.37 \text{ cm s}^{-1}$  y en el SI registra un rango de  $0.25$  a  $0.6 \text{ cm s}^{-1}$ . Aunque la tasa de transpiración en el campo MLT alcanza un valor máximo de  $38.34 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 14) y en el SI se registran  $23.53 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  como máximo detectado (Figura 15), las tasas de transpiración en ambos campos son similares, pues a dados valores de fotosíntesis presentan la misma tasa de transpiración.

La alta tasa de transpiración de *B. sarathroides* en los campos abandonados bajo estudio (MLT y SI) Figuras 14 y 15, puede ser un factor que ayude a una disminución de su densidad y también a su desaparición de la secuencia sucesional en campos de cultivo abandonados por intrusión salina. Aunado a la mayor transpiración por unidad de área foliar y al aumento en biomasa con el paso del tiempo, su requerimiento del recurso agua es mayor, lo cual puede contribuir a una disminución del recurso y afectar la densidad de una manera más rápida en las secuencias sucesionales descritas en el capítulo dos.

Aunado a lo anterior en algunos campos abandonados por intrusión salina, existe el estrés causado por ensalitramiento del suelo lo cual puede provocar condiciones estresantes en el suelo que limitan el desarrollo de *B. sarathroides* y facilita la invasión de especies halófitas tales como el género *Atriplex* spp.

En el campo MLT, *A. polycarpa* presenta la menor EUA con respecto al resto de las especies (Figura 12). Su baja eficiencia en el uso de agua, es debida a la menor pendiente de la relación fotosíntesis-transpiración (Figura 14). Debido a que *A. polycarpa* presenta una mayor tasa de transpiración que *B. sarathroides* (Figura 14), posiblemente incrementa el secuestro del agua, de tal manera que el agua contenida en el suelo es agotada rápidamente y no permite que *B. sarathroides* se desarrolle exitosamente.

*A. canescens* en campos ubicados en la zona libre de intrusión salina, muestra una eficiencia en el uso del agua intermedia en comparación con el resto de las especies del campo SI, la cual disminuye con respecto a la conductancia estomática en la que opera (Figura 13). Esta especie presenta una mayor EUA que *A. polycarpa*. Las diferencias en la EUA entre estas dos especies del mismo género se deben a que operan en rangos de conductancia estomática diferentes, *A. canescens* presenta un rango de  $0.198$  a  $0.744 \text{ cm s}^{-1}$  y *A. polycarpa*, registra un rango mayor ( $0.387$  a  $2.231 \text{ cm s}^{-1}$ ), lo que se traduce en un gasto de agua más grande para *A. polycarpa*

(Figura 14) y en una disminución de la tasa de transpiración hasta en un 50% en *A. canescens* (Figura 15).

Los patrones de fotosíntesis entre *A. canescens* y *A. polycarpa* son diferentes. *A. canescens* presenta una tasa fotosintética aproximadamente un 30% más grande que *A. polycarpa*, sin embargo, para la primera especie no se registraron valores de fotosíntesis a potenciales hídricos mayores de -38 bars (Figura 16). Ambas especies mantienen registros altos de fotosíntesis a potenciales hídricos de -32 bars y *A. polycarpa* sigue manteniendo valores altos de fotosíntesis aún a potenciales hídricos de -42 a -50 bars (Figura 16), no obstante, es muy posible que mantenga valores de fotosíntesis a potenciales hídricos mayores, aunque no se registró intercambio de CO<sub>2</sub> a potenciales entre 0 y -30 bars. La resistencia a bajos potenciales hídricos en *A. polycarpa* (Figura 16), le permiten permanecer en ambientes donde es difícil acceder al agua y le confieren una alta resistencia ante la escasez de este recurso.

Una alta EUA en *A. canescens* está relacionada con una reducción de su conductancia estomática (Figura 13) y por lo tanto, con un decremento en la transpiración (Figura 17). La misma Figura 17, muestra que en *A. canescens*, cambios muy pequeños por unidad de transpiración conllevan cambios muy rápidos en la EUA de la especie. La Figura 17, también muestra como *A. polycarpa* mantiene altas tasas de transpiración (80 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), lo cual está relacionado con la baja EUA de la especie. La tendencia de ambas especies de *Atriplex*, es hacia una disminución de su EUA con el aumento en la tasa de transpiración. Las diferencias fisiológicas encontradas entre las dos especies de *Atriplex* spp, concuerdan con las observaciones de un aumento en la dominancia de *A. polycarpa* en los campos abandonados en la zona de intrusión salina.

Fig. 16.- Desarrollo diurno de la actividad fotosintética, con relación al potencial hídrico en *A. canescens* y *A. polycarpa*

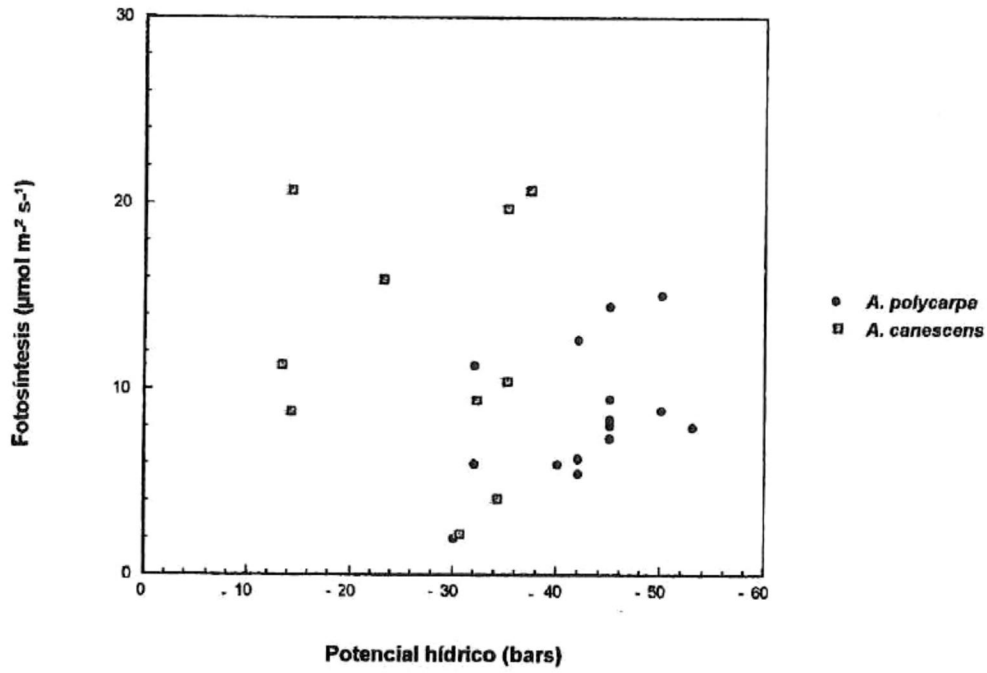
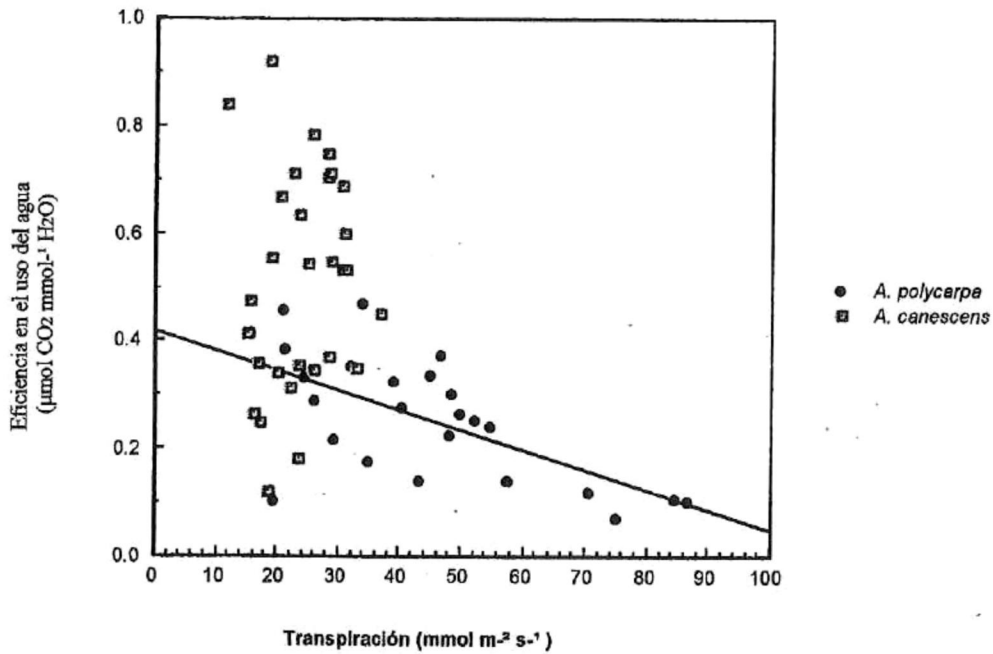


Fig. 17.- Eficiencia en el uso del agua en relación con la transpiración en *A. polycarpa* y *A. canescens*.



En el caso de *P. glandulosa* que es un árbol que aparece entre los ocho y diez años de abandono (capítulo 2), presenta una relación lineal entre las tasas de asimilación neta y de transpiración con respecto a la conductancia estomática (Figuras 18 y 19). *P. glandulosa* es considerada una especie freatofita, porque sus raíces explotan las zonas profundas del suelo, y teóricamente, asegura una continua provisión de humedad (De Soyza *et al.* 1996), por lo que pudiera no restringir su actividad fisiológica durante períodos de no disponibilidad de agua.

Aún cuando *P. glandulosa* presenta la mayor EUA con respecto a las especies del campo MLT, el rango de conductancias estomáticas en el que opera es menor ( $0.182$  a  $1.019$   $\text{cm s}^{-1}$ ) que el rango de conductancias para *E. farinosa*, *B. sarathroides* y *A. polycarpa* (Figuras 12 y 20). Ello se traduce en una caída tres veces más rápida en la EUA de la especie, por unidad de apertura estomática en comparación con las otras especies del campo MLT.

Fig. 18.- Tasa neta de asimilación en *P. glandulosa*, en relación a la conductancia estomática.

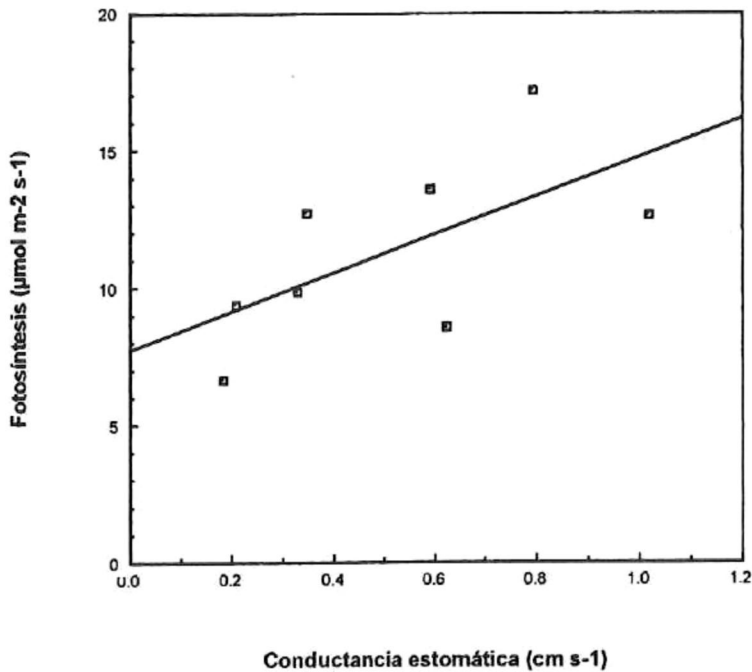
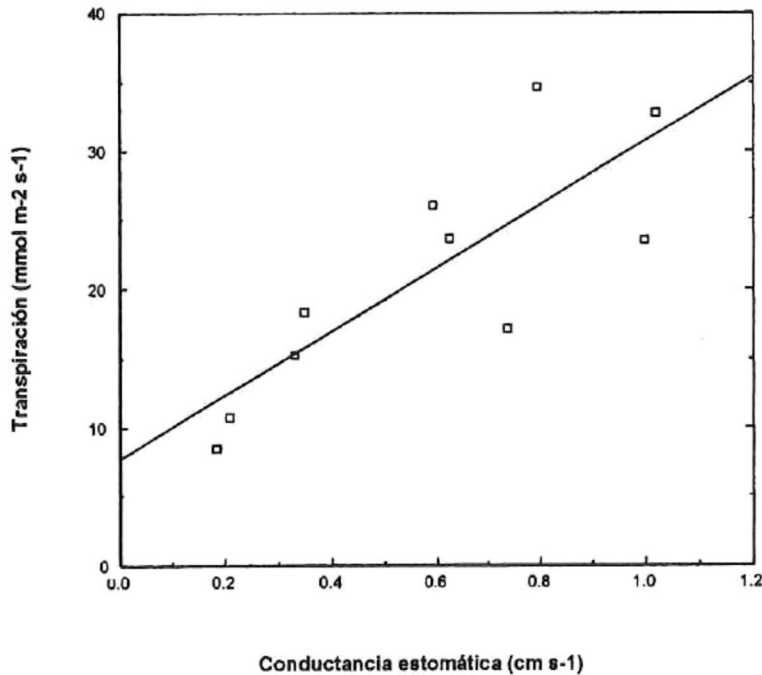


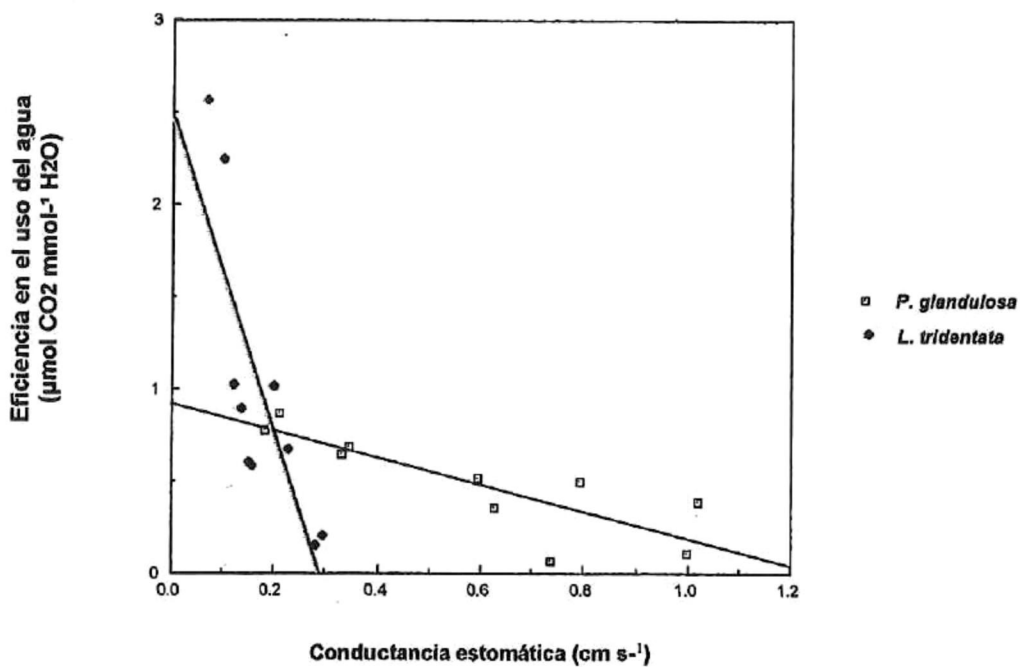
Fig. 19.- Tasa de pérdida de agua en *P. glandulosa*, en relación a la conductancia estomática.



*L. tridentata* es una especie con características fisiológicas como una alta eficiencia en el uso del agua, lo cual podría estar relacionado con las bajas conductancias estomáticas (de 0.063 a 0.494 cm s<sup>-1</sup>) que registra la especie (Figura 20). Por otra parte, posee la mayor EUA con respecto a las especies del campo SI (Figuras 14 y 20). Sin embargo, la EUA en la especie, decae aproximadamente cuatro veces más rápida por unidad de apertura estomática con relación a la EUA de *A. canescens* y *B. sarathroides* en el campo SI.

Una mayor EUA en *L. tridentata*, le permite a la especie adaptarse a condiciones xéricas. Aparte posee otros atributos como hojas pequeñas, una arquitectura que favorece el autosombreado de las hojas durante periodos de estrés hídrico y una ramificación de los troncos cerca de la base que le facilita almacenar agua en el suelo (Blair 1979).

Fig. 20.- Eficiencia en el uso del agua en *L. tridentata* y *P. glandulosa*, en relación a la conductancia estomática.



### Conclusiones

Las especies en estudio presentaron diferencias con respecto a la eficiencia en el uso del agua. Tales diferencias, podrían sugerir un uso diferencial del agua debido a las distintas estrategias entre las especies. Las diferencias que existen entre las especies en cuanto a la mayor eficiencia en el uso del agua, podrían expresarse así:

Para el campo MLT → *P. glandulosa* > *E. farinosa* > *B. sarathroides* > *A. polycarpa*.

Para el campo SI → *L. tridentata* > *E. farinosa* > *A. canescens* > *B. sarathroides*

Una mayor eficiencia en el uso del agua de *Encelia farinosa* en el campo SI, puede resultar en una presencia de esta especie, en etapas tardías de la sucesión en campos abandonados en la zona libre de riesgo por intrusión salina.

La eficiencia en el uso de *P. glandulosa* disminuye tres veces más rápidamente que las otras especies cuando aumenta la conductancia estomática (Figuras 12 y 20), por lo cual, sería interesante examinar en estudios posteriores cuales son los factores que provocan la caída tan rápida en su EUA. Sin embargo, la alta EUA de la especie podría estar permitiendo su permanencia en etapas tardías de la sucesión.

Dado que la dominancia de *Baccharis sarathroides* es prácticamente absoluta en las primeras etapas sucesionales (capítulo dos), se sugiere que el principal factor en el decline de la abundancia de la especie, es la competencia intraespecífica por el recurso agua. La alta transpiración de *Baccharis*, lleva a una situación de estrés hídrico, que resulta en una disminución en la densidad al disminuir la disponibilidad del recurso.

Frecuentemente se asume que el desplazamiento competitivo debido al uso de recursos, es un mecanismo para el reemplazo de especies durante la sucesión (Tilman 1985). En el caso de la secuencia sucesional de campos abandonados en la zona por intrusión salina mencionado en el capítulo anterior, es posible que la competencia interespecífica por agua, sea responsable de la desaparición de especies de la secuencia sucesional en los campos abandonados bajo estudio. Al parecer existe un proceso de desplazamiento competitivo de *Baccharis* por parte de *A. polycarpa*. *A. polycarpa* parece ser una especie más tolerante a condiciones de estrés, determinado por la presencia de bajos potenciales hídricos en sus hojas, lo cual le permite continuar extrayendo la humedad del suelo aún cuando la disponibilidad del agua es baja y al mismo tiempo, continua con su actividad fisiológica. Pero también, el desplazamiento de *Baccharis* es probable se deba en algunos casos a la gran cantidad de sales en el suelo, lo cual

impone condiciones extremadamente estresantes donde *Baccharis* posiblemente podría no desarrollarse exitosamente, sin embargo, esto no fue probado en el presente estudio.

El patrón de sucesión secundaria observado en los sitios de estudio, parece ser el resultado de cambios en la disponibilidad del principal recurso limitante (agua), lo cual determina cuáles especies son encontradas durante la secuencia sucesional de los campos abandonados. Así que las cronosecuencias (capítulo dos) responden a un gradiente en la disponibilidad del recurso agua en el tiempo. Sin embargo, la sucesión es un proceso extremadamente complejo para ser explicado por un único factor, tal como el agua del suelo, por lo que habría que explorar otros factores como el contenido de nitrógeno en el suelo.

## CAPITULO IV

### SUCESION, IMPLICACIONES PARA RESTAURACION Y RECOMENDACIONES

Es importante discutir el proceso de sucesión ya que éste proporciona la base conceptual para planear y evaluar proyectos de restauración.

La restauración es el proceso a través del cual se pretende la recuperación de la estructura y función del ecosistema (Bradshaw 1987).

La relación del concepto restauración con el proceso ecológico de sucesión es esencial debido a que la restauración puede ser vista como un intento de apresurar la sucesión hacia las últimas etapas serales. Un entendimiento de las variables que determinan sucesión como colonización, competencia por uso de recursos, herbivoría, características del suelo, microorganismos, microclima y patrones de disponibilidad de humedad principalmente, son útiles para diseñar algunas de las estrategias de restauración encaminadas a lograr una condición o paisaje deseado. También un conocimiento de los factores que teóricamente alteran la trayectoria y tasa sucesional durante los primeros años, como cambios edáficos, cambios microclimáticos y otros, pueden ayudar a la restauración del ecosistema (Allen 1988).

Realizar trabajos de restauración requiere una atención cuidadosa de las relaciones ecológicas tanto abajo como arriba del suelo, sin embargo, la restauración de campos abandonados en zonas áridas no es un trabajo garantizado, porque el crecimiento de cualquier especie y el proceso sucesional es naturalmente lento e impredecible en condiciones desérticas y el disturbio hace estas condiciones aún más severas (Bainbridge y Virginia 1990).

Generalmente, se ha conceptualizado la restauración de lugares perturbados como un fenómeno instantáneo, donde las plantas son introducidas y rápidamente se establecen para formar comunidades estáticas y permanentes. Dicha percepción es inválida debido a que el desarrollo de cualquier comunidad es un proceso dinámico, influido por factores de disturbio, heterogeneidad ambiental, fluctuaciones climáticas, atributos de historia de vida y fisiológicos de las especies. Todos los aspectos mencionados afectan la trayectoria y tasa sucesional. Por eso para restaurar cualquier sistema, se debe entender el funcionamiento de la comunidad, pero lo más importante es que una comprensión de los procesos que afectan la dinámica de especies en una comunidad dada, pueden ser escalados a ecosistemas para predecir cambios a largo o corto plazo.

Si consideramos, que la acción prioritaria del Gobierno del Estado de Sonora para reactivar la economía de la Costa de Hermosillo es precisamente racionalizar el uso del agua, el presente trabajo se perfila como una estrategia de manejo a través de la cual posiblemente se pueda lograr recuperar en algún grado la estructura y función del ecosistema.

El conocimiento del marco histórico de los cambios ocurridos en el agroecosistema de la Costa de Hermosillo, así como de algunos procesos biológicos, marca la pauta para aplicar estrategias de restauración exitosas que mejoren la cubierta vegetal en los terrenos abandonados, lo cual a corto, mediano y largo plazo, beneficia a la población en general y a la actividad agrícola, obviamente bajo un uso sustentable de los recursos, principalmente del agua.

Sin embargo, la restauración de los campos abandonados no es con el fin de recuperar la actividad agrícola, ni tampoco con el fin de que una vez rehabilitados estos campos, sean de utilidad para alguna otra actividad productiva como la ganadería, pues en lo particular creo que las prácticas de restauración en esta zona son incapaces de incrementar dicha actividad, debido a que el ecosistema es de clima muy seco y por lo tanto, hay poca producción de biomasa. No obstante que los beneficios de la restauración del ecosistema para la vida silvestre son menos palpables que los beneficios económicos, son de gran peso si se toma en cuenta que es un ecosistema único. Algunos de los beneficios más importantes, como consecuencia del aumento en la cubierta vegetal sería la recuperación paulatina del manto acuífero; también, con el establecimiento de plantas sería posible disminuir la temperatura del suelo, lo cual en su momento favorece el desencadenamiento de la germinación y existe la probabilidad de que un mayor número de plántulas puedan establecerse y contribuir a la recuperación del sitio (Daubenmire 1979). La cubierta vegetal estimula la acumulación de materia orgánica facilitando la penetración de las raíces, mejora la estructura del suelo y facilita la acumulación de agua; por lo cual entre más mojado esté el suelo más lentos serán los cambios en su temperatura. Menores variaciones en la temperatura del suelo originarán una menor frecuencia de remolinos, debido a que estos se forman como resultado del calentamiento desigual de la tierra (Daubenmire *op cit.*). Una mayor cubierta de plantas hace que disminuya bastante la velocidad del viento a lo largo del suelo, lo cual favorece de manera eficaz una menor erosión del suelo por acción del viento y una menor pérdida de agua por efecto de la desecación, ya que los vientos tienden a incrementar la evaporación y la transpiración (Daubenmire *op cit.*).

Se postula que es posible recuperar o mejorar en algún grado, el ciclo hidrológico, la biodiversidad y el balance de energía. Asimismo, con el diseño de estrategias de restauración es

posible probar hipótesis sobre sucesión, que aún permanecen sin esclarecer, lo cual aumentaría el conocimiento sobre la sucesión en zonas áridas.

Por otro lado la restauración acarrearía beneficios directos a la población de la Costa de Hermosillo. La recuperación de los sitios abandonados con vegetación nativa, puede beneficiar la economía doméstica, ya que parte de la población usa la vegetación para leña, forraje y otros. También como una manera opcional, podría surgir el uso de los terrenos recuperados junto con aquéllos remanentes de vegetación nativa, para el desarrollo de proyectos de ecoturismo, dirigidos por la misma población que habita la región. Obviamente surgiría la necesidad de desarrollar un plan de manejo específico para el uso de tales recursos.

### **Estrategias de restauración**

Basándonos en los resultados proponemos tres estrategias de restauración para la Costa de Hermosillo.

Primera. Esta estrategia está diseñada para los campos abandonados más cercanos a los grandes remanentes de vegetación natural próximos a la línea de costa. Consiste básicamente en restaurar bloques de terreno conectando los remanentes de vegetación natural que delimitan la región agrícola de la Costa, con las áreas agrícolas abandonadas. Ello puede crear una red de secciones o bandas reconstruidas con vegetación nativa y en su momento, funcionar incluso como corredores para especies de animales que se han visto limitadas en su distribución debido a la destrucción de la vegetación por efecto de la actividad agrícola. A su vez, las semillas de estos corredores pueden ser dispersadas por pájaros atraídos al lugar, o por el viento, actuando como una fuente de semillas permanente para las áreas adyacentes. Por otro lado, uno de los puntos claves para el éxito de la estrategia descrita, involucra la integración de las corrientes de agua naturales. Algunos de los corredores tendrán que establecerse a lo largo de arroyos, de tal manera que se asegure la provisión de humedad, por lo menos en etapas críticas como el establecimiento de la plántula. En otros casos habrá la necesidad de crear microcuencas o pequeñas presas para que las plantas dispongan de humedad.

Segunda. Para los parches de hábitat nativo que fueron dejados de manera aislada dentro de la red de campos y cerca de los cuales no existan fragmentos de vegetación nativa con los cuales se pueda conectar a través de corredores, puede ser efectivo incrementar el tamaño del parche, restaurando la vegetación nativa alrededor de su perímetro. El expandir el tamaño del parche tiene importantes implicaciones para la dispersión de las especies, y es muy posible que aquellas áreas que no mostraban signos de recuperación, puedan rehabilitarse. También en un

futuro la expansión de estas pequeñas islas pueden servir como puente de unión con otros pequeños remanentes.

Tercera. Esta última estrategia es diseñada para áreas de cultivo donde los productores desmontaron todo y en varios kilómetros alrededor no dejaron remanentes de vegetación natural. La estrategia implica el establecimiento y creación de pequeños parches con especies nativas (halófitas y no halófitas). Estos parches funcionarían como fuentes permanentes de semillas y acelerarían la recuperación de las áreas adyacentes a ellos.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre-Murrieta R., D. Johnson, L. Carrillo y F. Noriega. 1974. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). Coeficientes de Agostadero para el Estado de Sonora. Secretaría de Agricultura y Ganadería, México, 133 pp.
- Allen, E. B. 1988. Some trajectories of succession in Wyoming sagebrush grassland: Implications for restoration. In: The Reconstruction of Disturbed Arid Lands. Edited by Allen, E. B. Westview Press Inc., U. S. A., 89-112 pp.
- Bahre, C. J. 1991. A Legacy of change. Historic Human Impact on Vegetation of Arizona Borelands. The University of Arizona Press, U. S. A., 231 pp.
- Barbour, M. G., J. H. Burk y W. D. Pitts. 1980. Terrestrial Plant Ecology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., U. S. A., 604 pp.
- Baroni, A. 1992. Agricultura, ganadería y sociedad en la cuenca media del Río Sonora. En: Potreros, Vegas y Mahuechis. Ed. por E. C. Healy. México, 472 pp.
- Bazzaz, F. 1968. Succession on abandoned fields in the Shawnee hills, Southern Illinois. Ecology 49(5): 924-936.
- Bazzaz, F. 1979. The physiological ecology of plant succession. Annual Review of Ecology and Systematics 10: 353-371.
- Bazzaz, F. A. 1974. Ecophysiology of *Ambrosia artemisiifolia*: A successional dominant. Ecology 55: 112-119.
- Bazzaz, F. A. and R. W. Carlson. 1982. Photosynthetic acclimation to variability in the light environment of early and late successional plants. Oecologia 54: 313-316.
- Bainbridge, D. A. and R. A. Virginia. 1990. Restoration in the Sonoran Desert of California. Restoration & Management Notes 8(1): 3-12.

- Blair, W. F. 1979. The ecology of renewable resources in arid lands, with emphasis on *Larrea*. In: *Larrea*. Ed. Campos, L. E., T. J. Mabry y S. F. Tavizon. Centro de Investigaciones en Química Aplicada, México 19-26 pp.
- Bowers, J. E. 1993. Shrubs and Trees of the Southwest Deserts. Southwest Parks and Monuments Association, USA, 140 pp.
- Bradshaw, A. D. 1987. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. In: Restoration Ecology: a synthetic approach to ecological research. Ed. Jordan, W. R., M. E. Gilpin and J. D. Aber. Cambridge University Press, Great Britain, 337 pp.
- Castellanos, A. 1997. Evaluación de los patrones de cambio de uso de suelo y cubierta vegetal de la parte central del estado de Sonora. Conferencia presentada en la Convención Internacional de la Lucha Contra la Desertificación y Sobre los Recursos Forestales no Maderables. Ensenada, B. C. 1997.
- Coumo, C. J., R. J. Ansley, P. W. Jacoby and R. E. Sosebee. 1992. Honey mesquite transpiration along a vertical gradient. *J. Range Management* 45(4) 334-338.
- Chapman, H. D. and P. F. Pratt. 1973. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Trillas, México, 195 pp.
- Comisión Nacional del Agua, 1997. Volúmenes de extracción de agua en La Costa de Hermosillo durante 43 años. CNA, Gerencia Estatal, Hermosillo.
- CNA, 1992. Programa Estatal Hidráulico. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal.
- Comisión Nacional de Zonas Áridas y Secretaría de Desarrollo Social, 1994. Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México. México, 160 pp.
- Connell, J. H. and R. O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111: 1119-1144.
- Daubenmire, R. F. 1979. Ecología Vegetal. Tercera edición, Limusa, México, 496 pp.

- De Soyza, A. G., A. C. Franco, R. A. Virginia, J. F. Reynolds and W. G. Whitford. 1996. Effects of plant size on photosynthesis and water relations in the desert shrub *Prosopis glandulosa* (Fabaceae). *American Journal of Botany* 83(1): 99-105.
- DIARIO OFICIAL. 1980. Decreto presidencial para la rehabilitación de la Costa de Hermosillo, Distrito de Riego No. 51.
- Distrito de Riego No. 51. 1974. Programa de Acción Inmediata. 115 pp.
- Distrito de Riego No. 51, 1993. Plano con la cantidad de sólidos disueltos totales en el manto acuífero, en diferentes puntos de la Costa de Hermosillo. Escala 1: 200 000. Distrito de Riego No. 51-Costa de Hermosillo.
- Distrito de Riego No. 51. 1995. Plano de La Costa de Hermosillo con la distribución de las texturas de suelos predominantes en la zona agrícola. Escala 1: 200 000. Distrito de Riego No. 51-Costa de Hermosillo.
- Distrito de Riego No. 51. 1996. Relación de los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo, con fecha de registro del pozo. Hermosillo, Sonora.
- Distrito de Riego No. 51. 1997. Información General de La Costa de Hermosillo. Distrito de Desarrollo Rural No. 144-Hermosillo.
- Distrito de Riego No. 51. 1998. Programa y Realización de Siembras en el Ciclo-Agrícola 96-97. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Noroeste. Hillo., Son.
- Epple, A. O. 1995. *A Field Guide to the Plants of Arizona*. LewAnn Publishing Company, South Korea, 347 pp.
- Fitter, A. H. and R. K. M. Hay. 1987. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, second edition, Great Britain, 423 pp.
- Fixen, P. E. and J. H. Grove. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. Third edition, Edited by, SSSA, Inc., U. S. A., 784 pp.

- Goldberg, D. E. and R. M. Turner. 1986. Vegetation change and plant demography in permanent plots in the Sonoran Desert. *Ecology* 67(3): 695-712.
- Gomez-Pompa, A. y C. Vázquez-Yanes 1985. Estudios sobre la regeneración de selvas en regiones cálido-húmedas de México. En: Gómez-Pompa, A. y S. Del Amo (editores). *Investigaciones Sobre la Regeneración de Selvas Altas en Veracruz, México, II*. INIREB, México, 421 pp.
- Grande-López, R. 1974. Métodos para Análisis físicos y Químicos en Suelos Agrícolas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí e Instituto de Investigaciones de Zonas Áridas. México, 74 pp.
- Hastings, J. R. And R. M. Turner. 1965. *The Changing Mile. An Ecological Study of Vegetation Change With Time in the Lower Mile of an Arid and Semiarid Region*. The University of Arizona Press, U. S. A. 317 pp.
- Hils, M. H. and J. L. Vankat. 1982. Species removals from a firs-year old-field plant community. *Ecology* 63(3): 705-711.
- Huston, M. and T. Smith. 1987. Plant succession: life history and competition. *The American Naturalist* 130(2): 168-198.
- INEGI, 1988. Carta edafológica. Escala 1:1 000 000. Atlas Nacional del Medio Ambiente.
- INEGI, 1993. Estudio Hidrológico del Estado de Sonora. INEGI, México, 185 pp
- Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, 1970. Carta de Climas. Isla Tiburón 12R-III. Escala 1:500 000. Comisión de Estudios de Territorio Nacional y Planeación.
- Jackson, L. L., J. R. McAuliffe and B. A. Roundy. 1991. Desert restoration. *Restoration & Management Notes* 9(2): 71-80.
- Keever, C. 1950. Causes of succession on old fields of the Piedmont, North Carolina. *Ecological Monographs* 20(3): 231-250.

- Kirkby, M. J. y R. P. C. Morgan. 1980. Erosión de Suelos. LIMUSA, México, 375 pp.
- MacMahon, J. A. and F. H. Wagner. 1985. The Mojave, Sonoran and Chihuahuan Deserts of North America. In: Evanari, M., Y. Noy-Meir and D. W. Goodall (eds.). Ecosystems of the World: Hot Desert and Arid Scrublands. Vol. 12. Amsterdam, 105-202 pp.
- Martínez, R. J. M. 1993. Modernización agrícola de la Costa de Hermosillo, Derrumbe de un mito?. *Estudios Sociales IV* (8): 197-207.
- Moreno, J. L. 1994. El uso del agua en un Distrito Agrícola de Riego por bombeo: El caso de la Costa de Hermosillo, Sonora, México. En: Sociedad, Economía y Cultura. Compiladores Shoko, D. y E. P. Pérez.
- Moreno, J. L. 1997. Historia productiva y uso y gestión del agua en la Costa de Hermosillo 1945-1970. *En prensa*.
- Mueller- Dombois, D. and H. Ellenberg, 1974. Aims and Methods of Vegetation ecology. John Wiley & Sons, U. S. A. 547 pp.
- Mueller, C. H. 1940. Plant succession in the *Larrea-Flourensia* climax. *Ecology* 21: 206-212.
- Myster, R. W. And S. T. Pickett. 1994. A comparasion of rate of sucesion over 18 yr in 10 contrasting old fields. *Ecology* 75(2): 387-392.
- Niering, W. A., R. H. Whittaker and C. H. Lowe. 1963. The Saguaro: A population in relation to environment. *Science* 142( 3588): 15-23
- Odum, E. 1960. Organic production and turnover in old field succession. *Ecology* 41(1): 34-49.
- Odum, E. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
- Ortiz-Solorio, M. L., M. A. Garduño y J. W. E. Berg-Wolf. 1994. Evaluación, Cartografía y Políticas Preventivas de la Degradación de la Tierra. Colegio de Postgraduados de

Chapingo, Comisión Nacional de Zonas Áridas y Universidad Autónoma de Chapingo, México, 161 pp.

Palmer, R. G. and F. R. Troeh. 1979. Introducción a la ciencia del Suelo/Manual de Laboratorio. Segunda edición, EDITOR, S. A., México, 158 pp.

Peterson, D. L. and F. A. Bazzaz. 1978. Life cycle characteristics of *Aster pilosus* in early successional habitats. *Ecology* 59(5): 1005-1013.

Raynal, D. J. and F. A. Bazzaz. 1973. Establishment of early successional plant populations on forest and prairie soil. *Ecology* 54(6): 1335-1341.

Richardson, J. L., 1977. Dimensions of Ecology. The Willians & Wilkins Company. U. S. A., 412 pp.

Roberts, N. C., 1989. Baja California Plant, Field Guide. Natural History Publishing Company, U. S. A. 309 pp.

Rosenberg, N. J., B. L. Blad and S. B. Verma. 1983. Microclimate, The Biological Environment. 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc. U. S. A., 495 pp.

SARH, 1988. Programa de Modernización del Distrito de Riego de la Costa de Hermosillo. Distrito de Desarrollo Rural No. 144-Hermosillo.

SARH, 1993. Estadística Anual de la Costa de Hermosillo 1993. Distrito de Desarrollo Rural No. 144-Hermosillo.

SARH, 1995. Información General de la Costa de Hermosillo. Distrito de Desarrollo Rural No. 144-Hermosillo.

Shreve, F. 1929. Changes in desert vegetation. *Ecology* 10: 363-373.

Shreve, F. and A. L. Hinckley. 1937. Thirty years of change in desert vegetation. *Ecology* 18(4): 463-478

- Shreve, F. and I. L. Wiggins. 1964. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Vol. 1. Stanford University Press, U. S. A.
- SPP, 1981. Carta Fisiográfica. Escala 1: 1 000 000. Tijuana.
- SPP, 1980. Carta geológica. Escala 1: 1 000 000. Tijuana
- SPP, 1981. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. Escala 1:250 000. Sierra Libre H12-11.
- SPP, 1983. Carta Edafológica. Escala 1:250 000. Sierra Libre H12-11.
- Thomson, R. 1989. *Pioneros de la Costa de Hermosillo*. Artes Gráficas y Editoriales Yescas, S. A., México, 106 pp.
- Tilman, D. 1985. The resource-ratio hypothesis of plant succession. *American Naturalist* 125: 827-852.
- Tilman, D. 1987. Secondary succession and the pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients. *Ecological Monographs* 57(3): 189-214.
- Tilman, D. 1988. *Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities*. Princeton University Press, USA, 360 pp.
- Tilman, D. 1990. Constraints and tradeoffs: toward a predictive theory of competition and succession. *Oikos* 58: 3-15.
- Tramer, E. J. 1975. The regulation of plant species diversity on an early successional old-field. *Ecology* 56: 905-914.
- Turner, R. M. 1990. Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran Desert site. *Ecology* 7(2): 464-477.
- Turner, R. M. and D. E. Brown. 1994. Sonoran Desertscrub. In: *Biotic Communities, Southwestern United States and Northwestern Mexico*. Ed. D. E. Brown. University of Utah Press, 181- 222 pp.

- Turner, R. M., J. E. Bowers and T. L. Burgess. 1995. Sonoran Desert Plants An Ecological Atlas. The University of Arizona Press, USA, 501 pp.
- Valdez, D. 1991. Las Malezas de la Costa de Hermosillo. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. 100 pp.
- West, R. C. 1993. Sonora, its geographical personality. University of Texas Press, U. S. A., 191 pp.
- Wieland, N. K. and F. A. Bazzaz. 1975. Physiological ecology of three codominant successional annuals. *Ecology* 56: 681-688.
- Zangerl, A. R. and F. A. Bazzaz. 1983. Plasticity and genotypic variation in photosynthetic behavior of an early and late successional species of *Polygonum*. *Oecologia* 57: 270-273.

***ANEXOS***

## ANEXO 1

### Ubicación geográfica de los campos de cultivo muestreados

<b>Campos sin riesgo de intrusión salina</b>	<b>Ubicación geográfica del campo</b>
Ejido La Habana	28° 50' 111° 18' 27''
S. P. R Los Cuates	28° 41' 06.9'' 111° 28' 02.2''
P. P. Sta. Cecilia	28° 41' 32.07'' 111° 23' 07.29''
S. P. R. Sta. Rosalía	28° 42' 26.8'' 111° 38' .79''
S. P. R. Ignacio Ramírez	28° 43' 2 29.89'' 111° 21' 27.98''
Ejido San Luis	28° 47' 46.8'' 111° 18' 54.6''
P. P. Los Olivos	28° 40' 28.02'' 111° 38' 05.28''
P. P. San Francisco	28° 49.75' 45'' 111° 29' 19.2''
P. P. El Guamuchilar	28° 55' 12.33'' 111° 36' 48.37''
P. P. Sta. Isabel	28° 49' 52'' 111° 34' 20''
 <b>Campos bajo riesgo de intrusión salina</b>	
S. P. R. Bella Esperanza	28° 32' 46.82'' 111° 33' 23.75''
S. P. R. La Esmeralda	28° 37' 55.2'' 111° 28' 29.8''
S. P. R. 20 de noviembre	28° 33' 22.8'' 111° 37' 9.6''
S. P. R. Miguel Hidalgo	28° 36' 05.24'' 111° 36' 24.97''

S. P. R. Río Mayo	28° 37' 56.47''
	111° 36' 11.93''
S. P. R. Colonia El Sonorense	28° 33' 55.85'
	111° 31' 11.13''
S. P. R. Bellavista I	28° 46' 22.27''
	111° 43' 48.03''
S. P. R. Bellavista II	28° 46' 22.41''
	111° 43' 07.61''
S. P. R. Ignacio Zaragoza	28° 34' 37.84''
	111° 35' 35.82''
S. P. R. Miguel Lerdo de Tejada	28° 35' 19.03''
	111° 38' 39.26''
S. P. R. Guadalupe. Victoria	28° 35' 32.45''
	111° 36' 46.01''
S. P. R. Alvaro Díaz Gallegos	28° 35' 50''
	111° 35' 22.41''
P. P. San Juan	28° 33' 29.4''
	111° 28' 42''
S. P. R. Lázaro Cárdenas	28° 45' 24.13''
	111° 40' 02.9''
S. P. R. Francisco I. Madero	28° 34' 00''
	111° 37' 39.8''
P. P. Rancho Aconchi	28° 45' 10.27''
	111° 42' 06.86''
El Naranjito	28° 49' 52''
	111° 42' 13''
P. P. Rancho Valle Verde	28° 43' 58.70''
	111° 43' 06.16''
P. P. Los Pocitos	28° 49' 47.66''
	111° 43' 34.44''
S. P. R. Gilberto Flores Muñoz	28° 38' 33.75''
	111° 40' 27.58''
• S. P. R. = Sociedad de Producción Rural	
• P. P. = Propiedad Privada	

## ANEXO 2

### Listado de plantas encontradas en los muestreos de vegetación.

*Abutilon reventum* S. Wats.  
*Acacia coulteri* Benth.  
*Amaranthus fimbriatus* (Torr.) Benth.  
*Ambrosia confertiflora* DC.  
*Argemone intermedia* (Sweet)  
*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.  
*Atriplex polycarpa* (Torr.) S. Wats  
*Atriplex simibaccata* R. Br.  
*Baccharis sarathroides* A. Gray  
*Boerhaavia coccinea* Mill.  
*Cercidium floridum* Benth. ex A. Gray  
*Cercidium microphyllum* (Torr.) Rose & Jhtn.  
*Chenopodium leptophyllum* (Moq.) S. Wats.  
*Convolvulus arvensis* L.  
*Croton wigginsii* L. C. Wheeler  
*Cryptantha grayi* (Vasey & Rose) Macbr.  
*Encelia farinosa* A. Gray  
*Helianthus annuus* L.  
*Haplopappus sonorensis* (A. Gray) S. F. Blake  
*Larrea tridentata* (Sessé & Moc. Ex DC.) Coville  
*Nicotiana trigonophylla* Dunal  
*Opuntia fulgida* Engelm.  
*Palafoxia linearis* (Cav.) Lag.  
*Pectis papposa* Harv. & Gray  
*Physalis acutifolia* (Miers) Sandw.  
*Portulaca oleracea* L.  
*Prosopis glandulosa* Torr.  
*Ricinus communis* L.  
*Salsola kali* L.  
*Sesbania exaltata* (Raf.) Cory  
*Sphaeralcea ambigua* A. Gray  
*Sphaeralcea coulteri* (S. Wats.) A. Gray  
*Taraxacum officinale* Weber  
*Tidestromia lanuginosa* (Nutt.) Standley

**ANEXO 3: Resultados de las encuestas realizadas en los campos agrícolas abandonados, ubicados en la zona sin riesgo de intrusión salina en el acuífero.**

Tiempo de abandono (años)	2*	1	2	3	4	10	15	15	18	23
Causas de abandono: ❖ por falta de agua		X				X		X	X	X
❖ por falta de recursos económicos			X	X	X					
❖ El cultivo ya no produjo frutos							X			
¿Qué se cultivaba anteriormente?	Trigo	Algodón maiz	Maiz cártamo	Garbanzo algodón trigo	Nogal	Trigo garbanzo	Uva	Garbanzo trigo algodón	Garbanzo trigo algodón	Trigo
Ultimo cultivo antes de abandonar el terreno.	Trigo	Trigo	Trigo	Garbanzo	Nogal	Garbanzo	Uva	Algodón	Algodón	Trigo
Composición de plantas antes de desmontar por primera vez el campo	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe	Sahuaros mesquites	No sabe
¿Qué tan frecuente se fertilizaba?, cantidad y tipo de fertilizante usado	No sabe	No sabe	Dos veces al año	Dos veces al año	No sabe	Una vez al año	Una vez al año, P y N2	N2, 130 Kg./Ha al año	N2 en urea	Se aplicaba urea
¿Qué tan frecuente se aplicaban herbicidas?, cantidad y tipo de herbicida usado	No sabe	No sabe	Si se aplicaban	Si se aplicaban	No sabe	No recordó	No sabe	24D amina, en la siembra de trigo	No sabe	No recordó
¿Con qué frecuencia se barbechaba el campo?	No sabe	No sabe	Dos veces al año	Dos veces al año	Debido a que el nogal es un cultivo perenne, sólo se hacían labores de mantenimiento	Una o dos veces al año	Debido a que es un cultivo perenne, solo se hacían labores de mantenimiento	Una vez al año	Una o dos veces al año	No recordó
¿En que estación del año se abandonó el campo?	Verano	Verano	Verano	Primavera	No recuerda	Primavera	No recuerda	Otoño	Otoño	Verano
¿El último cultivo fue cosechado totalmente o persistió parte de él?	Totalmente	Totalmente	Totalmente	Totalmente	Los árboles de nogal fueron	Totalmente	Los vástagos de vid permanecieron	Totalmente	Totalmente	Totalmente

					cortados					
¿Recuerda si el año en que se abandonó el campo se presentó alguna helada o sequía?	No recuerda	No recuerda	No recuerda	No recuerda	No recuerda	No recuerda	No recuerda	No recuerda	No recuerda	No recuerda

**2\* = meses (el campo de dos meses no estaba abandonado, se encontraba en reposo)**

**Nota: En la mayoría de los casos, las preguntas de las encuestas fueron respondidas por los mayordomos de los campos o por gentes de edad avanzada, que conocían algunos aspectos de la historia del campo agrícola.**

**ANEXO 3: Resultado de las encuestas realizadas en los campos agrícolas abandonados, ubicados en la zona bajo riesgo de intrusión salina en el acuífero.**

Tiempo de abandono (años)	4	5	5	5	5	5	8	8	8	13	14	14	15
Causas de abandono: ❖ por amenaza de intrusión salina al acuífero	X	X	X	X		X							X
❖ por intrusión salina al manto acuífero					X				X	X	X	X	
❖ por intrusión salina al manto acuífero y contaminación del suelo con sales							X	X					
¿Qué se cultivaba anteriormente?	Maiz	Algodón cártamo	Frijol ajonjolí repollo tomate garbanzo maiz algodón cártamo trigo	Maiz frijol trigo	Algodón garbanzo trigo	Algodón trigo cartamo maiz	Algodón trigo	Algodón trigo	Algodón Trigo frijol maiz	Algodón trigo frijol maiz rye grass	Trigo algodón	Trigo maiz frijol algotón	Uva
Ultimo cultivo antes de abandonar el terreno.	Maiz	Trigo	Frijol	Trigo	Trigo	No sabe	No sabe	No sabe	Algodón	Algodón	algodón	Trigo	Uva
Composición de plantas antes de desmontar por primera vez el campo	No sabe	No sabe	Sahuaros palo verdes cibiris biznagas	No sabe	No sabe	No sabe	Sahuaros palo verdes cibiris biznagas cabezas de viejo	Sahuaros palo verdes cibiris biznagas	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe
¿Qué tan frecuente se fertilizaba?, cantidad y tipo de fertilizante usado	Se usaba nitrógeno en gas	Una o dos veces al año	Se usaba nitrógeno en gas	Dos veces al año. De 70 a 80 Kg./Ha	Dos veces al año. 90 Kg./Ha	No sabe	No sabe	No sabe	Una vez al año. Agua amonia al 60% ó al 40%	No sabe	N2 en agua amonia y en urea, también, P y S	Urea 150 kg./Ha	No sabe

¿Qué tan frecuente se aplicaban herbicidas?, cantidad y tipo de herbicida usado	No recordó	No se aplicaban	No sabe	24D Faena	Estamina 4, para correhuela	No sabe	No sabe	No sabe	No se aplicaban	No sabe	Se usaba 24D estamina	Faena	No sabe
¿Con que frecuencia se barbechaba el campo?	Dos veces al año	Una o dos veces al año	Dos veces al año	Dos veces al año	Dos veces al año	Una o dos veces al año	No sabe	No sabe	Una vez al año	Una o dos veces al año	Una o dos veces al año	Una vez al año	Debido a que la uva es un cultivo perenne, sólo se hacían labores de mantenimiento
¿En que estación del año se abandonó el campo?	Invierno	Verano	Primavera	Verano	Verano	No sabe	No sabe	No sabe	Otoño	Otoño	Otoño	Invierno	No sabe
¿El último cultivo fue cosechado totalmente o persistió parte de él?	Persistió parte de él	Totalmente	Totalmente	Totalmente	Totalmente	No sabe	No sabe	No sabe	Totalmente	Totalmente	Totalmente	Totalmente	Los vástagos de vid permanecieron
¿Recuerda si el año en que se abandonó el campo se presentó alguna helada o sequía?	No recordó	No sabe	No recordó	No recordó	Se presentó una sequía	No sabe	No sabe	No sabe	No se presentó ninguno de estos eventos	No recuerda	No sabe	No recuerda	No sabe