



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Dinámica de colonización de especies
vegetales en el lecho seco del río Churince,
Cuatrociénegas, Coahuila, México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

Torres Orozco Román Irma Polenka



DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. Irene Pisanty Baruch

2017

Ciudad de México



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno.
Torres Orozco
Román
Irma Polenka
5582455906
Universidad Nacional Autónoma de
México
Faculta de Ciencias
Biología
308299265
2. Datos del tutor.
M. en C.
Irene
Pisanty
Baruch
3. Datos del sinodal 1.
Dr.
Ernesto Vicente
Vega
Peña
4. Datos sinodal 2
M. en C.
María Esther
Sánchez
Coronado
5. Datos sinodal 3
Dr.
José Alejandro
Zavala
Hurtado
6. Datos sinodal 4
Dr.
Víctor
López
Gómez
7. Datos del trabajo es escrito
Dinámica de colonización de especies vegetales en el lecho seco del río Churince,
Cuatrociénegas, Coahuila, México
78 p.
2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi madre Sonia Torres Orozco Román y a mis hermanos Jonatán Torres Orozco Román y Rusland Enrique Torres Orozco, que han sido mi fortaleza, mi ejemplo, mi apoyo, mi motivación, mi amor y mi felicidad. Gracias, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

A mis sobrinas Aglaé y Abigail Torres Orozco González por darme tanta felicidad y cariño.

A Jorge Humberto Medina Durán por todo el apoyo, amor, aprendizaje y paciencia que me has dado. Gracias de todo corazón.

A Onésimo Medina Jiménez y Claudia Durán Saldivar que me apoyaron sin reservas y me hicieron sentir parte de su familia.

A todos mis amigos que son el trozo del rompecabezas que me completa.

A mis pichitas (CC) por amasarme cuando más lo necesitaba.

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por permitirme ser parte del alumnado, por formarme académicamente y personalmente.

A el Programa de Apoyos a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por financiar el proyecto IN217915 en el que está incluido mi proyecto de tesis.

Al Laboratorio de Ecología de Poblaciones por brindarme el apoyo y las instalaciones para llevar a cabo mis metas académicas y mi proyecto de tesis.

Al taller de Ecología terrestre y manejo de recursos bióticos por brindarme todas las herramientas teóricas y metodológicas para poder llevar a cabo mi proyecto de tesis.

A la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP) por brindar el apoyo para acceder al Sistema Churince.

A mi tutora la M. en C. Irene Pisanty Baruch por permitirme ser parte de su grupo de investigación, por brindarme no sólo su apoyo, confianza y amistad, sino que también su cariño. Por haberme formado en el ámbito científico y personal. Por su paciencia, tolerancia y comprensión, porque no sólo es una gran maestra, es una gran mujer con una gran calidad humana. Muchas gracias, besos de colores.

A la Dra. Christina D Siebe Grabach por realizar los análisis de suelo que se reportan en este proyecto de tesis.

A mis sinodales el Dr. Ernesto Vicente Vega Peña, a la M. en C. María Esther Sánchez Coronado, a el Dr. José Alejandro Zavala Hurtado y a el Dr. Víctor López Gómez por toda su ayuda para que mi proyecto de tesis tuviera grandes mejoras. Muchas Gracias por todo el tiempo que invirtieron en revisar y perfeccionar este proyecto.

A el M. en C. Juan Carlos Ibarra Flores por permitir el acceso a el área de estudio, por su apoyo en el transporte en Cuatrociénegas y por su gran disposición para apoyarnos en este y otros proyectos.

A el M. en C. Israel Solano Zavaleta por su apoyo técnico en laboratorio y en campo, por otorgar algunas de las fotografías que fueron utilizadas en este proyecto de tesis, por su alegría, cordialidad y su buen humor.

A la Dra. Mariana Hernández Apolinar por su apoyo técnico en laboratorio y en campo, además de su alegría y calidez.

A el Dr. Pedro Eloy Mendoza Hernández por su apoyo técnico en el laboratorio y en el campo, además de su buen humor y disposición para ayudar.

A Martín Carillo por ser un gran apoyo para mi proyecto de tesis y para otros proyectos.

A la Dra. María Teresa Valverde, a la Dra. Consuelo Bonfil, y a el Dr. Jaime Zuñiga por su confianza, apoyo y por brindarme la infraestructura para llevar a cabo mi proyecto de tesis.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio Especializado: Biól. Cynthia Peralta García, Ana Karen Almaguer, Stephanie Escobar, Biól. Luisa Granados, Biól. Mariana Rodríguez, Natalia Ochoa, M. en C. Bruno Barrales, Biól. Julieta Díaz, M. en C. Gonzalo Ramírez, Yared Garcés, Biól. Karla Bilbatua, Hilda Díaz y Julián Olvera por toda su ayuda, comprensión y por las buenas charlas. Muchos de ustedes son mi ejemplo a seguir. Gracias.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A mi tía Elsa Torres Orozco Román, mi tío Jorge Téllez Serrano y a mis primos Jorge y Natalia Téllez Torres Orozco por apoyarme para lograr mis metas. Sin su apoyo no sería lo que actualmente soy. Gracias.

A Marijo Román Baso por nunca olvidarte de mí, por apoyarme cuando más lo necesitaba, por tus consejos, por tu sinceridad y cariño. Muchas gracias señora.

A Araceli Velasco Pérez por todo su cariño, confianza y apoyo que me ha demostrado todos estos años. Eres una gran amiga, soy muy afortunada en haberte conocido. Por todo, muchas gracias, te quiero mucho. También quiero agradecer a sus padres, Lucila y Polo, y a sus hermanas, Amalia y Lucila, que me apoyaron siempre que pidieron, gracias.

A mi tía Martha Baso y Mayte Román Baso por apoyarme cuando más lo necesitaba, por su cariño y amistad, gracias.

A mis amigos de la prepa Dianita y Rubén, gracias por estar siempre a mi lado, por escucharme, aconsejarme y por quererme, los quiero mucho.

A Omar Alejandro Caballero por ser mi apoyo incondicional, por hacer mi cuadro para realizar mis muestreos y por esos buenos momentos que hemos tenido. Muchas gracias.

Gissaeli e Irianda Cruz por apoyarme cuando estaba en una situación muy complicada, por brindarme todo su cariño, por escucharme y aconsejarme, muchas gracias. Las recuerdo con mucho cariño.

A Norma González por cuidar a mi hermano y darme dos sobrinas preciosas, por escucharme y aconsejarme, muchas gracias.

A Ricardo Garduño y a su mamá Altagracia Barrientos por su apoyo, comprensión, cariño, por la deliciosa comida y por sus consejos, gracias.

A mis amigos de trabajo Sergio Ortiz, Fabiola Quintanar, Jessy Rold y Dioser, gracias por apoyarme siempre, mandarme siempre sus mejores deseos y por brindarme toda su alegría, gracias.

A mis amigos de la universidad Javier López, Alitzel Peña, Daniel Alejandro Marín, Mara Zamora, Alma Loranca, Gonzalo Martínez, Cynthia Peralta, Zabdiel Díaz Susana Ávila y Jorge Humberto por sus consejos, por la alegría que los caracteriza, por su cariño y por escucharme, gracias.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Importancia y problemática del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila	3
1.2. Consecuencias de la sobre-explotación de los recursos hídricos en Sistema Churince	4
1.3. Disturbio. Sucesión primaria y secundaria	6
1.3.1. Disturbio	6
1.3.2. Tipos de sucesión	8
1.3.3. Colonización vegetal	8
1.3.4. Sucesión en ambientes semidesérticos y desérticos	10
1.4. Suelos de yeso y vegetación gipsófila	11
1.5. Hábitats ribereños	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo general	15
4. HIPÓTESIS	16
5. MÉTODOS	17
5.1. Área de estudio	17
5.1.1. Clima	18
5.1.2. Fisiografía e hidrología	19
5.1.3. Suelos	20
5.1.4. Vegetación y fauna	21
5.1.5. Sistema Churince	22
5.2. Técnicas de muestreo y análisis de vegetación	24
5.3. Análisis estadístico	28
6. RESULTADOS	30
6.1. Riqueza específica	30
6.2. Cobertura de las especies	35

6.3. Dinámica de la comunidad	36
6.4. Abundancia de las especies	38
6.5. Frecuencia específica en el lecho del río	39
6.6. Diversidad en el tiempo	41
6.7. Cobertura vegetal en los cuadros	42
6.8. Distinción entre sitios con base cobertura de las especies	44
6.9. Análisis de composición del suelo	47
6.9.1. Correlación entre la cobertura de las especies y los parámetros del suelo.	50
7. DISCUSIÓN	52
8. CONCLUSIONES	66
9. LITERATURA CITADA	68

RESUMEN

En el Valle de Cuatrociénegas (Coahuila) se está desecando el Sistema Churince, un importante sistema hidrológico de la zona. La laguna terminal y la parte final del río Churince ya no tienen agua. El lecho del río está siendo colonizado por diversas especies que toleran el clima extremoso y el sustrato rico en yeso característico de la región. Para conocer la dinámica de la colonización e identificar la relación entre el establecimiento de las plantas y su sustrato se hizo un transecto de 600 m a lo largo de la parte seca del río. Cada 50 m se fijaron cuadros de 10×2 m o de 10×0.90 m, dependiendo del ancho del río. Se contó con 13 cuadros fijos como unidades de muestreo. Los cuadros fueron muestreados bimestralmente a lo largo de un año y medio (junio 2015 a enero 2017) para determinar la composición, riqueza, abundancia, diversidad, frecuencia y cobertura de las especies. Se analizaron las condiciones químicas del suelo como el pH, el porcentaje de yeso, la materia orgánica y la saturación. La mayor cobertura se registró en agosto 2016 y la menor en enero (el mes más frío de acuerdo al climograma promedio) 2016 y 2017. Se registraron nueve especies en agosto 2015, abril, junio y agosto 2016 y siete en noviembre 2015 y enero 2017. Hay un patrón estacional en la composición, cobertura y la frecuencia de las especies. *Flaveria chlorifolia* es la especie más frecuente y abundante a lo largo de todo el río, seguida de *Sporobolus airoides* y *Distichlis spicata*. Hay una correlación positiva entre la cobertura relativa de *F. chlorifolia* y el porcentaje de yeso en el sustrato, lo que puede indicar que está bien adaptada para sobrevivir en un suelo con este compuesto. La distribución de las

especies en el lecho seco del río es discontinua y se forman parches de vegetación bien diferenciados, con diferentes estadios sucesionales.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia y problemática del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila

El Valle de Cuatrociénegas, Coahuila (México) alberga uno de los humedales más importantes del desierto Chihuahuense (CONANP, 2006). Se ubica en una zona desértica en la cual hay un intrincado sistema de corrientes subterráneas de agua que afloran a la superficie como manantiales, canales, ríos, pozas, lagos y estanques temporales, lo cual le confiere una gran diversidad de sistemas acuáticos y subacuáticos (Souza *et al.*, 2004; SEMARNAT, 2011). El agua que alimenta el sistema hídrico es proveniente de los manantiales ubicados a las faldas de la Sierra de San Marcos y Pinos (CONANP, 2006). El valle presenta una gran diversidad de ecosistemas terrestres entre los que se encuentran una zona de sotol (*Dasyllirion* spp.), matorrales xerófilos, dunas de yeso y serranías que van desde los 1900 a los 3000 m s.n.m.: (SEMARNAT, 2011). Además, a lo largo de los bordes de los cuerpos de agua se encuentran comunidades de organismos ribereños con características propias (Capon y Dowe, 2006). Estas características determinan una heterogeneidad de ambientes a la zona lo cual causa la alta diversidad de flora y fauna, además de un alto grado de endemismos (SEMARNAT, 2011).

El valle se encuentra ubicado entre los valles Calaveras y El Hundido. El agua de los tres valles, y de otros como Ocampo, se utiliza para cultivos forrajeros, principalmente de alfalfa, lo que ocasiona una gran pérdida de agua en el sistema (SEMARNAT, 2011). El agua de los valles Cuatrociénegas, Calaveras y El Hundido es drenada frecuentemente por canales abiertos que permiten una alta evaporación,

lo cual representa un gran desperdicio de agua porque hace al riego ineficiente, con severos efectos sobre los sistemas hídricos (Minckley, 1969).

La modificación del sistema hidrológico conlleva procesos con efectos negativos, como la desecación de los cuerpos de agua, la pérdida de cobertura vegetal y la fragmentación de hábitats (SEMARNAT, 2011). Otros problemas que enfrenta la zona, además de la sobreexplotación de recursos, son la extracción ilegal de especies vegetales y animales, y la presencia de especies invasoras difíciles de erradicar, como el pez joya (*Hemichromis guttatus*) y el carrizo (*Arundo donax*) (SEMARNAT, 2011).

1.2 Consecuencias de la sobre-explotación de los recursos hídricos en el Sistema Churince

La sobre-explotación de los acuíferos ha provocado la desecación parcial o casi total de varios sistemas hídricos que comprenden el Valle de Cuatrociénegas, como Tío Cándido-Hundido, El Anteojo, Santa Tecla, Churince y El Garabatal-Becerra-Río Mesquites (Souza *et al.*, 2006; Aldama *et al.*, 2007; Wolaver, 2008; Pisanty *et al.*, 2013). Uno de los más afectados es el Sistema Churince, el cual se conforma por las pozas Bonita y Churince, el río Churince, la laguna Intermedia (localmente conocida como los Güeros) y la laguna Churince o Grande (Minckley, 1969).

La pérdida de agua del sistema Churince se aceleró drásticamente alrededor del 2004 (Souza *et al.*, 2006). No se sabe con certeza la causa de la desecación, de modo que hoy persiste, al menos parcialmente, una gran polémica sobre la relación entre la desecación y la apertura del proyecto hidroagrícola en El Hundido

(INEGI, 2005). Evans (2005), Rodríguez et al (2007) y Wolaver (2008) relacionan la desecación del sistema Churince con la apertura de numerosos pozos en El Hundido. De hecho, la apertura de los pozos en el valle vecino coincidió con la desecación final de la laguna Churince (Pisanty *et al.*, 2013). Otra evidencia de esta relación son los estudios realizados por Souza et al (2006) en los cuales se evidenció la relación genética de la microbiota de ambos valles, y se llegó a la conclusión de que son equivalentes. Estos estudios concluyen que existen evidencias biológicas e hidrológicas que sustentan la comunicación del Valle del Hundido con el de Cuatrociénegas. Sin embargo, Aldama et al (2007) sostienen que no hay comunicación entre los acuíferos de los dos valles, a pesar de su naturaleza kárstica y a la presencia de una cabalgadura (INEGI, 2005).

En la parte terminal del río Churince se formaron hundimientos diferenciales conocidos como abras debido a la pérdida progresiva de agua (Pisanty *et al.*, 2013). Las abras pueden ser de diferentes formas, tamaños y profundidades, y pueden o no contener agua de forma continua o discontinua a lo largo del tiempo (Aguedavillar, 1968; Palmer, 1991; Pisanty *et al.*, 2013; Rodríguez-Sánchez, 2014). Las abras se forman por el flujo del agua por debajo de la superficie del suelo, de modo que las partículas de éste pierden cohesión y se dispersan, causando colapsos del sustrato (Heinzen y Arulalandan, 1977). Este proceso, similar al que da origen a los cenotes, es común en las zonas áridas y semiáridas con suelos dispersivos, que se caracterizan por estar conformados por una gran cantidad de yeso (Heinzen y Arulalandan, 1977). En las abras se acumula agua, la humedad es mayor, la temperatura es más baja que en la planicie y hay protección a los organismos de

los fuertes vientos del desierto, además estas van a tener características de un ambiente ripario (Pisanty *et al.*, 2013). Así, las abras van a formar microhábitats en los cuales se van a establecer especies que pueden soportar niveles altos de salinidad y que requieren una considerable disponibilidad de agua (Heinzen y Arulalandan, 1977).

1.3 Disturbio. Sucesión primaria y secundaria

1.4.1 Disturbio. Un disturbio es un evento natural o antropogénico, de origen abiótico o biótico relativamente discreto, que se lleva a cabo en un determinado tiempo y espacio, y puede cambiar, en menor o mayor medida, la dinámica de las poblaciones, las comunidades o los ecosistemas al modificar la disponibilidad de recursos y cambiar las presiones de selección predominantes (Pickett y White, 1985). Por la intensidad del cambio se puede clasificar en crónicos y agudos (Singh, 1998). Un disturbio agudo es aquél que se da intensamente en intervalos de tiempo relativamente cortos (Turner, 2010). El disturbio crónico, por su parte, es resultado de cambios de baja intensidad que se llevan a cabo en periodos de tiempo relativamente largos (Rietkerk y van de Koppel, 1997; Singh, 1998; Martorell y Peters, 2008). Este tipo de disturbio dificulta la regeneración natural de los sistemas (Vega y Peters, 2003).

La sucesión se define como un proceso continuo de colonización y extinción local de especies en un sitio recién formado o en el que ha habido un disturbio (Bazzaz, 1979). La dinámica poblacional de cada especie se traduce en la conformación de comunidades que van cambiando a lo largo del tiempo (Peet y

Cristensen, 1980). Los cambios que ocurren en la sucesión son observables en escalas temporales y espaciales diferentes (Hacker *et al.*, 2011), están determinados por muchas variables y, por ello, son multidireccionales (Bazzaz, 1996).

Connell y Slatyer (1977) proponen tres modelos para inferir los mecanismos de la sucesión y explicar qué determina los cambios durante el proceso (Jaksic y Marone, 2006). El primer modelo es el de facilitación, que se caracteriza por el arribo de especies sucesionales de etapas tempranas (pioneras), que modifican el ambiente al establecerse y desarrollarse. Los follajes de las especies tempranas producen modificaciones en los microhábitats, que incluyen cambios puntuales, por ejemplo, en la radiación, la temperatura y la humedad, con los consecuentes efectos en las características del suelo (vgr. disponibilidad de nutrientes, porosidad y humedad) (Pickett *et al.*, 1987; Walker y Chapin, 1987). Al modificar el ambiente facilitan el establecimiento de las especies de etapas posteriores, que con frecuencia son competitivamente superiores y desplazan a las que anteceden. Así, cuando hay facilitación, las especies pioneras permiten, mediante diferentes mecanismos, el arribo de otras especies, que terminarán por desplazarlas (Pickett *et al.*, 1987; Walker y Chapin, 1987). En el modelo de inhibición ciertas especies, especialmente las pioneras, se vuelven reguladoras, ya que inhiben al menos temporalmente la supervivencia, el desarrollo y la reproducción de las especies características de etapas posteriores (Pickett *et al.*, 1987; Walker y Chapin, 1987). En el modelo de tolerancia las especies tardías coexisten con las especies

tempranas que las precedieron, las especies tardías tienen la capacidad de establecerse y crecer en presencia de otras especies (Connell y Slatyer, 1977).

1.3.2. Tipos de sucesión. La sucesión se puede dividir en dos tipos, dependiendo del estado del ambiente que va a ser colonizado. Si después del disturbio existen suelo y propágulos (vegetativos y sexuales) se trata de sucesión secundaria. En el caso de la sucesión primaria, al iniciarse el proceso, no hay ningún tipo de suelo, y es un ambiente desprovisto de vida (Gotelli, 2008). Para que la sucesión primaria se dé, requiere de la llegada de organismos vivos, incluidas las semillas y los propágulos vegetativos provenientes de otras regiones que pueden ser vecinas o distantes (Gotelli, 2008).

Para conocer el estado de sucesión de una zona se han propuesto algunos modelos a lo largo del tiempo (Bazzaz, 1996). El modelo de Tilman (1982,1986) explica a la sucesión en términos de proporción de recursos, dándole una consideración especial al nitrógeno y a la luz. Este autor considera que los cambios sucesionales van de un estado con bajo nitrógeno y gran cantidad de incidencia de luz, a un estado de altos niveles de nitrógeno y baja incidencia de luz (Bazzaz, 1996). Su modelo se ajusta más a la sucesión primaria; sin embargo, hay casos de sucesión secundaria en suelos pobres, como sucede, por ejemplo, en las zonas áridas, en las cuales no hay una gran cobertura vegetal que evite la erosión, lo que interfiere con la acumulación de suelo (Bazzaz, 1996; Vega y Montaña, 2004).

1.3.3. Colonización vegetal. La colonización vegetal es la ocupación de nuevos hábitats por especies con ciertas características morfofisiológicas y

ecológicas, las cuales determinan en gran medida su distribución y abundancia. La colonización ocurre después de un disturbio que modifica a la comunidad (Begon *et al.*, 2003).

La colonización vegetal es la primera fase de la regeneración natural y de la sucesión ecológica. Ésta inicia con la germinación de las semillas, el establecimiento y crecimiento de propágulos sexuales o vegetativos que se establecen en un espacio desprovisto parcial o totalmente de vida vegetal (Begon *et al.*, 2003). En esta etapa, el medio físico ejerce una selección de las plantas colonizadoras, de tal manera que algunas especies no prosperan, ya que no resisten las condiciones estresantes del sistema (Begon *et al.*, 2006). Cuando se crean sustratos nuevos es muy común que no haya continuidad espacial con las comunidades vegetales aledañas que no fueron afectadas por el disturbio (vgr. derrames de lava y apertura de claros) (Connell y Slatyer, 1977). Las especies pioneras con gran capacidad de dispersión y con ciclos de vida cortos (vgr, líquenes y musgos) logran alcanzar los sitios sin vegetación, en los que se establecen y enriquecen el suelo con el aporte de materia orgánica y con la fijación de nitrógeno, facilitando el establecimiento de especies tardías de las siguientes fases de la sucesión, como se explicó anteriormente (Connell y Slatyer, 1977).

El establecimiento de las plantas en zonas áridas va a estar determinada por varios factores tales como la humedad, disponibilidad de nutrientes, la presencia de microambientes disponibles y los factores edáficos, pero el factor más importante es la disponibilidad de agua (Shmida *et al.*, 1986; Polis, 1991). En las zonas áridas las plantas presentan algunos rasgos que son favorables para colonizar sitios

nuevos, como tasas altas de fecundidad y de germinación en cuanto hay disponibilidad de agua, así como un área radicular que es frecuentemente mayor que la cobertura de la parte aérea de los individuos (Noy-Meir, 1973; Noy-Meir, 1985). El crecimiento clonal es otra de las estrategias frecuentes para colonizar sitios y establecerse en las zonas áridas (Montaña *et al.*, 1990; Mandujano, 2007).

1.3.4. Sucesión en zonas áridas y semiáridas. La dinámica de la vegetación en zonas áridas y semiáridas está marcada por la aparición de eventos esporádicos que afectan el reclutamiento y la muerte de los individuos, dando como resultado el cambio en la composición de la comunidad (Walker, 1993; Miranda *et al.*, 2004). La sucesión en este tipo de ambientes es lenta porque el reclutamiento depende de si hay o no eventos lluviosos, aunado a que la escasez de agua afecta a las plántulas más que a otros estadios. Los microclimas que permiten el establecimiento de las plantas resultan de la diversidad de condiciones (vgr. disponibilidad de nutrientes, acumulación de agua y sombra). Estos microclimas favorecen la formación de parches discontinuos de vegetación, como los arcos de vegetación en los cuales se dan procesos sucesionales puntuales, como los reportados por Montaña *et al.* (1990).

La sucesión en el desierto no se puede ver en los mismos términos que en otros ambientes, ya que los cambios ocurridos son muy discontinuos espacialmente y, en general, forman mosaicos con procesos sucesionales en diferentes estadios (Polis, 1991) como en los arcos de vegetación reportados por Vega y Montaña, (2004), además, los intervalos de tiempo en los cuales ocurren los cambios son mayores que los descritos en el concepto de sucesión clásico (Muller, 1940).

1.4. Suelos de yeso y vegetación gipsófila

Los suelos ricos en yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o gipsícos comprenden entre 100 (Verheye & Boyadgiev, 1997; Palacio *et al.*, 2007; Moore *et al.*, 2014) a 207 millones de ha (Eswaran & Zi-Tong, 1991 en Palacio *et al.*, 2007) distribuidos alrededor del mundo. Se encuentran en zonas áridas y semiáridas, en donde la baja precipitación evita su remoción por lixiviación (Parson, 1976 en Palacio *et al.*, 2007). Los yacimientos más grandes se encuentran en el sur de África (vgr. Somalia, Etiopía), norte de África (vgr. Argelia y Túnez), Asia occidental (vgr. Irán, Irak y Turquía), Australia, España oriental y la región del Desierto Chihuahuense en Norteamérica (FAO, 1998; Merlo *et al.*, 2011; Escudero *et al.*, 2015; Moore *et al.*, 2014). Los yacimientos de yeso se originaron de depósitos de la evaporación de agua de mares o lagos, así como de aguas termales (Herrero *et al.*, 2009; Escudero *et al.*, 2015).

Los suelos de yeso se caracterizan por un contenido de éste de alrededor del 5 (FAO, 1990; Pueyo *et al.*, 2007) al 15 % y a la presencia de un horizonte en el cual el yeso se acumula (FAO, 1998; Herrero y Porta, 2000; Escudero *et al.*, 2015). En estos suelos se establece vegetación gipsófila estricta, dominada principalmente por camaefitas, además de pastos. La vegetación de estos ambientes es muy importante ya que son especies muy diversas, conspicuas, endémicas y raras (Meyer, 1986; Meyer y García-Moya, 1989; Rubio y Escudero, 2000). La cobertura de vegetación en suelos de o con yeso es menor comparada con las comunidades aledañas que crecen con cantidades menores de yeso y mayor cantidad de materia orgánica (Meyer, 1986; Meyer *et al.*, 1992; Rubio y Escudero, 2000). Esto evidencia el hecho de que los suelos de yeso son poco productivos y difíciles de colonizar,

debido al estrés que enfrenta la vegetación que en ellos habita (Meyer, 1986; Meyer *et al.*, 1992; Rubio y Escudero, 2000). Algunas propiedades físicas que dificultan la colonización de este tipo de sustrato son la escasez de agua, provocada por su ubicación y su alta velocidad de infiltración (Guerrero-Campo *et al.*, 1999; Herrero y Porta, 2000; Escudero *et al.*, 2015), la presencia de una “costra” superficial de suelo endurecido, que puede limitar la germinación (Meyer, 1986; Escudero *et al.*, 2000; Palacio *et al.*, 2007), la inestabilidad mecánica del material del suelo debido a su poca plasticidad, cohesión, agregación y, en ocasiones, su baja porosidad lo que limita la penetración de las raíces al suelo (Guerrero Campo *et al.*, 1999; Palacio *et al.*, 2007). En cuanto a las propiedades químicas que dificultan la colonización de los suelos de yeso están el gran empobrecimiento nutricional a causa del intercambio de calcio por otros iones retenidos en el suelo (Meyer *et al.*, 1992; Guerrero Campo *et al.*, 1999; Palacio *et al.*, 2007) y a la alta concentración de iones sulfato, que puede ser tóxica para las plantas (Duvigneaud, 1968 en Ruiz *et al.*, 2003; Palacio *et al.*, 2007). La vegetación está compuesta por sub arbustos, plantas perennes de vida corta (plantas bianuales, pastos y hierbas perennes, que no son capaces de clonar) y plantas anuales y perennes más longevas gracias a su capacidad de clonar (Parson, 1976; Hodgson *et al.*, 1994 en Palacio *et al.*, 2007). Los suelos yesosos tienen una gran influencia en el desarrollo de las plantas que se establecen en ellos, independientemente de su origen, edad geológica. La presencia de yeso es tan determinante que incluso las concentraciones bajas tienen efectos en las plantas (Guerrero-Campo *et al.*, 1999; Herrero, 2004; Escudero *et al.*, 2015).

A lo largo del tiempo se ha buscado clasificar a la vegetación que crece en suelos gípsicos (Escudero *et al.*, 2015). La clasificación de Duvigneaud y Deneaeyer-De Smet (1968) es la más apropiada, ya que está basada en las características fisiológicas de las plantas, sin embargo, ha sido poco aplicada por su complejidad, por esto la clasificación más usada es la de Meyer (1986), como lo señalan Escudero *et al.* (2015). Esta clasificación distingue cinco tipos de plantas diferentes en función de su distribución en suelos de yeso y en suelos adyacentes: gipsófilas (plantas que crecen exclusivamente en suelos de yeso), gipsoclinas (plantas con una distribución preferencial en yeso, pero también se encuentran en otros tipos de suelo), gipsovagas (plantas que crecen en y fuera de suelos yesosos), waifs (plantas que son raras en yeso) y gipsófobas (plantas que no crecen en yeso) (Palacio *et al.*, 2007).

1.5. Hábitats ribereños

La zona de estudio presenta características, además de las antes ya mencionadas, semejantes a las zonas riparias o ribereñas que son lugares de transición y de interacción de ambientes terrestres y acuáticos (Capon y Dowe, 2006). Las bandas de vegetación de ribera tienen la capacidad de almacenar fósforo y nitrógeno, además, estas bandas sombream el agua lo cual reduce su temperatura en días calurosos, estabilizan las orillas, brindan hábitat a plantas y animales, y reducen el riesgo de erosión (Granados-Sánchez *et al.*, 2005 en Capon y Dowe, 2006). La riqueza de las comunidades ribereñas va a ser mayor en zonas con una frecuencia intermedia de inundaciones y cuando hay una gran variación espacial de las inundaciones (Richards, 1982; Naiman y Decamps, 1997; Helfield *et al.*, 2007). Las

inundaciones locales y el depósito de sedimentos van a modificar la composición del suelo, la dinámica de los nutrientes (Richards, 1982; Naiman y Decamps, 1997; Helfield *et al.*, 2007) y la dispersión de propágulos de plantas ribereñas (Nilsson *et al.*, 1991; Andersson *et al.*, 2000; Jansson *et al.*, 2005; Helfield *et al.*, 2007). Durante las inundaciones los suelos se vuelven anóxicos y liberan iones tóxicos tales como magnesio y hierro (Blom y Voesenek, 1996; Capon y Dowe, 2006). Las inundaciones frecuentes restringen el crecimiento de las plantas, debido a la compactación y erosión del suelo, y el cambio de temperatura y luz (Capon y Dowe, 2006). El exceso de agua provocado por las inundaciones causa daños mecánicos en las plantas, también impide la germinación de las semillas y el establecimiento de propágulos, en la mayoría de las veces (Capon y Dowe, 2006).

2. JUSTIFICACIÓN

Los disturbios y los procesos de colonización han sido poco estudiados en las zonas áridas y semiáridas, ya que suelen ser esporádicos, discontinuos y lentos, además de interrumpirse frecuentemente por cambios puntuales. Igualmente, poco se sabe de la ecología de las plantas ribereñas de estas zonas y de su respuesta a los cambios de humedad, nutrientes y composición. La desecación del río y el inicio de la colonización de su lecho seco representan una oportunidad para comprender mejor estos procesos que son relevantes en la dinámica de este tipo de sistemas y necesarios para la implementación de estrategias de manejo o incluso restauración.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es describir la dinámica de colonización y establecimiento vegetal en el lecho seco del río Churince, en Cuatrociénegas Coahuila, México. Los objetivos particulares, derivados del anterior, son los siguientes:

1. Identificar a las especies que germinan y se establecen en el lecho del río en el primer año y medio del proceso de colonización de este hábitat nuevo.
2. Describir el recambio en la vegetación a lo largo de un año y medio.
3. Describir los atributos de la comunidad (riqueza, abundancia, diversidad, cobertura y frecuencia) que se establece en el lecho del río.
4. Caracterizar la relación entre las especies colonizadoras y algunas de las características químicas del suelo.
5. Establecer las diferencias de colonización en la época caliente y en la época fría.

4. HIPÓTESIS

Las hipótesis que se formulan en este trabajo son las siguientes:

1. El disturbio ocurrido en el sistema va a provocar que ocurra un proceso de sucesión en el lecho seco del río.
2. La desecación del río brinda un nuevo hábitat a las plantas ribereñas de la zona.
3. La distribución de las especies será diferencial a través del tiempo y responderá, a corto plazo, a la estacionalidad del sistema, lo que será evidente en los 18 meses abarcados en este estudio.
4. Las especies colonizadoras se distribuyen diferencialmente en el lecho del río de acuerdo a las características del tipo de suelo.

5. MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El Valle de Cuatrociénegas (Fig. 1) se encuentra en una región conocida como Altiplano septentrional o Desierto Chihuahuense, en el límite de las provincias geológicas del Golfo Sabinas y la plataforma de Coahuila (Souza *et al.*, 2004). El valle es parte de la subcuenca Río Salado-Nadadores, perteneciente a la Cuenca Presa Falcón-Río Salado, que a su vez pertenece al acuífero Bravo-Conchos (CONANP, 2002; INE, 2009). Debido a que alberga una gran cantidad de especies de flora y fauna endémicas, la Comisión Nacional de Áreas Protegidas la declaró Área de Protección de Flora y Fauna en 1994 (DOF, 2007). En esta fecha la reserva tenía una extensión de 84,347 ha, pero a partir del 2007 la extensión del área protegida aumentó a 801, 000 ha con la inclusión de las sierras aledañas (DOF, 2007). A partir de esta modificación fue re-categorizada como Área de Protección de Recursos Naturales (DOF, 2007). El área natural tiene un intervalo altitudinal que está entre los 740 m s.n.m. en la parte baja y 3000 m s.n.m. en la parte alta de las montañas (Minckley y Cole, 1968). El Valle de Cuatrociénegas se encuentra localizado a 80 km al Norte del Municipio de Monclova, a 26° 45' 00"-27° 00' 00" Norte y 101° 48' 49"-102° 17' 53" Oeste. Es parte del municipio de Cuatrociénegas de Carranza, Coahuila (INE, 1999). Está limitado por la Sierra La Fragua al sur, al noroeste por la Sierra de la Madera, al norte y noreste por la sierra Menchaca, al oriente por las sierras Chiquita y Purísima, y en la parte central y sur por la Sierra de San Marcos (INEGI, 2005).

5.1.1. *Clima*. El clima de la zona es árido con un promedio medio anual de precipitación de 220 mm (SEMARNAP, 1999). El verano es la época de lluvia, aunque llega a haber lluvias invernales asociadas a frentes fríos y vaguadas polares (CONANP, 2006). El intervalo de temperatura es muy amplio, pues va desde los 0 °C a los 50 °C, con una temperatura media anual de 22 °C (SEMARNAP, 1999). El INEGI (1988) considera el clima de la región como seco semicálido, con bajo porcentaje de lluvias invernales (Fig. 2). (SEMARNAP, 1999).



Figura 1. Valle de Cuatrociénegas, Coahuila. El cuadro naranja indica la ubicación del sistema Churince.

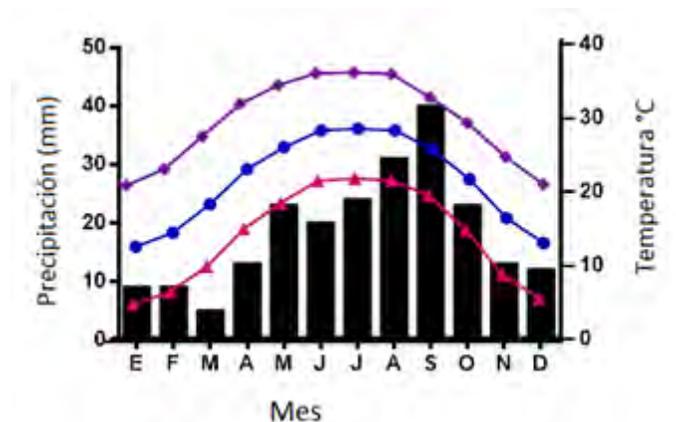


Figura 2. Climograma promedio del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila, México. Las líneas representan  máximas,  mínimas  promedio; barras representan precipitación (mm).

5.1.2. *Fisiografía e hidrología.* Cuatrociénegas forma parte de la Provincia de la Sierra Madre Oriental y, dentro de ésta, pertenece a la subprovincia denominada Sierras y Llanuras Coahuilenses. En esta subprovincia lo predominante son las sierras de roca caliza de origen mesozoico y de origen sedimentario marino, debido a que fueron sometidos a fuerzas corticales de tensión y compresión que dieron origen a levantamientos abruptos compuestos de rocas calizas (CONANP, 2006). Entre las sierras se extienden amplias pendientes, lomeríos y llanuras, las cuales conforman el valle (SEMARNAP, 1999).

Por otra parte, el valle se encuentra en una zona geohidrológica llamada Cuatrociénegas-San Miguel. Es una cuenca endorreica con una superficie de 1426 km², y por el número de manantiales es considerado como la zona más importante de descarga del acuífero Cupido-Aurora (Minckley, 1969). La extracción anual de agua es de 49 millones de m³ (de los cuales, 48 millones de m³ son para uso agrícola) y la recarga es de 25 millones de m³. Esta extracción ha llevado a una sobreexplotación de recursos hídricos. En el valle se encuentran varios cuerpos de agua conocidos como pozas, las cuales brotan de manantiales; sus diámetros van desde menos de un metro hasta más de cien metros, las profundidades van desde los 50 centímetros hasta los 18 metros. Algunas pozas se encuentran comunicadas entre sí, ya sea natural o artificialmente (SEMARNAP, 1999).

El mayor número de manantiales del valle se encuentra en las faldas de la Sierra San Marcos y Pinos, formando alrededor de 200 pozas. Las características de las pozas son muy variables en lo que al tamaño, profundidad, concentración de fósforo y biota se refiere (CONANP, 2010). Su número es cambiante debido a que algunas de ellas son intermitentes o efímeras, por lo que no se tienen cuantificadas con precisión. También se encuentran ríos, como el Mezquites y el Churince, la mayoría de los cuales son permanentes; sin embargo, la mayor parte del agua es subterránea. Existen dos lagunas terminales llamadas Playitas y Churince o Grande (SEMARNAP, 1999).

El agua del acuífero de Cuatrociénegas está categorizada como de mediana calidad, con un contenido de sales de entre 1500 a 2500 mmhos/cm, con un bajo contenido de fósforo y sodio (INEGI, 2005). La temperatura del agua oscila entre 18 y 35 °C y el pH varía de 5.6 a 8.3, estas características varían dependiendo de la poza y del origen del agua (INE, 1999).

5.1.3. *Suelos*. En la Subprovincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses dominan los litosoles, de color pardo y textura media, asociados a otros suelos (redzinas) más profundos y oscuros que salen por debajo del material calcáreo y se ubican en regiones más altas (SEMARNAP, 1999). En algunas bajadas de algunas sierras como La Madera, dominan los xerosoles de textura media y sigue la dominancia del regosol calcáreo (SEMARNAP, 1999). Por otra parte, en las sierras que rodean el valle los suelos son rocosos (litosoles), y someros de 5 a 10 cm de profundidad (CONANP, 2006).

El piso del valle, donde se ubican los sistemas hidrológicos recién mencionados, tiene suelos que son producto del acarreo y acumulación de materiales hacia las partes más bajas, como solonchack, xerosol, regosol y yermosol, algunos son de tipo salino y yesoso, siendo producto de la evaporación por las altas temperaturas. Por su origen, la mayoría de los suelos presenta gran cantidad de sales disueltas, como carbonatos, sulfatos y yesos (SEMARNAP, 1999).

5.1.4. Vegetación y fauna. El Valle de Cuatrociénegas presenta una gran riqueza de especies de plantas vasculares (837), que incluyen a 23 taxones endémicos (SEMARNAP, 1999).

Pinkava (1984) reconoció los siguientes tipos de vegetación:

- 1) Matorral desértico rosetófilo. Se localiza en las partes bajas de la sierra y hasta una altitud de 1,100 m s.n.m. En él se encuentran varias especies de agaves, como la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), yucas (*Yuca* spp.), y sotoles (*Dasyilirion* spp.), entre otros.
- 2) Matorral desértico micrófilo. Se encuentran en las partes bajas de las sierras. Las especies que lo caracterizan son: gobernadora (*Larrea tridentata*), ocotillo (*Fouqueria splendens*), nopal (*Opuntia bradtiana*), y mezquite (*Prosopis glandulosa*), entre otras.
- 3) Matorral desértico de transición. Conforman un ecotono entre el matorral desértico, micrófilo y pastizal halófilo, las especies más abundantes son: el

huizache (*Acacia greggii*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), y rodadora (*Salsola iberica*)

- 4) Vegetación halófila. Este tipo de vegetación se caracteriza por estar conformado por un conjunto de hierbas, generalmente bajas, con hojas carnosas y pequeñas, resistentes a concentraciones de sales altas y al mal drenaje. Hay dos formas, una en la que dominan las gramíneas, principalmente *Distichlis spicata*, *Clappia suaedaefolia*, *Suaeda mexicana*, y *Sporobolus airoides*, y otra en la cual domina *Salicornia* sp., *Atriplex canescens*, *Cynodon dactylon* y *Atriplex acanthocarpa*.
- 5) Vegetación gipsófila. Se localiza al sudeste del valle, alrededor del sistema Churince. Las especies más comunes son: yuca (*Yucca treculeana*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), sotol (*Dasyilirion palmeri*), nopal (*Opuntia* spp.), ocotillo (*Fouqueria splendens*), efedra (*Ephedra trifurca*) y *Sedum* sp. así como algunas especies de compuestas.
- 6) Áreas sin vegetación aparente. En estas zonas hay zacate de gallo (*Cynodon dactylon*) con poca densidad y baja altura.

El Valle de Cuatro Ciénegas es de los sistemas más estudiados de las zonas áridas en lo que a su fauna se refiere, debido a la gran cantidad de endemismos que presenta. Además, se tiene gran interés en la historia evolutiva de los animales que viven en este sitio, debido a las condiciones de las zonas ancestrales y actuales (SEMARNAP, 1999).

5.1.5. *Sistema Churince*. El Sistema Churince (Fig. 3) tiene una extensión de 45 ha, y está compuesta por cuatro partes: la Poza Churince, en la que se encuentra

el manantial que alimenta al sistema, la Poza Bonita, la Laguna Intermedia (ocalmente conocida como Los Güeros) y la Laguna Churince o Laguna Grande (Evans, 2005). Las dos lagunas son embalses que eran permanentes, de volumen estacional que ha cambiado a lo largo del tiempo (Evans, 2005). Un pequeño río, el Churince, comunica a todas las partes del sistema y desemboca en la Laguna Churince.

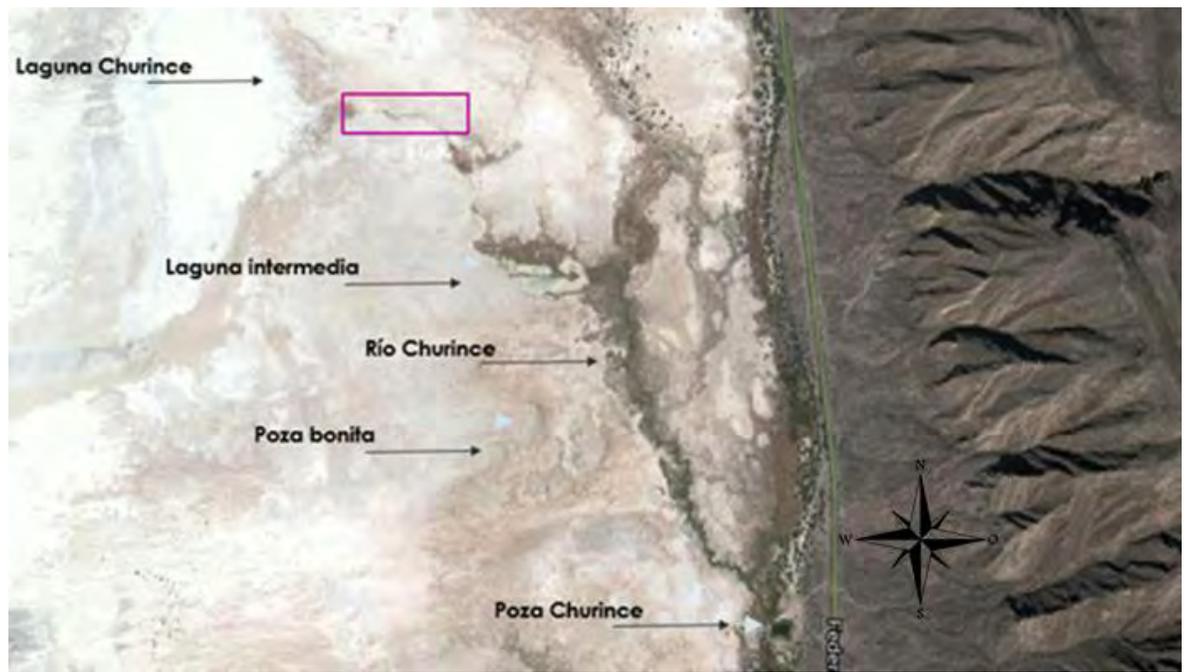


Figura 3. El sistema Churince en el Valle de Cuatrociénegas, Coah. Partes que constituyen el sistema: Río Churince, Laguna intermedia (con desecación muy avanzada) y Grande (actualmente presenta una pérdida total de agua), Poza Bonita y Poza Churince (desecación parcial). El área de estudio se señala con un rectángulo (Fuente: Google Earth 7)

5.2. Técnicas de muestreo y análisis de vegetación.

La elección de la zona de estudio se realizó con base en los bordes naturales del río. Se realizó un recorrido a lo largo del río, desde la desembocadura original en la Laguna Grande hasta la zona que aún tenía agua al inicio de este trabajo; la distancia desde el primer punto y el último fue de 600 m. El ancho del río es variable, por lo que los cuadros fijos de muestreo tuvieron que tener medidas diferentes, a fin de contar con un muestreo sistemático que permitiera ver las posibles variaciones a lo largo del lecho del río. Se marcaron cuadros fijos cada 50m. Se delimitaron ocho cuadros de 2 m × 10 m, y en los sitios en los que el cauce del río se reduce se colocaron 5 cuadros más, de 90 cm × 10 m. Esta última medida fue determinada por el ancho del cauce del río, que es de 90 cm en estas partes. Se establecieron así un total de 13 cuadros fijos (Fig. 4), que en su totalidad suman una superficie de 205 m². Bimestralmente, en cada cuadro se registraron los siguientes parámetros:

1. Riqueza específica: se determinó contando el número de especies de plantas presentes en cada cuadro en cada uno de los muestreos.
2. Cobertura total: se midió el diámetro mayor y el menor de cada planta y se calculó su cobertura aproximando la forma a la de una elipse, con la siguiente fórmula:

$$C = \left(\frac{d1}{2}\right) \left(\frac{d2}{2}\right) \pi$$

donde: C =cobertura (cm^2), d_1 =diámetro mayor (cm), y d_2 =diámetro menor (cm). Las coberturas individuales se sumaron para obtener la cobertura total de las especies y del cuadro.

3. Cobertura relativa: se consideró como la cobertura total de la especie entre el área total muestreada.
4. Distribución relativa de la abundancia: Se calculó con el modelo de series geométricas propuesto por Motomura (1932), se utilizaron los datos de la cobertura de las especies por mes muestreado.
5. Frecuencia: se determinó el número de muestras (cuadros) en los que aparecía cada una de las especies.
6. Diversidad. Se utilizó el Índice de diversidad de Shannon, que se calculó con el número de especies de plantas presentes en cada uno de los cuadros y la cobertura vegetal de los mismos, con la siguiente fórmula:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

donde: H = índice de diversidad de Shannon, S = número total de especies, P_i = abundancia relativa, \ln = logaritmo natural (Begon *et al.*, 2006).

7. Similitud. Se calculó con el Índice de Bray y Curtis (1957) con la siguiente fórmula:

$$D_{ih} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^P \text{MIN}(a_{ij} \cdot a_{hj})}{\sum_{i=1}^P a_{ij} + \sum_{j=1}^P a_{hj}}$$

donde: D = medida de Bray-Curtis entre las muestras j y h , j = cobertura total de la especie i en la muestra j , h = cobertura total de la especie i en la muestra h , MIN = el menor de los dos valores, a = cobertura total de la i -ésima fila, P = número de especies, Este índice fue calculado con la cobertura total de las especies en el software PAST versión 3

Se tomaron ocho muestras de suelo en enero del 2016, en la época seca, que fueron obtenidas de los cuadros 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, y 13, de manera aleatoria, no fue posible obtener muestras de los 13 cuadros debido a la baja disponibilidad de recursos para llevar a cabo su estudio. Las muestras fueron analizadas en el Instituto de Geología de la UNAM para determinar la conductividad y el pH, así como el porcentaje de yeso, de materia orgánica y de saturación.

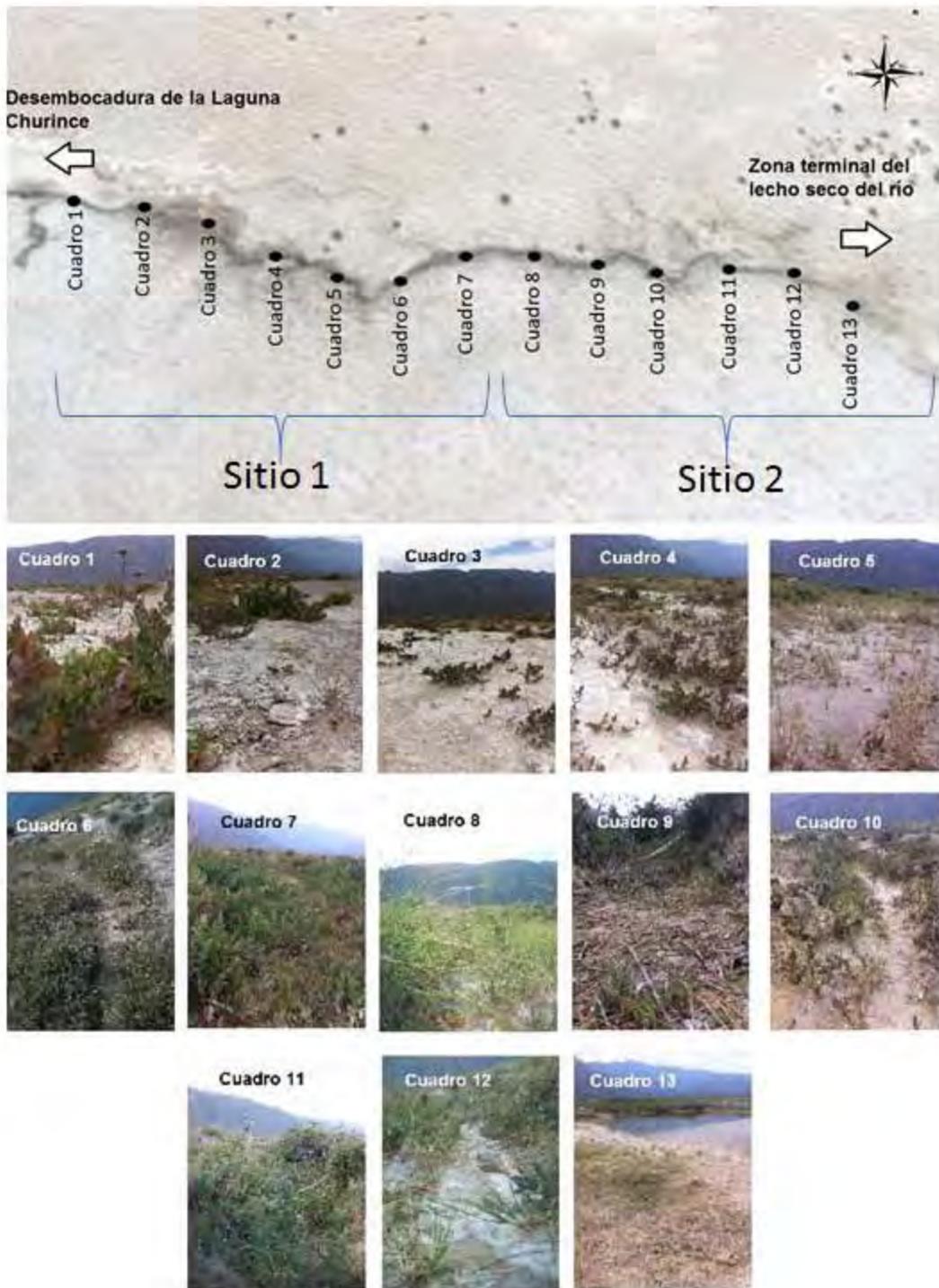


Figura 4. Lecho seco del río con cada uno de los 13 sitio 1 = zona cercana a la desembocadura de la Laguna Grande, sitio 2 = zona terminal del río.

5.3. Análisis estadísticos.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas para la riqueza diversidad y cobertura, con el objetivo de determinar si hay diferencias de éstos parámetros entre los meses muestreados (junio, agosto, noviembre del 2015 y enero, abril, junio, agosto, noviembre 2016 y enero 2017). Para la cobertura vegetal se realizó una transformación logarítmica de los datos, ya que no presentó una distribución normal. Para la riqueza y frecuencia se realizó una transformación de los datos ($\sqrt{x+0.5}$) debido a que los datos son discretos (Zar, 2010). Para la frecuencia se realizó un (ANOVA) de una vía para evaluar las diferencias en la frecuencia de las especies del lecho seco del río, esto se realizó con el número de cuadros en los que aparecía cada especie en todos los meses muestreados. Los análisis de varianza se realizaron en el programa Graph Pad Prism 6.01 para Windows (GraphPad Software, La Jolla, California, USA, 2012)..

Para cada prueba de ANOVA que resultó significativa se realizó una prueba de Tukey post-hoc para determinar las diferencias estadísticas entre los grupos (Sokal y Rohlf, 1995).

Los cuadros varían en la distancia en la que se encuentran con respecto a la desembocadura de la Laguna Grande (cuerpo de agua totalmente seco), el cuadro 1 está justamente donde termina la desembocadura de la laguna y comienza el río, el cuadro 13 está a 600 metros de esta. De acuerdo a esto se decidió establecer dos sitios en el área de muestreo. El sitio 1, es el más cercano a la desembocadura la laguna, e incluye a los cuadros 1, 2, 3, 4, 5 y 6. El sitio 2 es la parte terminal del

área muestreado e incluye a los cuadros 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13, en esta parte en ocasiones se encontró agua.

El uso de análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) para la síntesis de información biológica, abiótica y biótica, ha permitido formar una ordenación de cuadrantes basada en el ambiente (Castillejo *et al.*, 2011; Kent, 2012). Por esto se realizaron dos PCA, el primero sólo considerando la cobertura de las especies que colonizan el lecho del río y el otro que considera tanto la cobertura de las especies como las condiciones edáficas, en este último sólo se consideran los cuadros 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12 y 13, porque son de los que se tiene información de suelo. Estos análisis se realizaron a través del programa PAST software (Hammer *et al.*, 2001). Los parámetros de suelo que se consideraron fueron los siguientes: pH, conductividad, porcentaje de saturación, de materia orgánica y de contenido de yeso.

Para evaluar la relación entre la distancia de cada cuadro a la laguna (cuerpo de agua totalmente seco) y su cobertura total, se realizaron dos correlaciones, una para la época caliente (época húmeda) y otra para la época fría (época seca). La división entre épocas se realizó con base en el climograma promedio del valle. Estos análisis se calcularon a través del programa PAST software (Hammer *et al.*, 2001). La división entre épocas también se utilizó para el índice de similitud de Bray-Curtis y uno de los PCA.

6. RESULTADOS

6.1. Riqueza específica

Se registró un total de diez especies de plantas (Tabla 1; Fig. 6) establecidas en el lecho del río durante el periodo de estudio. Los meses en los que se registró el mayor número de especies (nueve) fueron en agosto 2015 y abril, junio y agosto 2016, mientras que en noviembre 2015 y enero 2017 se reportó la menor riqueza, que fue sólo de siete especies (Fig. 5a). La riqueza no varió significativamente a lo largo del tiempo ($F_{8,12} = 2.012$, $p = 0.1184$; Fig. 5b)

Tabla 1. Lista de especies registradas en el lecho seco del Río Churince, Cuatrociénegas, (Coah.). (junio 2015-enero 2017)

Espece	Ciclo de vida	Familia
<i>Flaveria chlorifolia</i> (A. Gray)	Perenne	Asteraceae
<i>Jaumea carnosa</i> (A. Gray)	Perenne	Asteraceae
<i>Bolboschoenus maritimus</i> var. <i>paludosus</i> (Palla)	Perenne	Cyperaceae

<i>Sporobolus airoides</i> (Torr.)	Perenne	Poaceae
<i>Distichlis spicata</i> (Greene)	Perenne	Poaceae
<i>Samolus ebracteatus</i> var. <i>coahulensis</i> (Henrickson)	Perenne	Primulaceae
* <i>Eustoma exaltatum</i> (L.)	Anual o perenne de vida corta*	Gentianaceae
<i>Sesuvium verrucosum</i> (Raf.)	Anual o perenne	Aizoaceae
<i>Sabathia tuberculata</i> (J. E. Williams)	Anual	Gentianaceae
<i>Prosopis glandulosa</i> (Torr.)	Perenne	Fabaceae

Fuentes: SeiNet (2016), Henrickson (1983), Turner (2014)

* En la zona de muestreo se comporta como perenne (K. Almaguer e I. Pisanty, com. pers.), aunque generalmente lo hace como anual (Lady Bird Johnson Wildflower center, 2017)

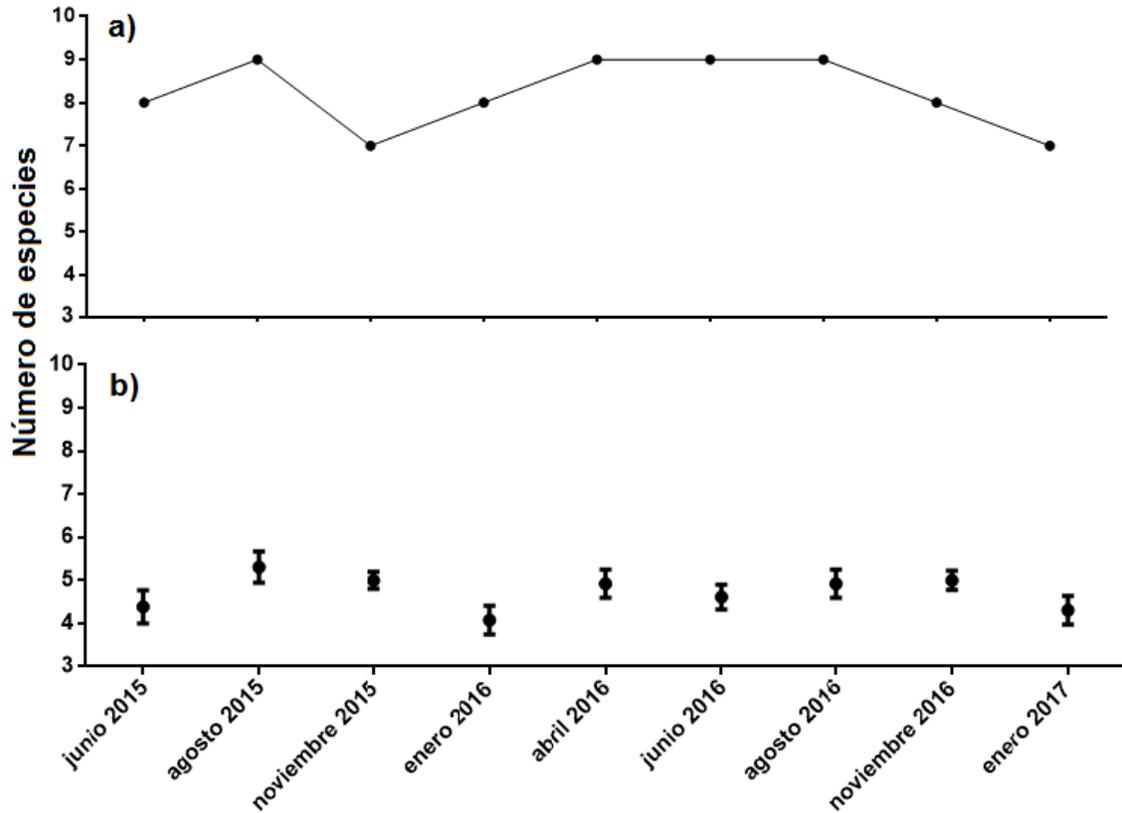


Figura 5. Riqueza en el tiempo a) total, b) promedio del lecho seco del río Churince, Cuatrociénegas, (Coah.). Se consideran los cuadros muestreados en conjunto. ANOVA de medidas repetidas ($F_{8,12} = 2.012$, $p = 0.1184$), las barras indican el error estándar. No hay diferencias significativas entre los meses.



a



b



c



d



e



f



Figura 6. Especies vegetales encontradas en el lecho seco del río Churince Cuatrociénegas, (Coah.). a) *Eustoma exaltatum*, b) *Flaveria clorifolia* c) *Sabatia tuberculata*, d) *Samolus ebracteatus* var. *coahuilensis*, e) *Sesuvium verrucosum*, f) *Sporobolus airoides*, g) *Jaumea carnosa*, h) *Bolboschoenus maritimus* var. *paludosus*, i) *Prosopis glandulosa*, j) *Distichlis spicata*.

6.2. Cobertura de las especies

El análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) para la variación de la cobertura a través del tiempo resultó significativo ($F_{8,12} = 14.92$, $p < 0.0001$; Fig. 7). La cobertura alcanza su valor máximo en noviembre 2015, junio y agosto 2016, mientras que en enero 2016 y 2017 llega a su mínimo. El valor mínimo corresponde a enero de 2017. La cobertura aumenta a partir de abril 2016 hasta llegar a su valor máximo y después desciende hasta su valor mínimo. La cobertura vegetal total del río en junio, agosto y noviembre del 2015 es significativamente diferente a la de junio, agosto y noviembre del 2016 respectivamente.

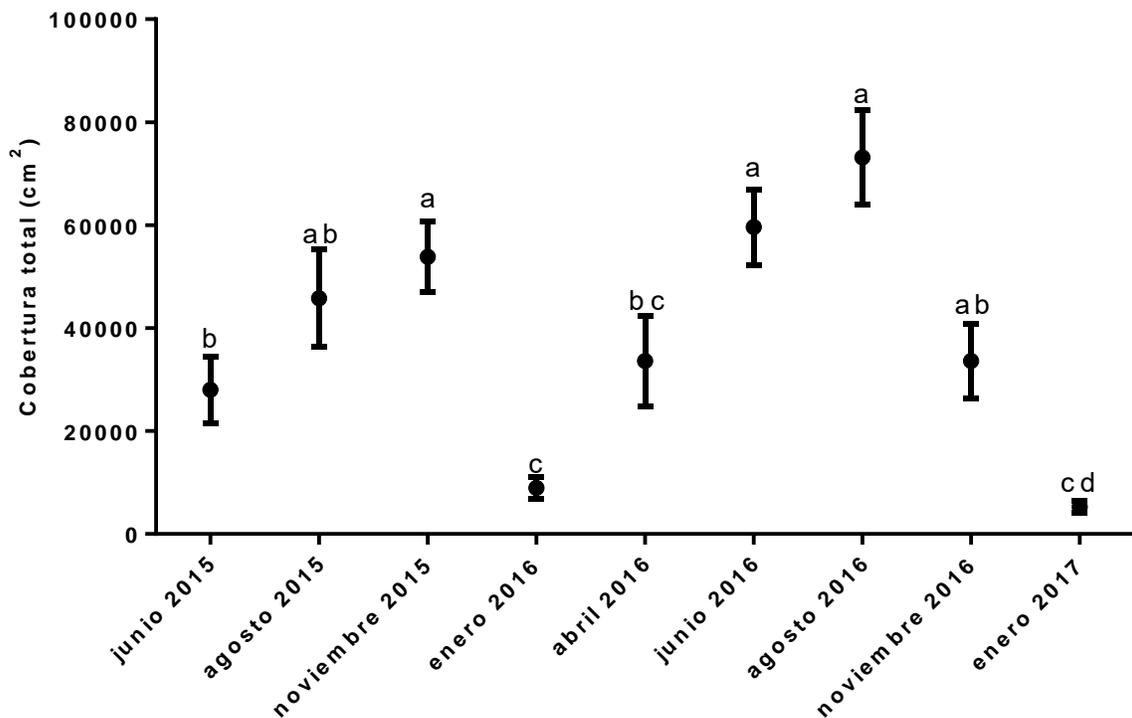


Figura 7. Media de la cobertura vegetal total en muestras en el lecho seco del río Churince, Cuatrociéngas, (Coah.). Las letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras representan el error estándar.

6.3. Dinámica de la comunidad

La cobertura relativa de las especies colonizadoras del lecho seco del río es diferente dependiendo del mes (Fig. 8). Aún en junio y agosto 2016 que fueron los meses en los que la cobertura alcanzó los niveles más altos, la cobertura de las especies que se establecieron en el río no rebasaron el 50% del espacio total. En noviembre 2015 y junio 2016 *F. chlorifolia* presenta su mayor cobertura y la menor en enero 2016, *D. spicata* alcanza su mayor cobertura en junio 2015 y la menor en enero 2017. *S. ebracteatus* var. *coahuilensis* y *B. maritimus* var. *paludosus* son

especies que, por el contrario, alcanzan su mayor cobertura el mes de enero 2015 y la menor en abril y junio 2016. *S. verrucosum*, en general, no tiene valores de cobertura altos y además su cobertura disminuye a partir de noviembre del 2015, hasta que en junio 2016 aumenta. *S. airoides* tiene una mayor cobertura en agosto 2016, seguido por abril y junio 2016 y la menor en enero 2016. *E. exaltatum*, *P. glandulosa*, *J. carnososa* y *S. tuberculata* son especies que tienen valores bajos de cobertura, además de que son poco frecuentes.

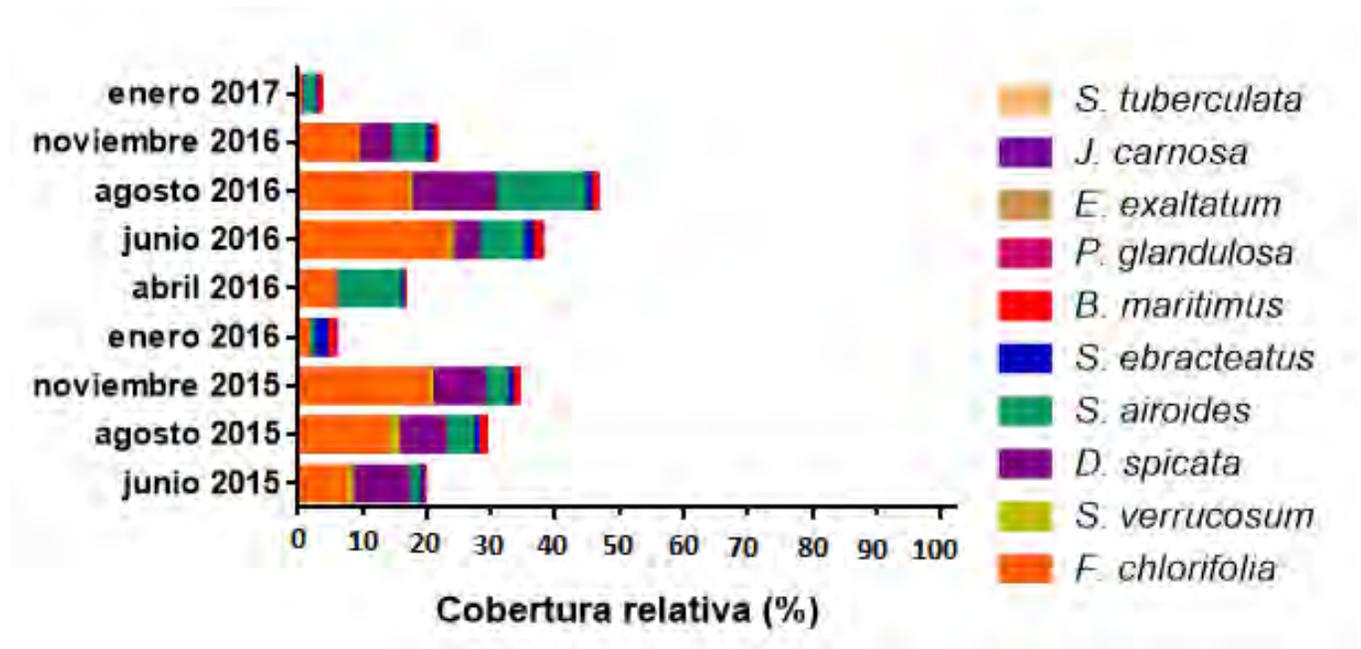


Figura 8. Cobertura relativa mensual de cada especie vegetal en el lecho seco del río Churince, Cuatrociéngas, (Coah.), de junio 2015 a enero 2017.

6.4. Abundancia de las especies

En la Fig. 9 se muestra que las especies más abundantes son *F. clorifolia*, *D. spicata*, *S. airoides*, *S. ebractetus* var. *coahuilensis*, *S. verrucosum* y *B. maritimus* var. *paludosus*, mientras que las menos abundantes son *S. tuberculata*, *P. glandulosa*, *E. exaltatum* y *J. carnososa*. Los valores máximos de abundancia se dan en agosto 2015 y junio 2016, los menores se dan en enero 2016 y 2017. Sin embargo, se observa una tendencia a la pérdida de abundancia de las especies menos frecuentes, conforme avanza el tiempo, sobre todo en *S. verrucosum* y *E. exaltatum*.

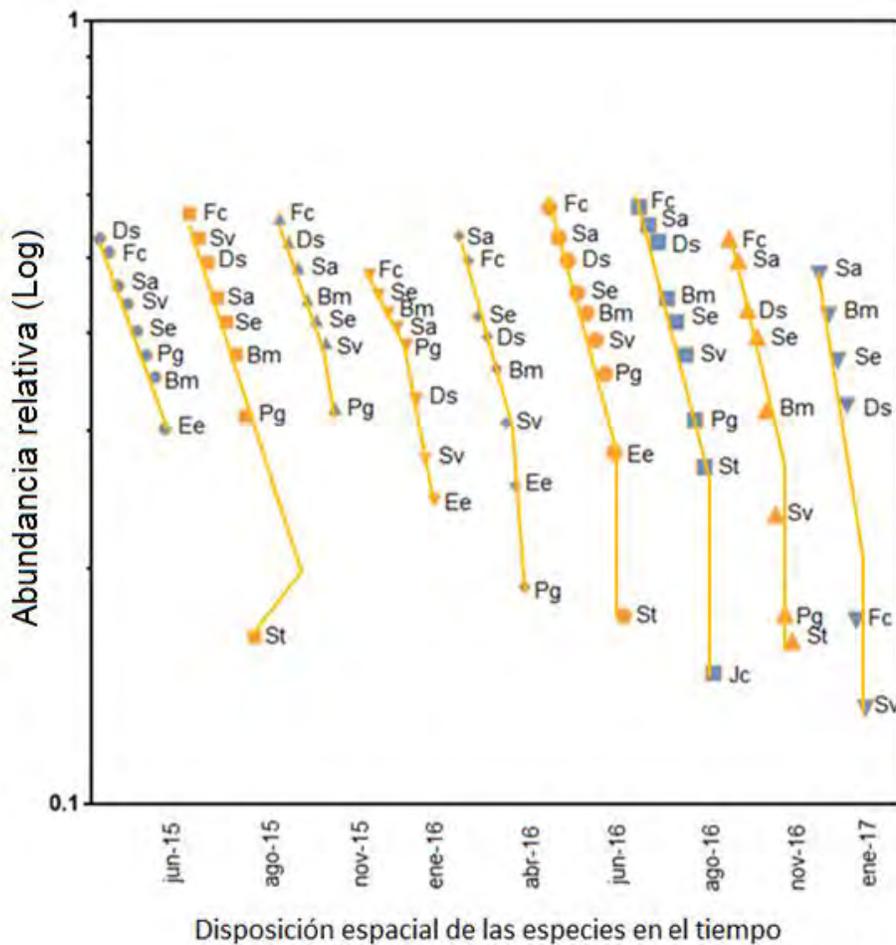


Figura 10. Diagrama de rango de abundancia (modelo de series geométricas) en el tiempo para todas las especies establecidas en el lecho seco del río Churince en el Valle de Cuatrociénegas, (Coah.). Fc = *Flaveria chlorifolia*, Ds = *Distichlis spicata*, Sa = *Sporobolus airoides*, Sv = *Sesuvium verrucosum*, Se = *Samolus ebractetus* var. *coahuilensis*, Pg = *Prosopis glandulosa*, Bm = *Bolboschoenus maritimus* var. *paludosus*, Ee = *Eustoma exaltatum*, St = *Sabatia tuberculata* y Jc = *Jaumea carnososa*.

6.5. Frecuencia específica en el lecho del río

En general todas las especies registradas alcanzaron su mayor frecuencia en agosto de 2015 y de 2016, sin embargo, en agosto del 2016 las frecuencias alcanzaron valores menores que en agosto 2015. Los valores de frecuencia más bajos se reportaron en enero 2016. *F. chlorifolia* tuvo una frecuencia relativa de casi el 100% a lo largo de los nueve intervalos de tiempo. Por el contrario, *E. exaltatum* se reportó en junio 2015, enero, abril, junio 2016 y enero 2017, con una frecuencia mayor en junio de 2015 y abril 2016. *J. carnososa* se presentó sólo en agosto 2015 y 2016. *S. tuberculata* se registró en agosto 2015 y abril, junio, agosto y noviembre de 2016, *P. glandulosa* tiene una frecuencia casi constante ya que los individuos que están presentes son los que se reportan bimestralmente y se encontraron pocos individuos nuevos. Las otras especies están presentes durante los 9 meses muestreados, aunque no necesariamente de forma continua a lo largo del tiempo como, por ejemplo *S. ebractetus* var. *coahuilensis*, que tuvo una mayor frecuencia el mes de enero 2016, *B. maritimus* var. *paludosus* tuvo su mayor frecuencia en agosto 2015 y la menor en junio 2015 y agosto 2016, aunque la diferencia es

solamente de 10%. *D. spicata* tiene una frecuencia alta que disminuye en enero, al igual que *S. airoides*. *S. verrucosum* está presente en los meses más calientes y su frecuencia disminuye en el mes más frío, enero (Fig. 10).

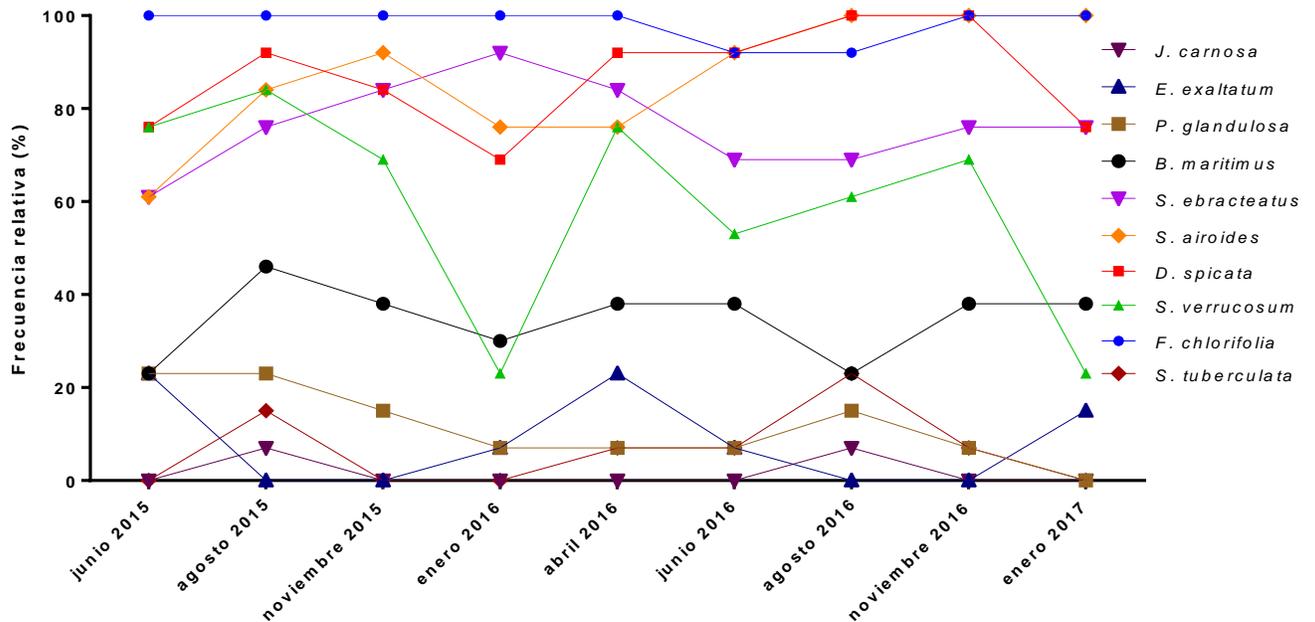


Figura 10. Frecuencia relativa (porcentaje de cuadros en los que se registra la especie) de cada especie vegetal colonizadora del lecho del río Churince, Cuatrociénegas (Coah.) N = 13 cuadros.

El análisis de las frecuencias permitió identificar tres grupos con diferencias significativas ($F_{9, 8} = 93.68, p = <0.0001$; Fig. 11). El primer grupo tiene los valores más altos y está conformado por: *F. chlorifolia*, *D. spicata*, *S. airoides* y *S. ebracteatus* var. *coahuilensis*. El segundo grupo tiene valores intermedios y está formado por *B. maritimus* var. *paludosus*, *S. verrucosum*. Finalmente, el tercero tiene los valores más bajos e incluye a *E. exaltatum*, *P. glandulosa*, *S. tuberculata* y *J. carnosa*.

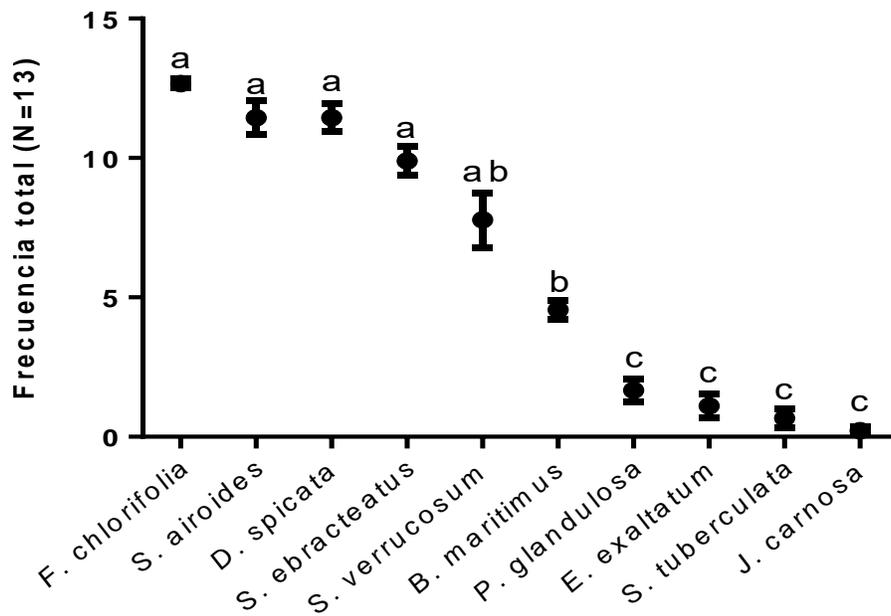


Figura 11. Media de la frecuencia total por especie a lo largo del lecho seco del río Churince Cuatrociénegas, (Coah.). Datos de junio 2015 a enero 2017. Las letras diferentes denotan diferencias significativas con $p < 0.05$ (ANOVA de una vía). Las barras representan error estándar.

6.6. Diversidad en el tiempo

El índice de diversidad de Shannon no presentó diferencias significativas en el tiempo ($F_{8, 12} = 1.101$, $p = 0.3659$; Fig. 12). El valor máximo se alcanzó en enero y noviembre 2016, mientras que el menor se alcanzó en agosto, noviembre 2015 y enero 2017

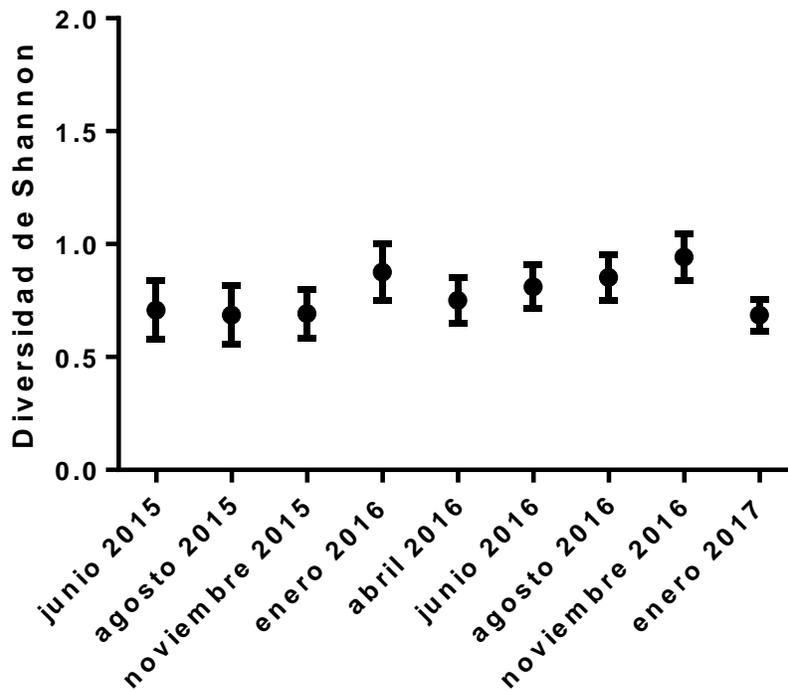


Figura 12. Media bimestral del Índice de diversidad de Shannon. Las barras representan el error estándar. No hay diferencias significativas

6.7. Cobertura vegetal en los cuadros

En la Fig. 13 se observa, de manera general, que los cuadros que pertenecen al sitio 1 (1, 2, 3, 4, 5 y 6) presenta menos especies y valores menores de cobertura que el sitio 2 (7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

La cobertura relativa por especie en los cuadros es casi igual en las dos temporadas, sin embargo, las coberturas, de cada cuadro son mayores en la época caliente (Fig. 13a) que en la época fría (Fig. 13b). La cobertura de *F. chlorifolia*, *S. airoides*, *B. maritimus* var. *paludosus* y *P. glandulosa* es muy parecida en las dos

épocas, mientras que la cobertura de las otras especies (*D. spicata*, *S. verrucosum*, *S. tuberculata*, *E. exaltatum*, *J. carnosa*, *S. ebractetus var. cohuilensis*) varió en las dos épocas *F. chlorifolia* es la especie que tiene coberturas más altas y su valor máximo lo presenta en el cuadro 7.

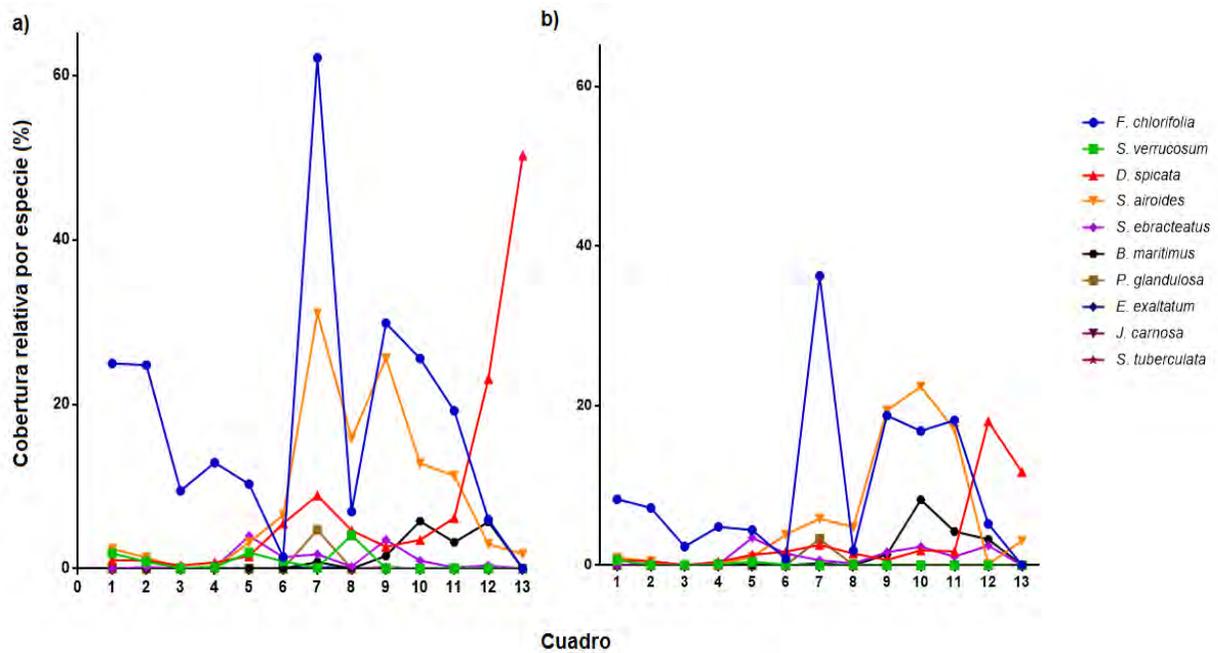


Figura 13. Cobertura relativa promedio (%) de cada especie en cada uno de los 13 cuadros muestreados, en el lecho seco del río Churince, Valle de Cuatrociénegas (Coah.). a) Cobertura relativa promedio (%) por cuadro en la época de caliente (junio y agosto 2015 y 2016), b) Cobertura relativa promedio (%) por cuadro en la época fría (noviembre 2015, enero, abril, noviembre 2016 y enero 2017).

En la época caliente la correlación entre la distancia del cuadro a la desembocadura de la Laguna Grande y la cobertura total de especies de cada cuadro no es significativa ($r=0.483$, $p= 0.094$: Fig. 14a). Por el contrario, en la época fría hay una correlación positiva significativa ($r= 0.611$, $p= 0.025$; Fig. 14b) entre estas variables.

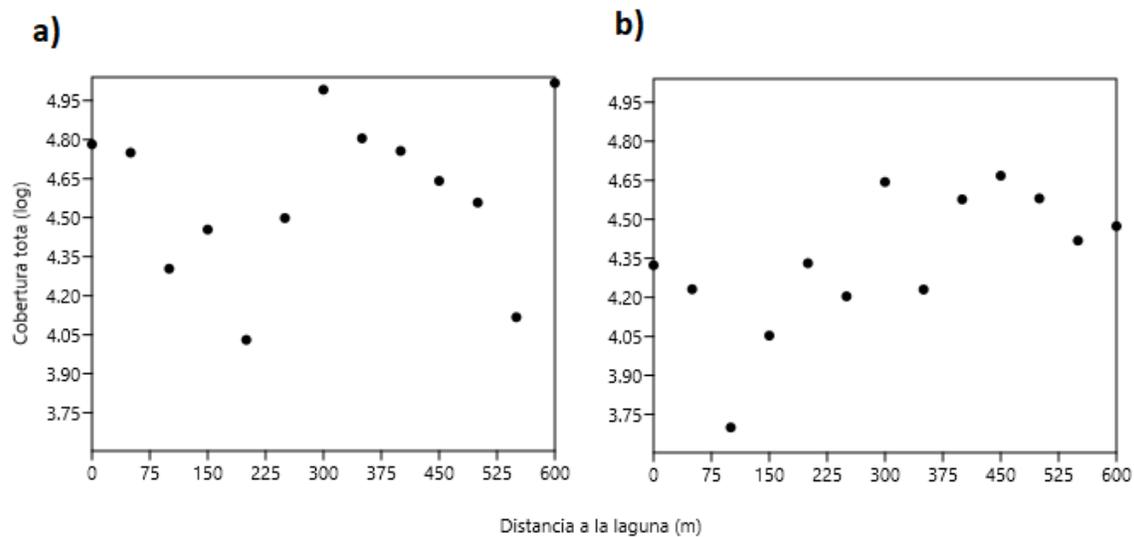


Figura 14. Análisis de correlación entre la cobertura vegetal y la distancia a la laguna de cada cuadro colocado en el lecho seco del río Churince, Cuatrociénegas, (Coah.). a) cobertura relativa en época caliente ($r= 0.483$, $p= 0.094$, $gl = 11$) b) cobertura relativa época fría ($r= 0.611$, $p=0.025$, $gl = 11$). Cada punto corresponde a un cuadro.

6.8. Distinción entre sitios con base cobertura de las especies

En la Fig. 15 se puede observar que, en general, los cuadros del sitio 1 están dentro de un mismo grupo y los del sitio 2 están dentro de otro, además, hay pocas diferencias en la

ordenación de los cuadros en las dos épocas. Los cuadros del sitio 2 se ordenan casi de la misma manera en las dos épocas. En la época caliente (Fig. 15a) la similitud es ligeramente menor que en la época fría (Fig. 15b). En la época caliente los dos sitios se agrupan juntos con valores de similitud mayores al 60 %, mientras que, en la época fría la similitud entre los dos sitios es menor al 30 %, con excepción del cuadro 8, que tiene una similitud con el sitio 1 de casi el 80 %. En el PCA de la época caliente (Fig. 16a) se agrupan juntos los cuadros del sitio 1 y del sitio 2, sin que haya diferencia entre ellos. En el PCA de época fría (Fig. 16b) se agruparon los cuadros del sitio 2 de un lado, con excepción de los cuadros 8, 12 y 13 y del otro lado se agrupan los cuadros del sitio 1

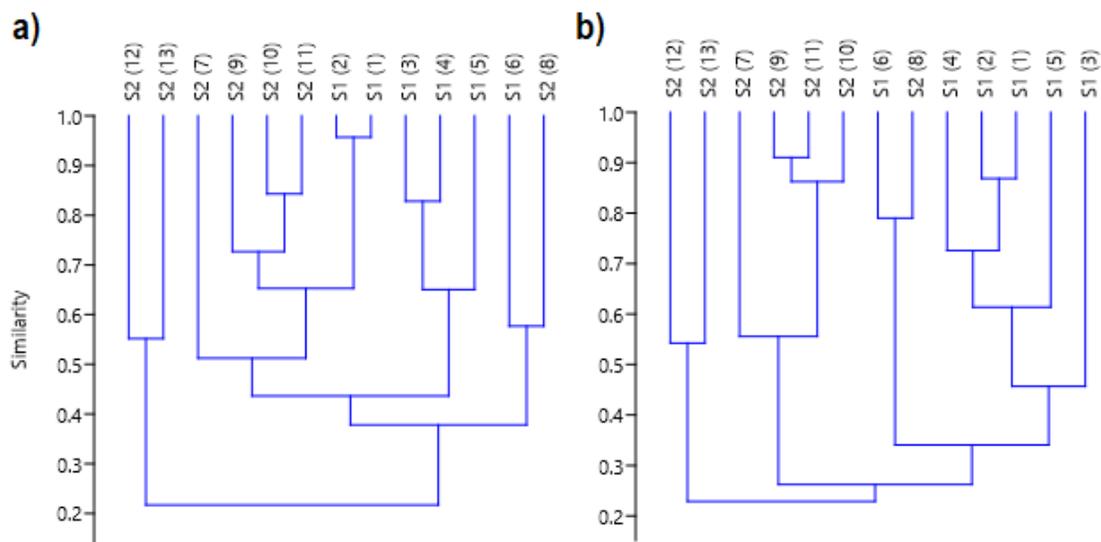


Figura 15. Dendrograma de similitud Bray-Curtis para la cobertura total de las especies en los sitios 1 y 2, S1 = sitio 1 y S2 =sitio 2, (número de cuadro) en el lecho seco del río Churince, Valle de Cuatrociénegas (Coah.). a) época caliente, b) época fría.

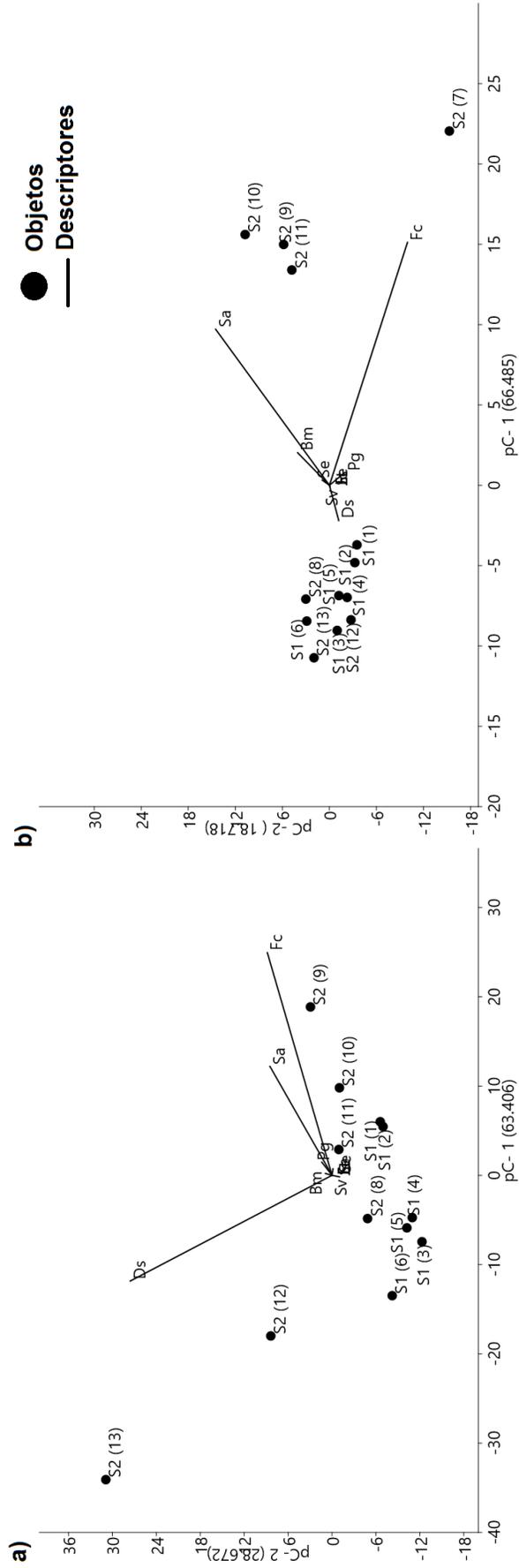


Figura 16. Biplot para las especies del lecho seco del río a) época caliente, b) época fría.

6.9. Análisis de composición del suelo

En el PCA, con los factores de suelo y las coberturas relativas de las especies, (gráfica Biplot) (Fig. 17) se puede observar que las variables más importantes son la conductividad eléctrica (CE), la saturación del suelo (Sat.), la cobertura de *D. spicata* (Ds), *F. chlorifolia* (Fc) y *S. airoides* (Sa). Los descriptores que menos explican la variación de los datos son: coberturas relativas de *S. verrucosum* (Sv), *S. ebractetus* var. *coahuilensis* (Se), *P. glandulosa* (Pg), *B. maritimus* var. *paludosus* (Bm), *E. exaltatum* (Ee), *S. tuberculata* (St) y *J. carnosa* Jc, además del pH y porcentaje de yeso. El análisis mostró que los cuadros del sitio se 2 se agruparon de un lado, lo que no sucedió con los cuadros del sitio 1. Los cuadros del sitio 1 están alejados en el espacio comparativamente con los cuadros del sitio 2, incluso se puede observar que los cuadros 3 y 5 están más cercanos a los cuadros del sitio 2 que del 1.

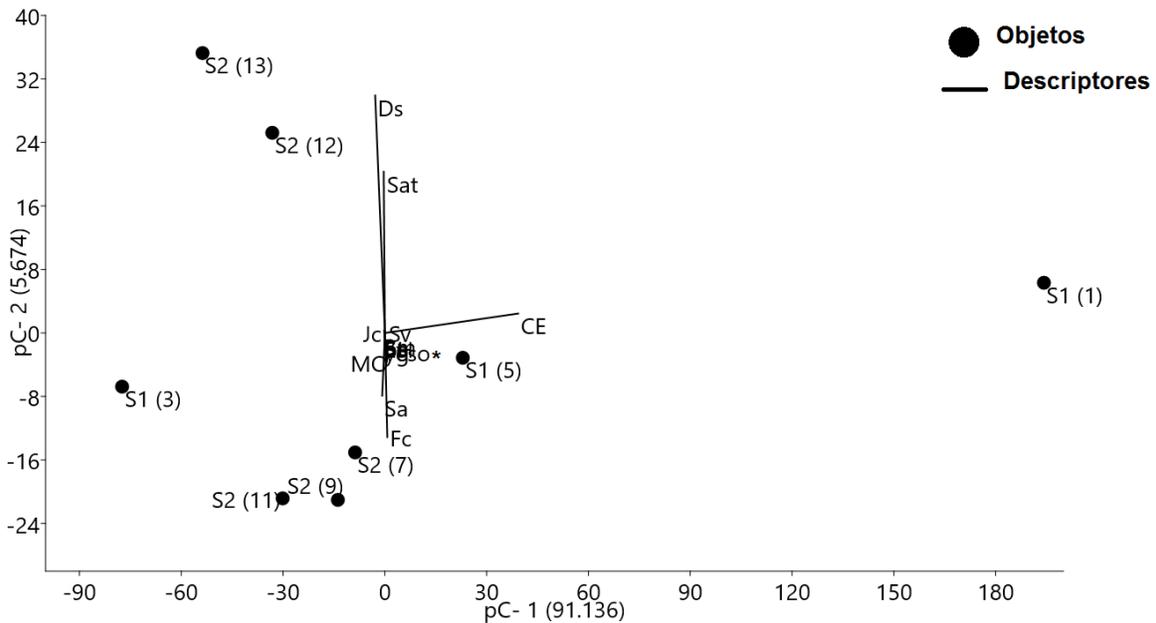


Figura 17. Correlación Biplot en Análisis de Componentes Principales (PCA). Cobertura relativa de las especies y características del suelo: porcentaje de yeso, de materia orgánica, saturación, pH y la conductividad eléctrica. S1 =sitio 1, S2 = sitio 2, Fc = *Flaveria clorifolia*, Ds = *Distichlis spicata*, Sa = *Sporobolus airoides*, Sv = *Sesuvium verrucosum*, Se = *Samolus ebractetus* var. *coahuilensis*, Pg = *Prosopis glandulosa*, Bm = *Bolboschoenus maritimus* var. *paludosus*, Ee = *Eustoma exaltatum*, St = *Sabatia tuberculata* y Jc = *Jaumea carnososa*, CE = conductividad eléctrica mS/cm, Sat = porcentaje de saturación, MO = porcentaje de materia orgánica. En el * se encuentran los siguientes descriptores: coberturas relativas de *S. verrucosum*, *S. ebractetus* var. *coahuilensis*, *P. glandulosa*, *B. maritimus* var. *paludosus*, *E. exaltatum*, *S. tuberculata* y Jc = *J. carnososa*, además del pH y porcentaje de yeso. En paréntesis aparece el número de cuadro.

Tabla 2. Valores de los parámetros utilizados en el Análisis de Componentes Principales.

	pH	C.E. mS/cm	MO (%)	yeso (%)	Saturación (%)	<i>F. chlorifolia</i>	<i>S. verrucosum</i>	<i>D. spicata</i>	<i>E. exaltatum</i>	<i>P. glandulosa</i>	<i>S. ebracteatus</i>	<i>B. maritimus</i>	<i>S. airioides</i>	<i>S. tuberculata</i>	<i>J. carnososa</i>
Cuadro 1	7.595	371.750	1.778	2.160	70.260	10.573	0.649	0.482	0.000	0.000	0.057	0.000	0.425	0.000	0.000
Cuadro 3	7.475	99.385	1.958	2.310	73.390	3.817	0.098	0.307	0.002	0.000	0.006	0.000	0.019	0.000	0.000
Cuadro 5	7.540	200.250	2.063	2.270	69.760	6.959	1.148	2.131	0.000	0.000	3.427	0.000	5.519	0.000	0.000
Cuadro 7	7.975	168.150	7.748	2.400	65.150	27.091	0.003	2.474	0.000	2.250	0.727	0.000	9.497	0.000	0.000
Cuadro 9	7.830	163.200	2.325	2.370	53.290	17.050	0.016	0.932	0.003	0.000	2.250	0.644	19.597	0.002	0.000
Cuadro 11	7.785	146.900	4.245	2.040	51.570	16.280	0.087	2.260	0.153	0.000	0.858	4.164	15.122	0.000	0.000
cuadro 12	7.895	145.600	2.533	1.280	99.750	2.379	0.114	20.609	0.000	0.000	0.625	4.779	2.017	0.000	0.010
Cuadro 13	7.810	127.300	1.470	1.870	71.370	0.042	0.015	54.637	0.000	0.000	2.517	0.034	6.166	0.000	0.000

6.9.1 *Correlación entre la cobertura de las especies y los parámetros del suelo.* El análisis de correlación múltiple (Tabla 3) arrojó que existe una correlación negativa entre la cobertura relativa de *F. chlorifolia* y de *S. airoides* con la saturación del suelo. Por último, se encontró una correlación positiva entre la cobertura relativa de *F. chlorifolia* y el porcentaje de yeso en el suelo. Las otras variables utilizadas en este estudio no resultaron estadísticamente significativas como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis de correlación múltiple (gl = 13) para condiciones del suelo y cobertura relativa de las especies del lecho seco del río Churince, Cuatrociénegas Coahuila.

	pH	C.E. mS/cm	MO (%)	yeso (%)	Saturación (%)	<i>F. chlorifolia</i>	<i>S. verrucosur</i>	<i>D. spicata</i>	<i>E. exaltatum</i>	<i>P. glandulose</i>	<i>S. ebracteati</i>	<i>B. maritimus</i>	<i>S. airoides</i>	<i>S. tuberculat.</i>	<i>J. camosa</i>
pH		0.93487	0.13229	0.97679	0.70332	0.46181	0.11498	0.069395	0.67262	0.25	0.75203	0.26905	0.17098	0.75	0.5
C.E. mS/cm	0.047619		0.70332	0.46181	0.24306	0.13229	0.38938	0.58214	0.4881	0.75	0.66458	0.34881	0.70332	1	0.75
MO (%)	0.57143	0.14286		0.46181	0.21617	0.083085	0.46181	0.58214	0.5119	0.25	0.97679	0.44405	0.21617	1	0.75
yeso (%)	0.02381	0.30952	0.28571		0.24306	0.045833	0.46181	0.21617	0.67262	0.25	0.93487	0.1369	0.53641	0.5	0.25
Saturación (%)	-0.14286	-0.45238	-0.47619	-0.45238		0.021776	0.46181	0.84013	0.20833	0.75	0.26746	0.9381	0.021776	0.5	0.25
<i>F. chlorifolia</i>	0.30952	0.57143	0.64286	0.7381	-0.80952		0.46181	0.46181	0.39881	0.25	1	0.67262	0.13229	0.5	0.5
<i>S. verrucosur</i>	-0.61905	0.33333	-0.28571	-0.30952	0.30952	-0.30952		0.26746	0.67262	0.25	0.75203	0.74286	0.13229	0.75	0.75
<i>D. spicata</i>	0.66667	-0.21429	0.21429	-0.5	0.095238	-0.28571	-0.42857		0.35119	0.75	0.24306	0.22619	0.38938	0.75	0.5
<i>E. exaltatum</i>	-0.19094	-0.30005	0.27277	0.19094	-0.54554	0.3546	-0.19094	-0.38188		1	0.91071	0.41667	0.32738	0.25	1
<i>P. glandulose</i>	0.57735	0.24744	0.57735	0.57735	-0.24744	0.57735	-0.57735	0.24744	-0.28347		1	0.875	0.75	1	1
<i>S. ebracteati</i>	0.11905	0.19048	-0.02381	-0.047619	-0.42857	0	-0.11905	0.45238	-0.054554	-0.082479		0.74286	0.11498	0.75	0.75
<i>B. maritimus</i>	0.45661	-0.38051	0.31709	-0.59613	-0.038051	-0.17757	-0.13952	0.49466	0.36327	-0.3515	0.13952		0.31548	0.875	0.125
<i>S. airoides</i>	0.54762	0.14286	0.5	0.2381	-0.80952	0.57143	-0.59524	0.35714	0.43644	0.24744	0.61905	0.41856		0.25	0.75
<i>S. tuberculat.</i>	0.24744	0.082479	0.082479	0.41239	-0.41239	0.41239	-0.24744	-0.24744	0.47246	-0.14286	0.24744	0.26362	0.57735		1
<i>J. camosa</i>	0.41239	-0.24744	0.24744	-0.57735	0.57735	-0.41239	0.24744	0.41239	-0.28347	-0.14286	-0.24744	0.61512	-0.24744	-0.14286	

7. DISCUSIÓN

Los cambios físicos que resultan de un disturbio como el sufrido por el sistema Churince, que incluyeron la modificación de un ambiente acuático (el río) a uno terrestre (el lecho desecado), representan ventanas de oportunidad para el establecimiento de organismos que colonizan lo que es, en muchos sentidos, un ambiente nuevo.

Las plantas responden de diferentes formas a las variaciones, generalmente drásticas, de la temperatura, así como de disponibilidad del agua, que determina la distribución y el funcionamiento de los organismos en ambientes desérticos (Polis, 1991). La disponibilidad de agua en el sitio de estudio se ve afectada por la desecación progresiva de los diversos cuerpos de agua del Valle de Cuatrociénegas (Souza *et al.*, 2006), lo que provocó que las especies que antes habitaban la ribera comenzarán a colonizar el lecho seco del río y las abras, que aún tienen las condiciones para que estas especies habiten en ellos. Las especies que se establecen en la zona son principalmente especies reportadas como ribereñas (*F. chlorifolia*, *S. verrucosum*, *S. ebractetus* var. *coahuilensis*, *B. maritimus* var. *paludosus*, *D. spicata*, *S. tuberculata*, *S. airoides* y *J. carnosus*) por autores como: Hendrickson (1983), Pinkava (1984), Villareal-Quintanilla (2001) y Turner (2014). Las especies ribereñas dentro del río no se observarían si el río aún tuviera agua, ya que las inundaciones frecuentes provocan que los suelos sean anóxicos y liberen iones tóxicos tales como el magnesio y el hierro (Blom y Voeselek 1996; Capon y Dowe, 2006), por lo que las plantas no podrían sobrevivir. La presencia de agua en el río, antes del disturbio, e incluso la humedad superficial y subsuperficial que aún

existe, provocan el depósito de sedimentos que modifican la composición del suelo (Tabla 2) tal como ocurre en los ambientes ribereños (Nilsson *et al.*, 1991; Andersson *et al.*, 2000; Jansson *et al.*, 2005; Helfield *et al.*, 2007). En resumen, la colonización del lecho del río no sólo se ve afectada por un disturbio agudo, que provocó la desecación del río y por ende la colonización del mismo, y por las características inherentes del sistema, sino que también, se ve afectada por las condiciones del suelo como la saturación, la cantidad de yeso y sales, materia orgánica, conductividad eléctrica y el pH.

Debido al poco tiempo que ha pasado desde la desecación del río y a la presencia de especies ribereñas, se sugiere que está ocurriendo un proceso de sucesión secundaria temprano, resultado del disturbio ocurrido en la zona. El ambiente estudiado es desértico lo que provoca que la sucesión sea lenta porque el reclutamiento depende de si hay o no eventos lluviosos, aunado a que la escasez de agua afecta a las plántulas más que a otros estadios (Polis, 1991). Además, en ambientes desérticos este es un proceso discontinuo del cual van a derivar microclimas que van favorecer la formación de parches discontinuos de vegetación como los arcos de vegetación en los cuales se dan procesos sucesionales puntuales reportados por Montaña *et al.* (1990). Se espera que conforme avance el proceso de colonización haya modificaciones en la composición de la vegetación que se está estableciendo, pues es probable que se modifiquen las condiciones abióticas como la disponibilidad del agua, la concentración de la materia orgánica y la concentración de sales (incluyendo al yeso).

Es posible que algunas gramíneas como *S. airoides* y *D. spicata*, se vuelvan más frecuentes con el paso del tiempo como ha sucedido en el transcurso de nuestras observaciones (Fig. 9), y desplacen a las especies más hidrófilas conforme la disponibilidad de agua se vuelva menor, tanto por la pérdida de agua a causa del disturbio como por el uso que hacen las plantas de ella. Un proceso equivalente al propuesto se ha observado en la colonización de las abras, en las que *S. airoides* es cada vez más frecuente (Pisanty *et al.*, 2013, Rodríguez-Sánchez, 2014, Escobar-Sánchez, comunicación personal).

El establecimiento discontinuo en el espacio y en el tiempo, esporádico y rápido es un patrón frecuente observado en diferentes especies que habitan zonas áridas y semiáridas (Polis, 1991, Vega y Montaña, 2004, Miranda *et al.*, 2004). En el presente estudio se ha encontrado que las plantas se establecen de manera discontinua, que se expresa a través de las variaciones en el tiempo de la cobertura (Fig. 7) y la frecuencia (Fig. 11) de las especies, aunque muchos de estos cambios pueden estar relacionados con la marcada estacionalidad de la zona (SEMARNAT, 2011).

Los mosaicos que forman en ambientes desérticos y semidesérticos se pueden observar con la agrupación de los cuadros de este estudio, los cuales, en general, se asemejan debido a la cobertura total de *F. chlorifolia*, *S. airoides*, *S. verrucosum*, *D. spicata* y *S. ebracteatus* var. *coahulensis* pero se diferencian por la cobertura de *J. carnosus*, *E. exaltatum*, *B. maritimus* var. *paludosus* *P. glandulosa* y *S. tuberculata*. Los mosaicos son evidenciados por la correlación positiva, en época fría, entre la cobertura de cada cuadro y su distancia a la Laguna Grande, entre más

lejos esté el cuadro de la desembocadura de la laguna, mayores serán los valores de cobertura de las especies. Esta diferencia entre sitios también se apoya con el índice de Bray Curtis que hace una diferenciación clara entre los cuadros del sitio 1 y los del sitio 2, sobre todo para la época fría, lo que puede atribuirse a que las condiciones de humedad del suelo en el lecho del río son diferentes y responden a la distancia de cada cuadro con respecto a la Laguna Grande. En la época caliente la diferenciación entre sitios no es tan clara, esto se observa con la no de correlación entre la cobertura y la lejanía de la Laguna Grande, y con el índice de Bray-Curtis que agrupa a los cuadros del sitio 1 con los cuadros del sitio 2, sin hacer una distinción clara. Lo anterior se debe a que la época caliente también es la de mayor precipitación, entonces, la humedad a lo largo del río parece ser más homogénea que en la época fría, lo que permite que las especies se establezcan de una manera continua sin que la humedad sea una limitante. Este fenómeno también se sustenta en el PCA para la cobertura de las especies. En la época caliente la diferenciación entre sitios es poco clara, contrario a lo que sucede en la época fría. En esta época el sitio 1 se encuentra agrupado de un lado y de la 2 del otro.

El suelo del área de estudio es un suelo con yeso. Un suelo gípsico tiene entre el 5 % (FAO, 1990, Meyer *et al.*, 1992) y 15 % de contenido de yeso y un horizonte gípsico bien definido en el cual hay claramente acumulación de yeso (FAO, 1998; Herrero y Porta, 2000; FAO, 2006; Escudero *et al.*, 2015). En el presente estudio el suelo analizado tiene entre 1.28 y 2.4% de yeso. Estos valores indican que la identificación de Cuatrociénegas como un ambiente gípsico se debe más a las dunas de yeso que a la generalidad de la zona, donde se han reportado

también otros tipos de suelo (SEMARNAP, 1999; CONABIO, 2016; CONANP, 2002). El área de estudio no contiene los valores de yeso esperados, esto puede deberse a que esta parte del sistema es un río que lleva relativamente poco tiempo desde su desecación total, lo cual provoca que no tenga una concentración tan elevada de yeso pues aún hay agua por debajo del lecho, que se confirma por el establecimiento de *P. glandulosa*, especie que se establece en suelos con agua subterránea relativamente profunda (Nilsen *et al.*, 1983). Además, es importante mencionar que un ambiente ribereño tiene la cualidad de modificar el sustrato, a través de la acumulación de nitrógeno, fósforo y materia orgánica (Capon y Dowe, 2006). Lo anterior es contrastante con lo observado en los suelos gípsicos, ya que estos tienen niveles bajos de materia orgánica, de nitrógeno y valores muy altos de yeso (Escudero *et al.*, 2015). En el área de estudio los suelos (Tabla 2) tienen condiciones que difieren a las condiciones de los suelos de yeso. Por otro lado, se propone mejorar el método de obtención de las muestras de suelo, utilizando el método que utilizaron Meyer *et al.* (1992), en cual, las muestras se tomaron por abajo de los 20 cm de profundidad. En resumen los porcentajes de yeso de los suelos del área de estudio no alcanzan para clasificarlos como gípsicos, al menos en las clasificaciones que consideran a los suelos gípsicos a partir del 5 % de yeso (FAO, 1990, Meyer *et al.*, 1992) en el contenido total del suelo, pero sí para suponer que este compuesto puede llegar a tener una repercusión en la composición y la dinámica de la vegetación, misma que se observa por ejemplo en la correlación positiva entre la especie más frecuente, *F. chlorifolia*, y el contenido de yeso en el suelo. Por ello es importante realizar estudios posteriores en los que se consideren

otras características del suelo, incluso realizar un estudio en un gradiente de contenido de yeso.

En el PCA (Fig. 17) los cuadros del sitio 2 se agruparon con las características del suelo, pero no los del sitio 1. En este último se encuentra el cuadro 1 que tiene los valores de conductividad eléctrica más altos. Este parámetro está relacionado con la evaporación del agua y la concentración de sales del suelo (Castillejo *et al.*, 2011), ya que la evaporación provoca la acumulación de iones solubles incrementando la salinización del sustrato (Pueyo *et al.*, 2007), lo que a su vez está relacionado con la desecación de un sitio. De esta manera, una elevada conductividad puede estar indicando un proceso de desecación, coincidente con el hecho de que el cuadro antes mencionado es el más cercano a la desembocadura de la Laguna Grande, que es el cuerpo de agua que lleva más tiempo desecado. Una característica que provocó que los cuadros del sitio 2 (12 y 13) se agruparan fue el porcentaje de saturación en el suelo. Este es importante porque indica la cantidad de agua que el suelo puede retener (FAO, 2005), y con ello podemos demostrar, indirectamente, que los cuadros 12 y 13 son los cuadros con mayor humedad. El cuadro 12 tiene el valor más alto de saturación y también los valores más altos de cobertura total de *B. maritimus* var. *paludosus*, lo que confirma que es esta una especie indicadora de humedad. El otro conjunto de cuadros del sitio 2 (cuadro 7, 9 y 11) se agruparon, principalmente, por la cobertura de *F. chlorifolia* y *S. airoides*.

La falta de variaciones significativas en la riqueza (Fig. 4b) y la diversidad (Fig. 12) a lo largo de los 18 meses que abarcan este estudio indica que el tiempo es corto como para observar un proceso de recambio de especies formalmente, como

lo comentan Bazzaz, (1996) y Begon et al (2006). En la Fig. 12 se puede observar que los valores de diversidad aumentan conforme avanza el estudio, pero al no haber diferencias significativas, esta variación puede ser resultado únicamente de la estacionalidad del Sistema Churince. La abundancia parece tener, también, un patrón estacional. Sin embargo, es importante resaltar que las especies cuya abundancia disminuye, son las menos frecuentes, como sucede con *S. tuberculata* y *E. exaltatum*. La disminución de éstas especies implica la pérdida de agua del sistema.

Los tres grupos identificados de acuerdo a la frecuencia tienen características semejantes. El primero está conformado por *F. chlorifolia*, *S. ebractetus* var. *coahuilensis*, *S. verrucosum*, *S. airoides*, y *D. spicata*, todas ellas especies perennes que están presentes en el lecho del río durante todo el año. Aunque, los cambios estacionales van ocasionar que la frecuencia aumente o disminuya, las plantas no perecen, sino que permanecen a la espera de condiciones ambientales más favorables para germinar, establecerse y crecer o bien para rebrotar. El segundo grupo está conformado por *B. maritimus* var. *paludosus* y *S. verrucosum*, la frecuencia de la primera es prácticamente la misma a lo largo del año, sin que se modifique ni siquiera en el mes de enero, uno de los meses más fríos del año (CONANP, 2002), lo que parece indicar que los cambios estacionales no van a incidir en su frecuencia como ocurre en otras especies registradas. Esto implica que los individuos de *B. maritimus* var. *paludosus* pueden sobrevivir la temporada fría a pesar de las presiones de selección que las bajas temperaturas representan (Lieffers y Shay, 1981), y que su presencia depende fundamentalmente de la

disponibilidad de agua (Clevering y Hundschild, 1998). Esta especie es muy demandante de agua, y el hecho de que no se encuentre en el sitio 1, que es el más cercana a la desembocadura de la Laguna Churince o Grande, donde la pérdida de agua ha sido total, nos permite por un lado confirmar la presencia de un gradiente de humedad no solo superficial sino también subsuperficial, y por el otro reconocer que esta ciperácea debe considerarse como una indicadora de humedad en el área de trabajo como siguieron Pisanty et al (2013). Por otro lado *S. verrucosum* está dentro del primer grupo de especies y también forma parte del segundo, lo que indica que es una especie frecuente a lo largo de casi todo el lecho del río, pero no a lo largo de todo el tiempo, ya que desaparece casi totalmente en el mes de enero. Esta especie es reportada como perenne (SeiNet: 2017, Ecylopedia of Life, 2017) y como anual (Encyclopedia of Life, 2017). En el área de estudio sus partes aéreas se pierden durante la temporada fría y reaparecen en la cálida, sin embargo, parecen no hacerlo siempre en la misma parte, por lo que cabría realizar estudios posteriores que corroboren su ciclo de vida e identifiquen los principales parámetros de su historia de vida y de su crecimiento. El tercer grupo está conformado por *S. tuberculata*, *E. exaltatum*, *P. glandulosa* y *J. carnosus* cuya presencia va a depender de las variaciones que abran una ventana de oportunidad para que se establezcan. De hecho, en un estudio desarrollado simultáneamente a éste (Almaguer y Pisanty, en prep.). *E. exaltatum* es reportada en casi toda la literatura como una planta anual, pero en el sitio de estudio se comporta como una perenne iterópara, de vida corta, cuyas hojas se secan totalmente después de la fructificación, pero cuyos tallos pueden rebrotar si la planta se encuentra enraizada en un sitio adecuado. Esta

característica, solo reportada por Turner (2014), para esta especie, junto con su buena respuesta germinativa cuando las condiciones son adecuadas (Peralta-García *et al.*, 2016; Almaguer, en prep.) puede explicar por qué aparece abundantemente de forma esporádica en diferentes partes del sistema. El hecho de que en el lecho del río sea escasa y crezca lentamente, a pesar de tener una amplia distribución en diferentes en el valle, nos indica que el lecho seco del río presenta alguna limitante no identificada que detiene su establecimiento y frena su crecimiento, de modo que no es posible considerarla como una especie colonizadora exitosa en estas condiciones. Se requieren estudios posteriores para definir cuáles son las limitantes que esta especie enfrenta en este ambiente.

Flaveria chlorifolia es una especie que se distribuye ampliamente en el desierto Chihuahuense y se extiende al borde de Río Pecos, situado en Nuevo México, hasta Río Grande en el norte de Las Cruces (SEINet: 2017). La distribución de esta especie se empalma en parte con la distribución de suelos de yeso en América (Escudero *et al.*, 2015), lo que podría sugerir que *F. chlorifolia* es gipsófila estricta (Meyer, 1998) o al menos es una especie muy tolerante a la presencia de yeso. Esta última posibilidad coincide con lo observado en el presente estudio, ya que se encuentra distribuida a lo largo de todo el río y a lo largo de todos los meses (Fig.10), sin importar la variación en las condiciones del suelo y del ambiente. Además, existe una relación positiva entre la cantidad de yeso y la cobertura relativa de *F. chlorifolia* (Tabla 3), lo cual podría ser otra evidencia de su preferencia en suelos con mayores cantidades de yeso o podría indicar que es una especie tolerante a la presencia de yeso. Sin embargo, *F. chlorifolia* puede crecer en otro tipo de sustrato (Flores-Olvera *et al.* 2016). Según Escudero *et al.* (2015) las especies gipsófilas estrictas dominan en suelos con mayor cantidad de yeso porque son competitivamente

mejores en este sustrato, pero su nivel de competencia disminuye en sustratos con cantidades bajas de yeso (Moore *et al.*, 2014), En este contexto los resultados de este trabajo apuntan a que *F. chlorifolia* es una especie que sobrevive en suelos con yeso, pero no es una gipsófila estricta. Lo anterior nos permite concluir que, si bien esta especie soporta mayores cantidades de yeso que las otras que se encontraron, estas cantidades no son las que se esperan en un suelo gípsico, por lo que es más adecuado clasificar a *F. chlorifolia* como una especie gipsóclina, *i.e.*, que tiene una preferencia por el yeso, pero también vive en sustratos que no lo contienen (Meyer, 1986). Haciendo una comparación entre lo que sucede con esta especie en el río y lo que sucede en las abras, se puede evidenciar *F. chlorifolia* ha ido dominando estos sitios conforme pasa el tiempo, ya que en el estudio realizado por Pérez y Sosa (2009), *F. chlorifolia* no era la especie colonizadora más frecuente en las abras, pero posteriormente, en el subsecuente estudio realizado por Rodríguez-Sánchez (2014) se convirtió en una especie muy frecuente a lo largo del tiempo. Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio se propone que *F. chlorifolia* podría ser una especie facilitadora, ya que esta interacción cobra importancia en ambientes limitantes (Bertness y Hacker, 1994; Callaway y Walker 1997; Holmgren *et al.*, 1997; Brooker y Callaghan 1998; Tielborger, y Kadmon, 2000), como es el sitio de estudio. sin embargo, hacen falta más estudios que tomen en cuenta la proximidad de las otras plantas con esta especie, para determinar si *F. chlorifolia* actúa como una especie facilitadora, comparando el crecimiento y establecimiento con la especie y sin la especie.

Samolus ebractetus var. *coahuilensis* es una especie cuya frecuencia y cobertura son altas, y aunque no es la especie predominante, es de gran importancia ya que en estudios realizados sobre su dinámica poblacional y sobre su presencia en las abras se ha establecido como indicadora de humedad y como una de las especies que se establece primero en estas (Pisanty *et al.*, 2013), lo que

cobra importancia ya que las condiciones de las abras pueden emular a las condiciones del lecho del río. Esto podría indicar que también es la especie que colonizó primero el río. Esta especie tiene la capacidad de soportar temperaturas bajas, además germina en los meses más fríos (Cervantes-Campero, 2015). Lo anterior se pudo observar en el presente trabajo con el comportamiento de la frecuencia y de cobertura relativa de esta especie (Fig. 8 y 10) dado que es la especie más frecuente y tiene una mayor cobertura en los meses más fríos del año (noviembre y enero).

La frecuencia de *Eustoma exaltatum* es baja lo que podría indicar que este tipo de suelo de la zona de estudio y las condiciones ambientales no son adecuados para su germinación, crecimiento y desarrollo, además de que, las especies que están bien adaptadas a esta zona pueden representar una gran competencia para ella. Su aparición en el sistema podría ser resultado de las condiciones efímeras presentes que se dan en zonas semidesérticas y desérticas (Miranda *et al.*, 2004). *Sabatia tuberculata* es una especie microendémica del Valle de Cuatrociénegas, por lo que el disturbio observado en el sitio de trabajo puede llegar a comprometer su supervivencia como especie en caso de que los cuerpos de agua que aún persisten en el valle se vean también perturbados. Nuestras observaciones indican que su frecuencia y abundancia tienden a disminuir en la zona conforme pasa el tiempo. Esto mismo sucede en las abras (Pisanty *et al.*, 2013; Rodríguez-Sánchez, 2014), lo cual parece indicar, junto con su aparición temporal en otras partes del sistema y del valle, que es muy sensible a la disponibilidad puntual de agua en el sistema. *S. tuberculata* se encuentra establecida en los mismos cuadros donde se

ha encontrado *B. maritimus* var. *coahuilensis*, que como ya dijimos es reportada como indicadora de humedad (Clevering y Hundschiold, 1998). Esto sugiere que *S. tuberculata* necesita también de gran cantidad de humedad para establecerse. A diferencia de *B. maritimus* var. *paludosus*, no hay estudios sobre la ecología de *S. tuberculata*, por lo que es necesario que se realicen a fin de establecer el estado de su población y el nivel de riesgo que enfrenta esta especie endémica.

Distichlis spicata tiene una tolerancia a subsistir en niveles bajos de nitrógeno y de fósforo (Smart y Barko, 1980), su presencia podría indicar indirectamente, que el suelo de la zona tiene cantidades bajas de estos elementos, que es justamente lo que se ha descrito para suelos de yeso (Meyer *et al.*, 1992; Guerrero Campo *et al.*, 1999; Palacio *et al.*, 2007) y para zonas en estado sucesional temprano (Tilman, 1982). La concentración baja de fósforo ha sido reportada también para los cuerpos de agua en los que viven los estromatolitos (Souza *et al.*, 2006) A pesar de que *D. spicata* está creciendo en una zona con características ribereñas, en las cuales hay una mayor acumulación de nitrógeno y fósforo (Helfield *et al.*, 2007), la desecación del río puede estar modificando la acumulación de estos elementos, por lo tanto, el disturbio que ha sufrido el río puede explicar la presencia de esta especie en él. Sin embargo, es necesario corroborar si esto es lo que está sucediendo, dado que esta especie crece en la planicie, en las abras, en donde se encontraba la zona ribereña y en las partes más secas del lecho de la laguna, además de en el lecho del río, así como en otras partes del sistema y del valle, frecuentemente en condiciones muy restrictivas.

Sporobolus airoides es común en pastizales, potreros y matorrales del norte-

centro de México, generalmente crece en zonas donde hay agua, al menos temporalmente (Peterson *et al.*, 2003; CONABIO, 2009). Lo observado en el área de estudio coincide con esta descripción, pero es una especie que comenzó a dominar en los últimos años (Pérez y Sosa, 2009) a pesar de que el sistema se esté desecando. El análisis de correlación arrojó una relación negativa entre *S. airoides* y la saturación de agua en el lecho del río, porque a que a pesar de que esta especie se ha reportado en zonas donde hay agua, no tolera la inundación como lo hace *D. spicata*.

Al igual que *S. airoides*, *S. verrucosum* tiene una gran tolerancia a suelos salinos (Ungar, 1966), lo cual podría explicar que se distribuya en la parte más cercana a la Laguna Grande, ya que este sitio tiene los valores de conductividad eléctrica más altos, relacionado con la presencia de iones en la superficie y por tanto puede indicar la presencia de sales.

Es importante mencionar la presencia de la especie *P. glandulosa* (mezquite), pues a pesar de que no era una especie establecida en los bordes del río ni en la planicie, está presente siempre en el cuadro 7, mientras que, en los otros cuadros han aparecido individuos aunque no han logrado establecerse. Esta especie es indicadora de agua profunda (4 a 6 m) (Nilsen *et al.*, 1983), por lo que puede suponerse que en la zona aún hay agua a cierta profundidad, que podría permitir el establecimiento de un mezquital al menos temporalmente.

La importancia de este estudio yace en el hecho de que el sitio en que se llevó a cabo tiene diversas características contrastantes, derivadas de que se trata un área con condiciones ambientales desérticas con un intrincado sistema de

corrientes subterráneas, que emergen como pozas, manantiales y ríos, gracias a los cuales se forman los ambientes ribereños. Además, es una zona en la cual se ha reportado la existencia de suelos de yeso, los cuales representan un gran impedimento para la colonización, si esto fuera poco, el disturbio sufrido en la zona modifica constantemente las condiciones del sustrato. El presente estudio propende sentar las bases para seguir el establecimiento y colonización de plantas en un ambiente nuevo con características áridas y ribereñas con suelos con yeso y que ha sido perturbado. La sucesión es de suma importancia en cualquier ambiente, pero debido a la escasez de estudios en zonas tan contrastantes como el sitio de estudio, se debe hacer un esfuerzo mayor para conocer este proceso. Por último, es importante mencionar, que, el Valle de Cuatrociénegas debe ser uno de los lugares en donde se concentren nuestras investigaciones, debido a su importancia biológica e histórica.

8. CONCLUSIONES

Dados los resultados obtenidos y la discusión realizada en torno a ellos, se formulan las siguientes conclusiones:

1. El disturbio del sistema, la presencia de yeso, la variación de las condiciones del suelo, la humedad y la marcada estacionalidad de la zona van a determinar la dinámica de la colonización vegetal del río.
2. La mayoría de las especies que están colonizando el lecho del río son especies ribereñas comunes en los bordes de los cuerpos de agua de la zona. La variación temporal de la colonización de las especies está relacionada con la marcada estacionalidad, que caracteriza el área de estudio, y enero es el mes en el que se registra menor cobertura, porque es el más frío en Cuatrociénegas, por lo tanto, muchos individuos mueren y los que sobreviven pierden su follaje.
3. *Flaveria chlorifolia* tiene una frecuencia de casi el 100% a lo largo de todos los meses, lo que parece indicar que es una especie bien adecuada a las condiciones ambientales, incluyendo a las del sustrato.
4. El suelo del lecho del río no es estrictamente de yeso, sin embargo, las cantidades de este compuesto repercuten en la colonización de las especies del lecho del río.

Si bien los resultados de este estudio no describen, en sentido estricto, un proceso de sucesión por lo breve del tiempo que abarca y lo inicial del proceso de colonización del lecho del río, sí sientan la base para darle seguimiento a este proceso, que será un importante indicador de la perturbación que ha sufrido el

sistema Churince en particular, y los humedales del Valle de Cuatrociénegas en general.

9. LITERATURA CITADA

- Agueda-Villar J. A. 1983. Geología. *Editorial Rueda*. Madrid, España. 538 pp.
- Aldama A. A., Aparicio J., Gutiérrez-Ojeda C., Martínez-Morales M., González-Hita L., Herrera-Zamarrón G., Mata-Arellano I., Mejía-González M. A., Ortiz-Flores G., Gallardo-Almanza P., Lobato-Sánchez R., Pérez-López J. L., Reza-Arzate G., Fritz P., Ramírez-Espinoza J. & Cardona A. 2007. Comportamiento hidrogeológico de los acuíferos Cuatrociénegas y El Hundido, Coahuila, México. *Ingeniería Hidráulica en México* **22**: 37–59.
- Andersson E., Nilsson C. & Johansson M. E. 2000. Plant dispersal in boreal rivers and its relation to the diversity of riparian flora. *Journal of Biogeography* **27**: 1095.
- Bazzaz F. A. 1979. The physiological ecology of plant succession. Annual Review. *Ecology Systematics* **10**: 351–371.
- Bazzaz, F. A. 1996. *Plants in Changing Environments: Linking Physiological, Population, and community ecology*. Cambridge University Press, United Kingdom. 320 pp.
- Begon M., Townsend C. R. & Harper, J. L. 2003. *Essentials of Ecology*. Blackwell Publishing, United States. 530 pp.
- Begon M., Townsend C. R. & Harper, J. L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing, United States. 733 pp.
- Blom, C. W. P. M. & Voesenek, L. A. C. J. 1996. Flooding: the survival strategies of plants, *Trends in Ecology & Evolution* **11**: 290–295.
- Brooker R. W. & Callaghan T. V. 1998. The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos* **81**: 196-207.
- Callaway R. M. & Walker L. R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* **78**: 1958-1965.

- Capon, S. J. & Dowe, J.L. 2006. Diversity and dynamics of riparian vegetation. En: Lovett, S. & Price, P. (Eds.). *Principles for riparian lands management*. Land & Water, Australia. 13-32 pp.
- Carlsson B. A. & Callaghan T. V. 1991. Positive plant interactions in tundra vegetation and the importance of shelter. *The Journal of Ecology* **79**: 973-983.
- Castillejo J. M., Castelló R., San Cristobal A. G. & Abad S. 2011. Soil-plant relationship along a semiarid gypsum gradient (Río de Aguas, SE Spain). *Plant Ecology* **212**: 1287-1297.
- Cervantes-Campero G. 2015. Variaciones morfológicas en *Samolus ebractetus* var. *coahuilensis* en diferentes condiciones microambientales en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.
- Clevering O. & Hundschild M. P. J. 1998. Plastic and non-plastic variation in growth of newly established clones of *Scirpus* (*Bolboschoenus*) *maritimus* L. grown at different water depths. *Aquatic Botany* **62**: 1-17.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2006. Valle de Cuatrociénegas. El Garabatal. Órgano informativo de la dirección del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. **4**: 16-23.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sección de Regionalización.
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html>
Consultado en septiembre 2016.
- Connell J. H. & Slatyer R. O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*. **111**: 1119-1144.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2007. Ampliación de ANP de Cuatrociénegas.

(<http://dof.gob.mx>). Consultado en mayo 2016.

Encyclopedia of Life. <http://www.eol.org>; Consultado en marzo de 2017.

Escudero A., Iriondo J. M., Olano J. M., Rubio A. & Somolino, R. 2000. Factors affecting the establishment of a gypsophyte, the case of *Lepidium subulatum*. *American Journal of Botany* **8**: 861–871.

Escudero A., Palacio S., Maestre F. T. & Luzuriaga A. L. 2015. Plant life on gypsum: A review of its multiple facets. *Biological Reviews* **90**: 1-18.

Evans S. B. 2005. Using chemical data to define floor systems in Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Tesis de maestría. *The University of Texas at Austin*.

Flores-Olvera H., Czaja A., Estrada-Rodríguez J. L. & Romero-Méndez U. 2016. Floristic diversity of halophytic plants of Mexico. En: Khan M. A., Boër B., Öztürk M., Clüsener-Godt M., Gul B. & Breckle, S. W (Eds.). *Sabkha Ecosystems volume V: The Americas*. Springer International Publishing, Suiza. 299-327.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1990 *Management of gypsiferous soils Soils Bulletin 62*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1998. *World reference base for soil resources. World Soil Resources Report 84*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gotelli N. J. 2008. *A primer of Ecology*. Sinauer Associates Incorporated, United States. 291 pp.

Guerrero-Campo J., Alberto F., Hodgson J., García-Ruiz J. M. & Montserrat-Martí G. 1999. Plant community patterns in a gypsum area of NE Spain. I. Interactions with topographic factors and soil erosion. *Journal of Arid Environments*. **41**: 401-410.

- Hammer O., Harper D. A., & Paul D. Ryan. 2001. PAST Palaeontological Statistics, software package for education and data analysis. *Palaeontologia electrónica*.
- Heinzen R. T. & Arulananda K. 1977. Factors influencing dispersive clays and methods of identification. En: Sherad J. L. & Decker R. S. (Eds.). *Dispersive clays, related piping, and erosion in geotechnical projects*. ASTM Special Technical Publication. 623 pp.
- Helfield J. M., Capon S. J., Nilsson C., Jansson R. & Palm D. 2007. Restoration of rivers used for timber floating: effects on riparian plant diversity. *Ecological Applications* **17**: 840-851.
- Henrickson J. 1983. A revision of *Samolus ebracteatus* (sensu lato) (Primulaceae). *The Southwestern Naturalist* **28**: 303–314.
- Herrero J. & Porta J. 2000. The terminology and the concepts of gypsum-rich soils. *Geoderma* **96**: 47–61.
- Herrero J. 2004. Revisiting the definitions of gypsic and petrogypsic horizons in soil taxonomy and world reference base for soil resources. *Geoderma* **120**: 1–5.
- Herrero J., Artieda O. & Hudnall W. H. 2009. Gypsum, a tricky material. *Soil Science Society of America Journal* **73**: 1757–1763.
- Holmgren M., M. Scheffer & Huston M. A. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* **78**:1966-1975.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1999. *Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas*. INE. SEMARNAT. México D.F. México. 166 pp.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2009. *Análisis de la variación de los principales cuerpos de agua de Cuatrociénegas*. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/dgioece/emc/4cienegas.htm>.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI).1998. *Mapa geológico del Valle de Cuatrociénegas*. Elaborado por Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). México.

- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). 2005. *Estudio Hidrológico de los acuíferos, el Hundido y Cuatrociénegas, Coahuila, México*. Elaborado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). México.
- Jaksic F. M. & Marone L. 2006. *Ecología de Comunidades*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. 337 pp.
- Jansson R., Zinko U., Merritt D. M. & Nilsson C. 2005. Hydrochory increases riparian plant species richness: a comparison between a free-flowing and a regulated river. *Journal of Ecology* **93**:1094-1103.
- Kent, M. 2012. *Vegetation Description and Data Analysis A Practical Approach*. Wiley-Blackwell, United Kingdom. 370 pp.
- Lady Bird Johnson Wildflower Center, 2017. Consultado el día 01 de septiembre del 2017 en: https://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=euex5.
- Lieffers V. J. & Shay J. M. 1981. The effects of water level on the growth and reproduction of *Scirpus maritimus* var. *paludosus*. *Canadian Journal of Botany* **59**: 118-121.
- Mandujano M.C. 2007. La clonalidad y sus efectos en la ecología de poblaciones. En: Eguiarte L. E., Souza V., Aguirre X. A. (Eds.). *Ecología Molecular*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, D.F. 217–244 pp.
- Martorell, C. & Peters E. M. 2008. Disturbance-Response Analysis: a Method for Rapid Assessment of the Threat to Species in Disturbed Areas. *Conservation Biology*, **23**: 377-387.
- Merlo M. E., Mota J. F. & Sánchez-Gómez P. 2011 Ecofisiología y adaptaciones de las plantas vasculares a las características físicas y químicas de sustratos especiales. En: Mota J. F., Sánchez-Gómez P. & Guirado-Romero J. S (Eds.). *Diversidad vegetal de las Yeseras*

Ibéricas: El reto de los archipiélagos edáficos para la biología de la conservación Almería: ADIF-Mediterráneo, España. 53–73 pp.

Meyer S. E. 1986. The ecology of gypsophile endemism in the eastern Mojave Desert. *Ecology* **67**: 1303-1313.

Meyer S. E. & García-Moya E. 1989. Plant community patterns and soils moisture regime in gypsum grasslands of north central Mexico. *Journal of Arid Environments* **16**: 147–155.

Meyer S. E., García-Moya E. & Lagunes-Espinoza A. L. C. 1992. Topographic and soil effects on gypsophile plant community patterns in Central Mexico. *Journal Vegetation Science* **3**: 429–429.

Minckley W. L. & Cole G. A. 1968. Preliminary limnologic on waters of the Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, México. *The Southwest Naturalist* **13**: 421-431.

Minckley W. L. 1969. *Environments of the Bolsón of Cuatro Ciénegas, Coahuila, México, with special reference to the aquatic biota*. Texas Western Press, Science Series, Number two, The University of Texas at El Paso, USA. 65 pp.

Miranda J. D., Padilla F. M. & Pugnaire, F. I. 2004. Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Revista Ecosistemas*. **13**: 55-58.

Montaña C., López-Portillo J. & Mauchamp A. 1990. The response of two Woody species to the conditions created by shifting in an arid ecosystem. *Journal of Ecology* **78**: 789-798.

Moore M. J., Mota J. F., Douglas N. A., Flores-Olvera H. & Ochoterena H. 2014. The ecology, assembly, and evolution of gypsophile floras. En: Rajakaruna N., Boyd R. S. & Harris, T. B. (Eds.). *Plant ecology and evolution in harsh environments*. Nova Science Publishers, Cambridge University Press, United Kingdom. 97-128 pp.

Muller C. H. 1940. Plant succession in the *Larrea flourensia* climax. *Ecology* **21**: 206-212

- Nilsen E. T., Sharifi M. R., Rundel P. W., Jarrell W. M. & Virginia R. A. 1983. Diurnal and seasonal water relations of the desert phreatophyte *Prosopis glandulosa* (honey mesquite) in the sonoran desert of California. *Ecology* **64**: 1381-1393.
- Nilsson C., Gardfjell M. & Grelsson G. 1991. Importance of hydrochory in structuring plant communities along rivers. *Canadian Journal of Botany* **69**: 2631-2633
- Noy-Meir I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review Ecology and Systematics* **4**: 25–51
- Noy-Meir I. 1985. Desert ecosystem structure and producers. *Annual review of Ecology and Systematics* **4**: 25-51.
- Palacio S., Escudero A., Montserrat-Martí G., Maestro M., Milla R., & Albert M. J. 2007. Plants living on gypsum: beyond the specialist model. *Annals of Botany* **99**: 333-343.
- Palmer A. N. 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of American Bulletin* **103**:1–21.
- Peet R. K. & Christensen N. L. 1980. Succession: a population process. *Vegetatio* **43**: 131-140.
- Peralta-García C., Sánchez-Coronado M.E., Orozco-Segovia A., Orozco-Segovia S. & Pisanty-Baruch I. 2016. Germination of four riparian species in a disturbed semi-arid ecosystem. *South African Journal of Ecology* **106**: 110-118
- Pérez y Sosa M. C. 2009. Dinámica de colonización de hundimientos diferenciales (abras) en el sistema Churince de Valle de Cuatrociénegas, Coahuila. Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 98 pp.
- Peterson P. M., Hatch S. L. & Weakley A. S. 2003. *Sporobolus* R. Br. En: Barkworth, M. E., Capels, K. M., Long, S. y Piep, M. B (Eds.). *Flora of North America Volume 25: Magnoliophyta: Commelinidae (in part): Poaceae, Part 2*. New York, Oxford University Press. 139.

- Pickett S. T. A., White P. S. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York, United States. 472 pp.
- Pickett S. T. A., Collins S. L. & Armesto J. J. 1987. Models, mechanisms and pathways of succession. *The Botanical Review* **53**: 335-371.
- Pinkava D. J. 1984. Vegetation and flora of the Bolsón of Cuatro Ciénegas Region, Coahuila, México: IV. Summary, endemism and corrected catalogue. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* **19**: 23-47.
- Pisanty I., Pérez y Sosa M. C. & Gálvez G. 2013. Agriculture, water mismanagement and ecosystem transformations in the Cuatrociénegas Valley in the Chihuahuan Desert, Mexico. En: Schwabe K., Albiac J., Connor J. D., Hassan R. M. & Meza-González L. (Eds.). *Drought in Arid and Semi-Arid Regions, A Multi-Disciplinary and Cross-Country Perspective*. Springer, Holanda. 507 pp.
- Polis G. A. 1991. *The ecology of desert communities*. The University of Arizona Press. USA. 456 pp.
- Pueyo Y., Alados C. L., Maestro M. & Komac B. 2007. Gypsophile vegetation patterns under a range of soil properties induced by topographical position. *Plant Ecology* **189**: 301-311.
- Pugnaire F. I., Haase, P. & Puigdefabrega J. 1996. Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology* **77**: 1420-1426.
- Rietkerk M. y van de Koppel J. 1997. Alternate Stable States and Threshold Effects in Semi-Arid Grazing Systems. *Oikos* **1**: 69-76
- Rodríguez J. M., Souza V. & Arriaga L. 2007. Effect of the overexploitation of the aquifer of the Hundido valley and the impact on the ecological reserve of Cuatrociénegas, Coahuila. *Revista de Ciencia de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León* **1**:32–38.

- Rodríguez Sánchez M. 2014. Análisis de la dinámica de los hundimientos diferenciales en el sistema Churince en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. (UNAM), México.
- Sokal R. R. & Rohlf F. J. 1995. *The principles and practice of statistics in biological research*. Mcmillan, USA. 887 pp.
- Rubio A. & Escudero A. 2000. Small-scale spatial soil-plant relationship in semi-arid gypsum environment. *Plant and Soil* **220**: 139–150.
- Ruiz J. M., López-Cantarero I., Rivero R. M., Romero L. 2003. Sulphur phytoaccumulation in plant species characteristic of gypsiferous soils. *International Journal of phytoremediation* **5**: 203–210.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2011. Análisis de la variación del nivel de los principales cuerpos de agua de Cuatrociénegas. Recuperado el día 27 de noviembre del 2015 de <http://www.inecc.gob.mx/con-eco-cuatrociénegas>.
- Secretaría del Medio Ambiente agricultura y Pesca (SEMARNAP). 1999. Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas. Instituto Nacional de Ecología. México. 13-22 pp.
- SEINet. 2016. Southwest Environmental Information Network. Recuperado el día 15 de noviembre del 2016 de: <http://swbiodiversity.org/seinet/index.php>.
- Shmida A., Evenari M. & Noy-Meir I. 1986. Hot desert ecosystems: an integrated view. *Ecosystems of the World* **12**: 379-387.
- Singh S. P. 1998. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. *Environmental conservation* **25**: 1-2.
- Smart R. M. y Barko J. W. 1980. Nitrogen nutrition and salinity tolerance of *Distichlis spicata* and *Spartina alterniflora*. *Ecology* **61**: 630-638.

- Souza V., Espinosa-Azuar L., Escalante A., Eguiarte L., Farme J., Forney L., Lloret L., Rodríguez-Martínez J. M., Soberón X., Dirzo R. y Elser J. J. 2006. An endangered oasis of microbial diversity in the Chihuahuan desert. *Proceedings of the National Academy Sciences* **17**: 6565–6570.
- Souza V., Escalante A., Espinoza L., Cruz A., Eguiarte E., Pichet E. y Elser J. 2004. *Cuatrociénegas en un laboratorio natural de astrobiología*. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. *Revista Ciencias* **75**:4-12.
- Tilman D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton university press, USA. 296 pp.
- Tilman D. 1986. Nitrogen-limited growth in plants from different successional stages. *Ecology* **67**: 555-563.
- Turner B. L. 2014. Taxonomic overview of *Eustoma* (Gentianaceae). *Phytologia* **96**: 7–11.
- Umesh T. S., Dinesh S. V. & Sivapullaiah P. V. 2011. Characterization of dispersive soils. *Materials Sciences and Applications* **2**: 629–633.
- Ungar I. A. 1966. Salt tolerance of plants growing in saline areas of Kansas and Oklahoma. *Ecology* **47**: 154-155.
- Vega E. & Peters E. 2003. Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas. Conservación de ecosistemas templados de montaña de México. En: Sánchez O., Vega E., Peters E., Monroy-Vilchis O. (Eds.). *Diplomado en Conservación, manejo y aprovechamiento de vida silvestre*. Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAT. México. 137-151 pp.
- Vega E. & Montaña C. 2004. Spatio-temporal variation in the demography of a bunch grass in a patchy semiarid environment. *Plant Ecology* **175**: 107-120.

- Verheye W. H. & Boyadgiev T. G. 1997. Evaluating the land use potencial of gypsiferous soils from field pedogenic characteristics. *Soil Use and Management* **13**: 97–103.
- Villarreal-Quintanilla J. Á. 2001. Gentianaceae. En: Sosa V., Gómez-Pompa A. (Eds.), *Flora de Veracruz Fascículo 121. Instituto de Ecología A.C.* 1–67 pp.
- Walker B. H. 1993. Rangeland ecology: understanding and managing change. *Ambio* **22**: 80–87.
- Walker L. R. & Chapin F. S. 1987. Interactions among processes controlling successional change. *Oikos* **50**: 131-135.
- Wolaver B. D. 2008. Hydrogeology of the Cuatrocieneegas Basin, Coahuila, México: An Integrative Approach to Arid Karst Aquifer Delineation. Thesis dissertation of Doctor of Philosophy. The University of Texas at Austin.
- Zar J. H. 2010. Biostatistical analysis. Pearson Education, USA. 435 pp.