



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE ESPECIES
DOMINANTES EN SUELOS SALINOS DE MAGUEY**

BLANCO, HIDALGO.

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G O
P R E S E N T A:**

MARINA MALDONADO JIMÉNEZ

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”



MÉXICO, D.F.

OCTUBRE 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II, por la oportunidad de pertenecer a una de las mejores universidades del mundo.

Al Dr. Arcadio Monroy Ata, al M. en C. Armando Cervantes Sandoval, a la M. en C. Balbina Vázquez Benítez y al Biól. Juan Manuel Valderrábano Gómez por sus valiosas aportaciones como revisores de este trabajo.

A la Biól. Aida Zapata por su apoyo en la lectura de muestras. Gracias por su dedicación y paciencia.

A Jorge Rivas, Gloria Peralta, Raúl Zavala, Cristóbal Galindo, Judith Villavicencio, Socorro Orozco, Balbina Vázquez, Ramiro Ríos, José L. Gómez, Patricia Rivera y Antonio Valencia que fueron influencias positivas en mi vida académica y por la excelente calidad profesional y personal de cada uno de ellos.

A Eduardo Domínguez y Francisco Guerra, por su gran apoyo en el laboratorio, me divertí muchísimo con ustedes, gracias por ser mis amigos.

Al M. en C. Ramiro Ríos Gómez, por ser mi profesor y director de tesis, pero sobre todo, por la excepcional calidad humana que posee, por levantar mi espíritu, por enseñarme que aún existen personas con la convicción de impulsar a los demás a conseguir sus metas. “Todo con paciencia”.

**Cuida tus pensamientos porque se volverán palabras.
Cuida tus palabras porque se volverán actos.
Cuida tus actos porque se harán costumbre.
Cuida tus costumbres porque forjarán tu carácter.
Cuida tu carácter porque formará tu destino.
Y tu destino será tu vida.**

Mahatma Gandhi

DEDICATORIAS

A mi padre Abraham Maldonado Medellín por las grandes lecciones que me dio con su ejemplo, así como la libertad de seguir mi camino.

A mi madre Ma. de Jesús Iraís Jiménez Luna, por su comprensión, dulzura, paciencia e infinito amor, gracias mamá por ser quien eres, por que mi mundo siempre fue mejor por ti he hiciste de mi una mejor persona. Eres el mejor regalo que la vida me pudo dar. Te amo

A mi hermano Mauricio Maldonado Jiménez por su fuerza, por su invaluable ayuda en este trabajo, aunque le pareció la Biología una locura en la que su hermana encaja bien y sobre todo por creer en mi, gracias Maury por todo.

A toda mi familia por que cada uno de ellos tiene un trozo de mi corazón, en especial a Maricela, Gema y Ernesto Jiménez Luna que siempre han estado pendiente de mí.

A Emiliano Jiménez, Annie Fábila y Tonantzin Rosas, por que estos angelitos con sus sonrisas, travesuras y cariño me recordaron lo maravilloso que es el descubrir el mundo.

A Magaly Vázquez, Ana Luisa Loyola y Anais Flores por su inigualable amistad, gracias por todo lo vivido, siempre están en mis pensamientos.

A mi queridísima familia Limantour's, que si bien no compartimos la misma sangre, se han convertido en mis hermanos. Mónica Vázquez, Milton Ramírez, Leticia Bustamante, Tania Castillo, Ricardo Cortés, Edith Aguilar, Ernesto Moreno, Paulina Romero, Berenice Escamilla, Mariana Morgado, Miguel Peña, José Miguel Segura, Yessica Paredes. Gracias por que cuando sentí que no podía más, ustedes me dieron esperanza y el valor para disfrutar la vida. Son simplemente geniales.

A Juan Manuel Gallart Parga por estar conmigo en esta aventura de la tesis, por todo ese amor que ha iluminado mi vida, pero sobre todo, por enseñarme que el mayor logro al que se puede aspirar, es el saber que uno mismo decide su propia felicidad. Gracias Amor por la persona tan bella que eres. Te amo.

CONTENIDO

	Pág.
I. ÍNDICE DE CUADROS	vi
II.ÍNDICE DE FIGURAS	ix
III. RESÚMEN	2
IV. INTRODUCCIÓN	3
4.1 Salinidad	4
4.2 Clasificación de los suelos afectados por sales	6
4.3 Irrigación	7
4.4 Efectos de los suelos salinos sobre las plantas	9
4.5 Tolerancia a la salinidad	10
4.6 Fitorremediación en suelos salinos	13
4.7 Restauración ecológica	15
V. JUSTIFICACIÓN	17
VI. INTERROGANTES A RESOLVER	17
VII. OBJETIVOS	17
7.1 General	17
7.2 Particular	17
VIII. MATERIAL Y MÉTODOS	18
8.1 Descripción del área de estudio	18
8.2 Selección de sitios de estudio	20
8.3 Trabajo de campo	21
8.3.1 Suelo	21
8.3.2 Vegetación	21
8.4 Fase de laboratorio	22
8.4.1 Suelo	22
8.4.2 Determinación de especies	23
8.4.3 Medición de la riqueza específica	24
8.4.4 Índice de diversidad de Margalef	24
8.4.5 Índices de abundancia proporcional	24
8.4.6 Índices de dominancia	25
8.4.7 Índice de Simpson	25
8.4.8 Índice de Shannon-Wiener	25
8.4.9 Índice de similitud de la composición biótica	26
8.5 Análisis estadístico	26
IX. RESULTADOS	28
9.1 Descripción morfológica del perfil del suelo	28

9.2	Propiedades físicas del suelo	30
9.3	Propiedades químicas del suelo	31
9.3.1	pH	35
9.3.2	% de Materia orgánica	36
9.3.3	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	37
9.3.4	Conductividad eléctrica (CE)	38
9.3.5	Carbonatos (CO_3^{2-})	39
9.3.6	Bicarbonatos (HCO_3^-)	40
9.3.7	Cloruros (Cl^-)	40
9.3.8	Sulfatos (SO_4^{2-})	41
9.3.9	Potasio (K^+)	42
9.3.1.0	Sodio (Na^+)	43
9.3.1.1	Calcio (Ca^{2+})	44
9.3.1.2	Magnesio (Mg^{2+})	45
9.4	Descripción ecológica	46
9.4.1	Valor de importancia	47
9.4.2	Índices de diversidad	50
9.4.3	Índices de similitud de Sorensen	50
9.4.4	Intervalo de tolerancia	52
X.	DISCUSIÓN	53
10.1	Propiedades físicas	53
10.2	Propiedades químicas	54
10.2.1	pH	54
10.2.2	% Materia orgánica	55
10.2.3	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	55
10.2.4	Conductividad eléctrica (CE)	56
10.2.5	Carbonatos (CO_3^{2-})	56
10.2.6	Bicarbonatos (HCO_3^-)	57
10.2.7	Cloruros (Cl^-)	57
10.2.8	Sulfatos (SO_4^{2-})	57
10.2.9	Cationes solubles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+)	58
10.3	Composición biótica	60
10.3.1	Índices de diversidad	62
10.3.2	Intervalos de tolerancia	63
XI.	CONCLUSIONES	65
XII.	RECOMENDACIONES	66
XIII.	REFERENCIAS	67
XIV.	ANEXO 1. CORRELACIONES	77
14.1	Correlaciones. Temporada húmeda	77
14.2	Correlaciones. Temporada seca	78
XV.	ANEXO 2. DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE LAS ESPECIES	79

I. ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	Pág.
1	Salinización inducida en millones de hectáreas (Dorronsoro, 2007).	3
2	Clasificación de suelos según su conductividad (Henschke, 2005).	6
3	Caracterización física y química del suelo.	22
4	Análisis para definir el perfil salino e intervalos de tolerancia.	23
5	Descripción morfológica de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo.	28
6	Propiedades físicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.	30
7	Propiedades químicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo. Temporada húmeda.	31
8	Correlación de Pearson entre parámetros. Temporada húmeda.	32
9	Propiedades químicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo. Temporada de estiaje.	33
10	Correlación de parámetros. Temporada seca.	33
11	Análisis estadístico para los valores de pH en de las distintos sitios y épocas muestreadas en los suelos salinos de Maguey Blanco-Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.	35
12	Análisis estadístico de los valores obtenidos del porcentaje de materia orgánica en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo las diferencias significativas.	36
13	Análisis estadístico de los valores obtenidos para CIC en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.	37
14	Análisis estadístico de los valores obtenidos para la Conductividad eléctrica en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo las diferencias significativas.	38

15	Análisis estadístico de los valores obtenidos para carbonatos en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo las diferencias significativas.	39
16	Análisis estadístico de los valores obtenidos de bicarbonatos en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Solo se muestran las diferencias significativas.	40
17	Análisis de varianza de los valores obtenidos para cloruros en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se presentan solo diferencias significativas.	41
18	Análisis de varianza de los valores obtenidos de sulfatos en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se presentan solo diferencias significativas.	42
19	Análisis de varianza de los valores obtenidos de potasio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.	43
20	Análisis de varianza de los valores obtenidos de sodio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.	44
21	Análisis de varianza de los valores obtenidos de calcio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se presentan solo diferencias significativas.	45
22	Análisis de varianza de los valores obtenidos de magnesio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco. Se presentan solo diferencias significativas.	46
23	Presencia de especies por temporada en suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, Hidalgo.	46
24	Valor de importancia de las especies vegetales encontradas en el área de estudio. Temporada húmeda.	47
25	Valor de importancia de las especies vegetales encontradas en el	48

26	área de estudio. Temporada seca. Correlaciones parámetro-vegetación ($p \leq 0.05$)	49
27	Índices de Diversidad de la vegetación presente en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, para ambas temporadas.	50
28	Intervalos de tolerancia a la salinidad para las especies dominantes de suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.	52
29	Correlación. Temporada húmeda.	77
30	Correlación. Temporada seca.	78
31	Descripción ecológica de las especies presentes en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco.	79

II. ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	Pág.
1	Localización del área de los seis sitios de muestreo (Google Earth, 2011).	20
2	Metodología del estudio para ambas temporadas.	27
3	Vegetación secundaria.	29
4	Perfil del suelo.	29
5	Valores de pH en temporada húmeda y seca de los suelos ubicados entre Taxhadó y Maguey Blanco.	35
6	Contenido de Materia Orgánica en los suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	36
7	Capacidad de Intercambio Catiónico en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	37
8	Valores de Conductividad Eléctrica de suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	38
9	Concentraciones de CO_3^{2-} en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	39
10	Concentración de HCO_3^- de suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	40
11	Concentración de Cl^- en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	41
12	Concentración de SO_4^{2-} en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	42
13	Concentración de K^+ de suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	43
14	Concentración de Na^+ en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	44
15	Concentración de Ca^{2+} en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	45
16	Concentración de Mg^{2+} en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.	45
17	Distribución anual de las especies vegetales presentes en los suelos salinos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo.	49
18	Índice de similitud de Sorensen para la vegetación encontrada en suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, Hidalgo.	51

19	Similitudes entre mismos sitios en diferentes temporadas de los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, Hidalgo.	51
20	<i>Atriplex coulteri.</i>	79
21	<i>Atriplex suberecta.</i>	79
22	<i>Heliotropium curassavicum.</i>	80
23	<i>Cynodon dactylon.</i>	80
24	<i>Hordeum jubatum.</i>	81
25	<i>Chenopodium berlandieri.</i>	81
26	<i>Chenopodium dessicatum.</i>	82
27	<i>Chenopodium fremontii.</i>	82
28	<i>Solanum rostratum.</i>	83
29	<i>Ambrosia psilostachya.</i>	83
30	<i>Ranunculus cimbalarya.</i>	84
31	<i>Spergularia marina.</i>	84

III. RESÚMEN

Con el objetivo de conocer la tolerancia a la salinidad de las arvenses dominantes en los suelos salinos localizados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Ixmiquilpan, Hidalgo, se realizaron dos muestreos, uno en temporada húmeda y otro en temporada seca, para determinar la diferencia entre las características químicas del suelo y la composición vegetal que en él se desarrolla. La diferencia en la composición vegetal entre los sitios muestreados, aportó datos que permitieron conocer el intervalo de tolerancia de las 12 especies encontradas. Estas mostraron cambios en su dominancia dependiendo de la concentración de sales en el suelo. En época húmeda los dominantes ecológicos, por orden de importancia, fueron *Cynodon dactylon*, *Atriplex coulteri*, *Atriplex suberecta*, *Chenopodium dessoratum* y *Ambrosia psilostachya*; mientras que en temporada seca se establecen *Hordeum jubatum*, *Chenopodium berlandieri*, *Spergularia marina*, *Cynodon dactylon* y *Atriplex coulteri*. Se determinó que el área es afectada por una salinidad fuerte del tipo sulfático-clorhídrica, con relación Cl^- / SO_4^{2-} promedio de 1.5:1 y el orden de sales dominantes fue el siguiente: $NaCl > Na_2SO_4 > MgCl_2 > MgSO_4$.

Finalmente, se estableció a lo largo del año se da la siguiente sucesión ecológica de especies dominantes basada la concentración salina que prevalece en la zona radical, de mayor a menor tolerancia, la cual permitirá tanto mejorar progresivamente las condiciones edáficas del lugar así como aprovechar el uso forrajero de las especies que se desarrollan en la zona.: *Hordeum jubatum*, *Chenopodium berlandieri*, *Spergularia marina*, *Cynodon dactylon*, *Atriplex coulteri*, *Atriplex suberecta*, *Chenopodium dessoratum* y *Ambrosia psilostachya*

IV. INTRODUCCIÓN

La salinidad de los suelos es uno de los factores que limita actualmente la agricultura en grandes extensiones de la tierra (Ruíz *et al.*, 2007). A nivel mundial una superficie de aproximadamente 897 millones de hectáreas presenta algún grado de salinidad (Szabolcs, 1994). Los países con una gran área de suelos salinos son: Rusia, Argentina, China, India, Paraguay, Indonesia, Pakistán, Etiopía, Estados Unidos y Bolivia; el área estimada es de 300 a 400 x10⁶ ha en total (Dorrnsoro, 2007). La salinización inducida por el hombre se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Salinización inducida en millones de hectáreas (Dorrnsoro, 2007).

Continentes	Débil	Moderada	Fuerte	Extrema	Total	% cultivable
África	4.7	7.7	2.4	-	14.8	8.0
Asia	26.8	8.5	17	0.4	52.7	11.7
América N.	0.3	1.5	0.5	-	2.3	0.8
América S.	1.8	0.3	-	-	2.1	1.5
Europa	1.0	2.3	0.5	-	3.8	2.7
Australasia	-	0.5	-	0.4	0.9	0.3
Total	34.6	20.8	20.4	0.8	76.6	5.2

El 40% de la superficie mundial corresponde a zonas áridas y semiáridas. Se han detectado tres causas principales por las cuales se presentan valores altos de pérdida de suelo en las zonas áridas y semiáridas del país: las características edáficas y sus condiciones, el tipo de manejo actual bajo el cual están sujetas y los factores socioeconómicos y culturales de esas zonas (Montaño y Monroy, 2000).

En México las regiones áridas y semiáridas comprenden la más extensa zona ecológica del país, con una extensión que alcanza entre 50% y 60% aproximadamente. La zona árida, definida por una precipitación anual inferior a 250 mm con ocho a 12 meses secos, y la zona semiárida con precipitación media anual entre 250 y 450 mm y de seis a ocho meses secos (Nobel, 1999 en Monroy *et al.*, 2007; Florescano, 2004). Se localizan principalmente en las partes bajas de Sonora, Baja California, Baja California Sur y en el centro-norte del país, en porciones de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Durango y Tamaulipas. Una región semiárida se localiza al norte de México, en partes de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Al centro y sur del país se encuentran algunas áreas que tienen condiciones de semiáridas, parte de los estados de Querétaro, Hidalgo, Puebla, Oaxaca e, inclusive Guerrero. Las comunidades vegetales que se desarrollan bajo estos climas varían desde pastizales, matorrales e inclusive, bosques bajos, principalmente espinosos como los mezquites (González, 2003).

Estas regiones son principalmente afectadas por problemas de sales y sodio, es decir, de los suelos con algún grado de degradación, 60% presentan problemas de salinidad y las aguas utilizadas en la agricultura incrementan cada vez más su concentración salina. Se considera

que un 10% del área irrigada está afectada por salinidad y de ésta el 64% se localiza en el norte del país (SEMARNAT 2003).

Los suelos afectados por sales, ocupan cerca del 20% del área de irrigación del mundo. Se estima que se pierden al año cerca de 1.5 millones de hectáreas de suelos irrigados, lo cual resulta en una reducción de aproximadamente once mil millones de dólares en la productividad agrícola (Bronwyn *et al.*, 2007), debido al aumento de concentración de sales en el espesor de suelo donde se desarrolla el sistema radical de los cultivos.

En la República Mexicana existen 80 millones de hectáreas con diversos grados de salinidad, tanto en zonas naturales de temporal, como de riego; una gran parte de estas últimas, aproximadamente 5 millones de hectáreas están bajo un proceso de salinización, en algunos casos muy acelerado. El ensalitramiento bajo riego ha adquirido magnitudes de 600 000 ha, provocando que en la actualidad, el 33% de la superficie bajo riego se encuentre afectada, disminuyendo notablemente la productividad de algunos distritos de riego y causando pérdidas económicas considerables al país. Se estiman 2 millones de hectáreas agrícolas con irrigación, que tienen niveles bajos de producción por la influencia salina, de éstas, 300 000 ha presentan rendimientos deficientes o están abandonadas. El avance de este fenómeno alcanza un ritmo anual de 10 000 ha (Feuchter, 2000).

La mayoría de las plantas de importancia agrícola en México son sensibles a la salinidad y su producción se ve significativamente reducida cuando se cultivan en suelos salinos (Bronwyn *et al.*, 2007). La conservación de los suelos, así como su recuperación cuando están afectados por sales, son de gran importancia para la producción agrícola y su atención está relacionada con las causas del ensalitramiento de los mismos, que pueden ser: su origen, manejo, así como las fuentes y calidad del agua de riego, factores que intervienen en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Mace y Amrhein, 2001).

En la práctica, los métodos de mayor uso para la recuperación de estos suelos son los químicos (aplicación de ácido sulfúrico y yeso agrícola), sin embargo, estos métodos aplicados en amplias extensiones resultan costosos, tanto por las cantidades de material que se utilizan, como por la aplicación de los mismos, ya que en algunos casos se requiere de equipo especializado (Aceves, 1976).

El uso de algunos cultivos en el mejoramiento de suelos salinos y sódicos, representa una alternativa económica y sustentable, ya que además de reducir la salinidad, pueden ser aprovechados como cultivos de amplia cobertura en grandes extensiones de suelo, para la disminución de la erosión y la producción de forraje para el ganado (Ozturk *et al.*, 2006)

4.1 SALINIDAD

El contenido de sales solubles del suelo, es uno de los factores limitantes en zonas áridas y semiáridas (Castellanos, 2000). La forma o estado de presentación es variable y estacional. Las sales pueden encontrarse en el suelo precipitadas bajo la forma de cristales, disueltas en la solución, o retenidas, adsorbidas en el complejo de cambio. El contenido en sales en cualquiera de estas tres situaciones está cambiando continuamente al ir variando la

humedad edáfica, pasando éstas de una posición a otra (Dorransoro, 2010). De este modo, durante el periodo seco la cristalización aumenta, las sales en solución disminuyen, aunque la solución se concentra y aumentan las adsorbidas, mientras que en el periodo húmedo, el comportamiento es inverso (Otero *et al.*, 2002).

Varias son las causas vinculadas a estos procesos de salinización, entre las cuales es posible citar: el agua de la capa freática que deriva de la alteración de las rocas en los márgenes superiores de los ríos y de depósitos de sal formados en periodos geológicos antiguos en estratos donde se mueve el manto freático (Russel y Russell, 1968); por ejemplo, en la liberación de sales de estas áreas es muy común la presencia de minerales máficos (ricos en magnesio y hierro). Los minerales tienen la tendencia de liberar los compuestos más solubles. Un mineral rico en calcio y magnesio inicialmente liberara a la solución, cantidades considerables de sodio y potasio y posteriormente calcio y magnesio; así mismo, la atmósfera también es capaz de aportar cantidades apreciables de sales por acumulación; la composición del agua de lluvia en los continentes está dominada por calcio, magnesio, sulfatos y bicarbonatos (Ortega, 1978). Por otro lado, la salinización por efecto de las actividades del hombre se dan por un excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de mala calidad por el exceso de sales, mal drenaje y tala de vegetación arbórea (Tanwar, 2003).

En las regiones áridas, los breves periodos húmedos provocan la disolución de las sales, y con ello su movilización, mientras que con las intensas y largas sequías se originan fuertes evaporaciones, que produce el ascenso de humedad de las capas freáticas y al intensificarse la evaporación concentran las sales de la solución del suelo, que precipitan acumulándose en la superficie del perfil (Otero *et. al.*, 2002). En estas condiciones las sales solubles y el sodio intercambiable pueden acumularse en cantidades suficientes para impedir el crecimiento de plantas y alterar las propiedades del suelo. El grado de acumulación de las sales puede ser determinado por:

- 1) El movimiento capilar del agua a la superficie.
- 2) El contenido de sales del agua subterránea
- 3) La velocidad de evaporación (Foth, 1980)

Existen dos procesos evolutivos de los suelos salinos; a) que el calcio esté presente (en cantidad abundante con sodio en la solución del suelo), o, por el contrario, que no lo esté (o figure en pequeña proporción); en el primer caso, es absorbido con preferencia, de forma que el complejo adsorbente está saturado principalmente de Ca^{2+} (Na^+ en minoría); el perfil es poco diferenciado, estable y conserva su estructura grumosa; b) el calcio esté ausente, predomina el ión Na^+ (acompañado generalmente por el ión Mg) en el complejo adsorbente; en presencia de agua dulce, las arcillas sódicas se hidrolizan, liberando el ion Na^+ en solución (CO_3Na_2); el pH se eleva, las arcillas se dispersan y la estructura se degrada (Otero *et. al.*, 2002).

En la solución del suelo predominan los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- y CO_3^{2-} acompañados en cantidades menores por K^+ que es retenido en el complejo de cambio. Las sales más frecuentes en suelos salinos son: NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 , Na_2HCO_3 y Na_2CO_3 (Adams, 1995; Gómez, 2004). En general tienen poco poder absorbente para el Cl^- y para el Na^+ . Por ello para que se formen este tipo de suelos se requiere: que en el perfil exista una

capa impermeable que impida a las aguas de infiltración su descenso a grandes profundidades o que sean arrastradas lentamente, que el suelo sea llano, que el clima sea seco y árido, dominando la evaporación sobre las lluvias (Ortega, 1978).

Los cloruros junto con los sulfatos son las principales sales formadas en este proceso. El calcio, el magnesio y el sodio son los cationes con mayor disposición a la unión con los cloruros y sulfatos para formar las sales. Los electrólitos de potasio, bicarbonatos, carbonatos y nitratos se encuentran en menor frecuencia (Otero *et al.*, 2002).

La salinidad del suelo se mide a través de la conductividad eléctrica en extracto de saturación. Las sales solubles en el suelo determinan la presencia en solución de una serie de combinaciones de los cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ y los aniones CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , entre otros. El agua que contiene sales disueltas del tipo que normalmente se encuentran en el suelo, conduce la corriente eléctrica, aproximadamente en proporción a la cantidad de sal disuelta. Por lo tanto, la medida de la conductividad permite conocer la concentración total de los constituyentes ionizados (Desamparados y Pons, 2001) y es una determinación fundamental para tomar: a) decisiones del manejo de suelo y cultivo o genotipo a establecer, b) manejo del agua en el riego. Incluso a partir de ese dato se toma la opción de utilizar el suelo para fines agrícolas o no; sin embargo, es importante destacar que es vital conocer también, el tipo de sales que están presentes, por ejemplo: una sal de sulfato de calcio no representa mayor problema cuando no es excesivamente alta su concentración, pero una sal de bicarbonato o cloruro de sodio es en extremo más grave (Castellanos *et al.*, 2000).

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS AFECTADOS POR SALES

Los suelos salinos, también llamados álcali blancos o Solonchaks (Díaz, 2006), tradicionalmente han sido clasificados como aquellos en los cuales la CE (conductividad eléctrica) del extracto de saturación es mayor a 4 dS m^{-1} , un PSI (porcentaje de sodio intercambiable) menor al 15%, una RAS (relación de adsorción del sodio) menor de 13 y un pH menor a 8.5 (Donald, 2003).

Los tipos de sales en forma iónica que se pueden encontrar en los suelos son las de potasio, sodio, magnesio, calcio, donde los aniones de cloro, sulfatos y bicarbonato son los dominantes. La conductividad eléctrica no puede indicar que tipos de sales se encuentran en los suelos, pero puede dar una idea de su grado de salinidad (Walker, 2004), como se puede observar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de suelos según su conductividad eléctrica (Henschke, 2005).

dS m^{-1}	Características
0 a 2	Suelos normales
2 a 4	Suelos ligeramente salinos, solo se ven afectados cultivos sensibles
4 a 8	Suelos salinos, afecta a la mayoría de los cultivos

Cuadro 2. Clasificación de suelos según su conductividad eléctrica (Henschke, 2005). “Continuación”.

<i>dS m⁻¹</i>	<i>Características</i>
8 a 16	Suelos fuertemente salinos, solo cultivos tolerantes
Más de 16	Suelos extremadamente salinos, pocos cultivos dan rendimientos

Suelos sódicos: se caracterizan porque presentan altas concentraciones de sodio intercambiable y baja cantidad de sales solubles. La concentración de sodio causa la dispersión de la materia orgánica en la superficie del suelo originando colores oscuros. El extracto de saturación presenta un pH que varía de 8.5 a 11, un PSI que excede de 15, CE menor a 4 dS m⁻¹ y el límite inferior del extracto de saturación RAS es de 13 (Núñez, 2000; Donald, 2003). Se desarrollan como consecuencia de eliminación de sales de suelos salinos (Wild, 1992).

Suelos salinos sódicos: contienen suficientes sodio intercambiable para interferir en el crecimiento adecuado de la mayoría de las plantas; también presentan cantidades perjudiciales de sales solubles neutras (Fassberder y Elemer, 1985). Donde el PSI regularmente es mayor a 15 y la CE del extracto de saturación es superior a 4 dS m⁻¹. El pH es comúnmente menor a 8.5, aunque en algunos casos puede ser mayor por la presencia de sodio. La RAS es de mínimo 13 en estos suelos (Brady, 1990).

4.3 IRRIGACIÓN

Algunas veces el agua de riego lleva una alta concentración de sales solubles y al adicionarla al suelo, crea el potencial para la acumulación de sales y sodio intercambiable en él (Foth, 1980). La riqueza salina de ésta, depende de su origen, de este modo, si el contenido de sales es grande, la proporción de agua a utilizarse aumenta y por consiguiente la salinidad (Russell y Russel, 1968).

Los suelos salinos bajo riego se han desarrollado de diferentes formas:

- Las aplicaciones excesivas de agua han elevado el nivel freático lo suficiente para permitir la concentración de sales debido a la evaporación.
- La percolación de los canales y zanjas laterales con filtraciones, ocasiona altos niveles freáticos.
- El uso de agua de riego con alto contenido de sales causa la acumulación de éstas cuando: a) el drenaje es pobre, de manera que las sales no pueden eliminarse por el lavado; b) la aplicación de agua es tan limitada que las sales quedan en las zonas de las raíces en lugar de ser lavadas (Foth, 1980).

El incremento de sales solubles en cantidades mayores se debe fundamentalmente a la influencia de filtraciones, drenajes y aguas de irrigación seguidas de evaporación y evapotranspiración. Los procesos de nitrificación, sulfoficación, acidificación y fertilización dan origen también a la acumulación de cantidades variables de sales (Jackson, 1970).

Toda el agua de las corrientes de superficie y de las fuentes subterráneas contiene sustancias disueltas conocidas químicamente como sales y es uno de los factores limitativos en los suelos; esto, aunado a las sales que provienen del agua de riego, provoca su acumulación en el perfil donde se localiza el sistema radical (Castellanos *et al.*, 2000).

La cantidad de sal agregada anualmente a cada hectárea depende del volumen total de agua aplicada, de la cantidad de sal que contenga, del drenaje del subsuelo y de la cosecha regada, por lo tanto, el desarrollo de los suelos salinos esta asociado con agua de calidad buena o pobre (Stallings, 1984).

La sal de las aguas de riego es perjudicial para las plantas, pues cuando la salinidad aumenta en el suelo, el desarrollo vegetal se restringe progresivamente. Inmediatamente después del riego, la concentración de sal en el agua del suelo en la parte superior de la zona radicular será aproximadamente la misma que en el agua aplicada; cuando el suelo se seca, la sal en el agua de éste se hace más concentrada y por consiguiente, más perjudicial (Stallings, 1984), ya que la diferencia de los valores de conductividad eléctrica (CE) producidas por la sal y la concentración de ésta, guardan estrecha relación con el comportamiento del potencial osmótico producido por la sal en la planta (Sánchez-Bernal *et al.*, 2003).

La riqueza salina del agua de riego depende de su origen. La concentración efectiva de las sales no es la del agua de riego misma, sino la de la solución justamente antes del riego y aunque esta sea similar al agua de riego en suelos muy permeables, puede ser hasta diez veces más concentrada en los impermeables, por ello, cuanto mayor es la impermeabilidad del suelo, tanto menor tiene que ser la cantidad de sodio del agua para una proporción dada de iones sodio de cambio en el suelo y más importante es que la proporción permanezca baja para que la permeabilidad ya escasa no empeore. En las circunstancias actuales, en que existe una fuerte necesidad de aumentar la superficie de terreno bajo regadío, a menudo tiene que utilizarse agua que con el tiempo ocasionará un aumento del sodio de cambio del suelo por encima del límite recomendado, sin embargo, debido a la baja eficiencia de conducción y aplicación del agua de riego y considerando que la red hidráulica actual requiere de un mayor cuidado en su conservación, la mayor prioridad es terminar con la infraestructura originalmente planeada, para evitar pérdidas por filtraciones en canales que influyen en el incremento de los niveles freáticos (Russell y Russel, 1968).

El principal factor limitante de la expansión de la agricultura de riego en todo el mundo es la escasez de agua. La demanda del agua se incrementa debido al crecimiento de la población y por ende sus necesidades, el progreso industrial y el calentamiento global. Hoy en día, hay un incremento en la tendencia a usar agua salina para riego en regiones áridas y semiáridas del mundo. El agua ligera y moderadamente salina puede ser usada para la irrigación satisfactoria de cultivos moderados y tolerantes a la salinidad, sin presentar efectos adversos de importancia a largo plazo sobre el suelo (Katerji *et al.*, 1998).

En México la escasez de agua ha contribuido tanto a la acumulación de bases intercambiables, tales como calcio y magnesio, así como a la formación de carbonatos y en algunos casos yeso; esto ocasiona la tendencia al encostramiento de la superficie del suelo, la cual restringe la emergencia de las plantas e impide una rápida infiltración de agua en el

suelo, por lo que la erosión hídrica del mismo se incrementa (Martínez-Gamiño y Walthall, 2000).

En general, la propensión de los suelos al encostramiento superficial se atribuye a los siguientes factores: a) altas concentraciones de sodio intercambiable y electrolitos, b) arcillas altamente dispersantes y c) métodos de irrigación, siendo éste el de mayor impacto.

4.4 EFECTOS DE LOS SUELOS SALINOS SOBRE LAS PLANTAS

Las sales solubles pueden tener dos tipos de efectos sobre las plantas en crecimiento; los específicos, debido a los iones perjudiciales para la especie, y los efectos generales, ocasionados por el aumento de la presión osmótica de la solución que rodea a las raíces (Singer y Munns, 1999).

En los efectos de ión específico además del bajo potencial hídrico, los efectos tóxicos específicos de los iones también se producen cuando éstos se acumulan en las células a concentraciones perjudiciales (sobre todo Na^+ , Cl^- , o SO_4^{2-}), afectando el metabolismo y crecimiento de los vegetales (FAO, 2006; Taiz y Zeiger, 2006).

En condiciones no salinas, el citosol de las células de plantas superiores contiene entre 100 y 200 mM de K^+ y de 1 a 10 mM de Na^+ , un medio óptimo para muchas enzimas. Una relación normalmente alta de Na^+ y K^+ y altas concentraciones de sales totales inactiva las enzimas e inhibe la síntesis de proteínas. A altas concentraciones, el Na^+ puede desplazar al Ca^{2+} en la membrana plasmática de los pelos radicales y provocan un cambio en la permeabilidad de la membrana plasmática que puede ser detectado por la pérdida de K^+ de las células (Taiz y Zeiger, 2006). Así mismo, cuando se acumulan altas concentraciones de iones Na^+ y/o Cl^- en los cloroplastos, se inhibe la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2006).

Los sistemas enzimáticos de la glicólisis, ciclo de Krebs y la fotofosforilación son especialmente sensibles a las soluciones salinas y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, adquisición de nutrimentos y una disminución del crecimiento de la planta y germinación de la semilla (Larcher, 1995); por lo que hay un desequilibrio nutrimental; por un lado, el fósforo, hierro, zinc y manganeso, así como algunos oligoelementos dejan de estar disponibles para las plantas a altos valores de pH ocasionado por sales solubles presentes en el suelo (Finck, 1988; Wild, 1992), así mismo, la estructura del suelo tiende a hacerse inestable al agua, dando lugar de este modo a que aparezcan condiciones de escasa permeabilidad, pobre aireación y laboreo muy difícil, y por otro, se presentan interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos provocando desbalances nutrimentales en las plantas. Así, la dominancia de calcio provoca antagonismos, entre otros, sobre el potasio, magnesio, hierro, boro y zinc. Sin embargo, ocurren sinergismos entre potasio e hierro y entre magnesio y fósforo (Dorrnsoro, 2010).

Por otro lado, los efectos generales ocasionados por el aumento de presión osmótica, los iones magnesio se vuelven más tóxicos que los iones calcio y estos a su vez, son más tóxicos que los de sodio, que es el ion dominante en suelos muy salinos. Una gran proporción de iones sodio tiene a veces un efecto perjudicial secundario en suelos muy pobres en calcio. Los efectos de las altas concentraciones salinas se muestra por la

presencia de plantas raquílicas y esto se hace más apreciable cuando las hojas se tornan de colores sucios y a menudo verde-azuladas, cubriéndose con un depósito céreo; así mismo, existe una relación lineal entre la reducción en rendimiento y la presión osmótica de la solución, por lo tanto, cuanto mayor es la cantidad de sales que contiene el suelo, menor es la cantidad de agua que las plantas pueden extraer de él, antes de empezar a sufrir por escasez de agua (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1988).

Las altas concentraciones de sales neutras, tales como el cloruro de sodio y el sulfato de sodio, pueden interferir con la adsorción del agua por las plantas a través del desarrollo de una presión osmótica más alta en la solución del suelo que la que existe en las células de la raíz. El porcentaje de marchitamiento de los suelos se eleva por la acumulación de sales y por tanto, la cantidad de agua que un suelo puede proporcionar a las plantas se verá reducida por la presencia de sales (Foth, 1980). De este modo, la supervivencia de las plantas en ambientes salinos dependerá de su tolerancia a las condiciones de estrés por este factor.

4.5 TOLERANCIA A LA SALINIDAD

La tolerancia a la salinidad es definida como la capacidad de un genotipo vegetal para crecer y desarrollarse aún en condiciones de estrés salino, sin una severa disminución de su tasa de crecimiento (Shannon y Grieve, 1999); esta tasa depende de la interacción de un número de factores que incluyen la constitución fisiológica de la planta, la etapa de crecimiento y las características específicas de las raíces (Brady, 1990); la restricción en el crecimiento es debido al estrés hídrico provocado por el potencial salínico de las raíces, por la toxicidad iónica, es decir, la excesiva absorción de cloro y sodio y por la limitación de los nutrimentos, particularmente de calcio (Shuch, 2005).

Las plantas deben mantener un potencial hídrico más negativo que el del medio externo para asegurar la absorción de agua. En medios salinos, el potencial hídrico bajo se activa por la acumulación de solutos (Throop, 2000).

La tolerancia de las plantas a la sal es afectada por la interacción de la planta con el suelo, el agua y las condiciones medioambientales. Las plantas son sensibles a la salinidad durante todas las etapas de crecimiento y esta sensibilidad puede variar en cada una de ellas (Shuch, 2005).

También las respuestas de las plantas a la salinidad varían entre especies y cultivares de cada una de ellas, así como en su amplitud y distribución, lo cual evidencia la diversidad de estrategias que han desarrollado a través de su curso evolutivo. Un ejemplo de esto es el mayor grado de tolerancia a la salinidad que muestra la familia Poaceae en comparación de la Leguminosae y que es explicado en mayor medida por su centro de origen (González *et al.*, 2002). Las plantas que son habitantes naturales de los suelos salinos tienden a poseer una mayor capacidad para extraer agua del suelo hacia el extremo más seco de este rango; sin embargo, las plantas halófitas no solo tienen que ser capaces de absorber agua de la solución salina para su crecimiento, sino también el de tomarla con la rapidez suficiente para mantener una velocidad de transpiración adecuada (Russell y Russel, 1968).

Muchas plantas son sensibles a iones específicos presentes en las aguas de irrigación o bien en las soluciones del suelo. Estos efectos se conocen como: efectos a iones específicos (Ortega, 1978), entre ellos el más común es la toxicidad con boro (Ortega, 1993); por lo que las plantas han desarrollado varios mecanismos de tolerancia, un ejemplo de ellos es cuando las plantas funcionales en condiciones de salinidad edáfica manifiestan mayor habilidad en el transporte de iones K^+ a las hojas jóvenes, lo que se considera una estrategia utilizada por ellas para incrementar su tolerancia a las sales (Bárcenas-Abogado *et al.*, 2002). La tolerancia de una planta puede ser escasa cuando es joven, pero elevada cuando está bien arraigada; la alfalfa es un ejemplo de esto. La planta puede mantenerse viva en presencia de concentraciones salinas elevadas, pero crecerá poco en estas condiciones, y lentamente, con contenidos moderados de sal. Al modificarse el contenido de humedad del suelo durante el ciclo de desarrollo del cultivo, la concentración de sales y el potencial osmótico varían (Ortega, 1993). En la práctica, la tolerancia a la sal está a menudo estrechamente relacionada con la tolerancia a los álcalis, alto pH, escasez de calcio y la capacidad de resistir un encharcamiento prolongado durante el regadío, lo cual es una consecuencia común de la alcalinidad (Russell y Russel, 1968). Estos son algunos de los mecanismos de tolerancia:

- Ajuste osmótico. Este proceso es realizado mediante la elevación de la concentración de los solutos orgánicos en el interior de la planta. Este mecanismo es reconocido como una precondition fundamental para competir con la salinidad del suelo. Las plantas estresadas por sal necesitan del ajuste osmótico para mantener la turgencia, lo que resulta vital para que el crecimiento continúe (Flores *et al.*, 1996).
- Cambios en la vía fotosintética. El estrés salino inhibe la fotosíntesis por la reducción del estrés hídrico. Por lo que el medio principal para tolerar este tipo de estrés es incrementar el uso eficiente de agua. Con este fin, plantas halófitas facultativas como *Mesembryanthemum crystallinum* cambia su vía fotosintética de modo C3 a CAM. Este cambio reduce la pérdida de agua mediante la apertura estomatal por las noches, esto reduce la transpiración bajo prolongadas concentraciones salinas. También hay un cambio de C3 a C4 en especies tolerantes tales como *Atriplex lentiformis* (Parida y Das, 2005).
- Compartimentación de Na^+ . Plantas halófitas y glicófitas encapsulan iones citotóxicos dentro de la vacuola para evitar efectos tóxicos en el citosol (Taiz y Zeiger, 2006). El transporte de Na^+ dentro de las vacuolas es mediado por una enzima inductora salina Na^+/H^+ antiportadora. Dos bombas electrogénicas H^+ , la enzima vacuolar H^+ -ATPasa (V-ATPasa) y la vacuolar pirofosfatasa (V-PPasa), coexisten en las membranas de la vía secretora de la planta (Parida y Das, 2005; Yamaguchi y Blumwald, 2005).
- Eliminación de sales. Una planta puede deshacerse por sí misma del exceso de sal, a través de exudados por glándulas contenidas en las hojas; excreción de sal en la superficie de los brotes y por el desprendimiento de tejidos viejos portadores de sal (Cheeseman, 1988; Larcher, 2003).

- Exclusión de sales. Las raíces limitan la absorción de sodio, en particular y cuando el sodio es absorbido no es translocado a los brotes. El aparato fotosintético, especialmente, tiende a ser protegido de la intrusión de sodio (Epstein y Bloom, 2005).
- Genético. La búsqueda para identificar genes involucrados en la tolerancia a la salinidad comenzó en 1998 por Liu y Zhu, donde; seleccionaron varias plantas mutantes y mediante un clonación posicional se identificaron los genes SOS (sal overly sensitive). Estos genes son los responsables de la exclusión del exceso de iones Na^+ fuera de la célula vía membrana plasmática Na/H^+ antipolar y ayudan a restablecer la homeostasis celular iónica (Mahajan y Tuteja, 2005).
- Redistribución de sal. El Na^+ y Cl^- pueden ser translocados fácilmente por el floema, de manera que las altas concentraciones pueden ser diluidas por redistribución en toda la planta (Larcher, 2003).
- Suculencia. El factor estresante en la acción de sales sobre el protoplasma no es en sí su cantidad total, sino más bien su concentración. Si el volumen de almacenamiento de las células incrementa progresivamente con la absorción de sal, la concentración puede mantenerse constante razonablemente por extensos periodos (Larcher, 2003).
- Simbiosis. En adición a los sistemas de protección intrínsecos de las plantas ante el estrés, éstas crecen en asociación con un número de microorganismos del suelo que pueden aliviar los síntomas por condiciones desfavorables (Ruiz, 2003)

Las plantas por su tolerancia a las sales solubles, pueden clasificarse de la siguiente manera: Euhalófitas: son las más tolerantes a las sales y las acumulan en sus tejidos; Crinohalófitas: estas presentan glándulas excretoras que les permiten eliminar las soluciones altamente salinas, por lo general en el envés de las hojas; Glicohalófitas: realizan una adsorción selectiva frente a las sales; Locahalófitas: localizan las sales en estructuras especializadas, con lo que controlan su distribución en los tejidos (Sellers, 1999). Entre las plantas con potencial de fitorremediación se incluyen a las plantas halófitas y glicófitas. Las plantas halófitas son aquellas que son altamente tolerantes a la salinidad, mientras que las glicófitas son moderadamente tolerantes (Monroy, 2004).

Pero indudablemente, otras condiciones tales como la temperatura, la humedad disponible, el contenido de materia orgánica, la textura del suelo y el suministro de nutrimentos influyen sobre la tolerancia de las plantas (Foth, 1980).

Los problemas de improductividad de los suelos salinos pueden ser solucionados o atenuados a través del empleo de plantas y asociaciones de plantas con microorganismos particularmente las micorrizas. Esencialmente, se trata de aprovechar las estrategias que han desarrollado las plantas y asociaciones de estas con microorganismos para sobrevivir y funcionar frente a condiciones de estrés por la alta concentración de electrolitos, según el mecanismo empleado y particularmente la manera en que la planta opera y la forma en que ésta anula el efecto perjudicial de la alta concentración o toxicidad de las sales o iones. La aplicación de estas estrategias se denomina fitorremediación (Sánchez *et al.*, 2005).

4.6 FITORREMIEDIACION EN SUELOS SALINOS

La fitorremediación es una ecotecnia que consiste en una serie de tecnologías emergentes cuyo objetivo es extraer, inmovilizar o degradar contaminantes por medio de plantas (Baker *et al.*, 2000); los mecanismos de esta, incluyen la rizodegradación, fitoextracción, fitodegradación y fitoestabilización (Van Deuren *et al.* 1997, Hutchinson 2001). La rizodegradación se lleva a cabo en el suelo que rodea a las raíces. Las sustancias excretadas naturalmente por éstas, suministran nutrimentos para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica. Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación), y posteriormente éstos son trasladados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (fitoextracción). En la fitoestabilización, las plantas limitan la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción en las raíces de compuestos químicos que pueden adsorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así, en la interfase raíces-suelo (Sellers 1999). La fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación.

Otro objetivo de la fitorremediación es reducir las concentraciones de contaminantes a niveles permisibles por la legislación ambiental. La ventaja más importante de ella, es su bajo costo, uso de baja tecnología y mantenimiento. El uso de esta tecnología es una opción que presenta las siguientes ventajas con respecto a métodos físicos y químicos:

- a) son sencillas de implementar
- b) efectivas y ambientalmente seguras
- c) los contaminantes se destruyen o transforman
- d) generalmente no se requieren tratamientos adicionales
- e) económicas

México es el cuarto país en el mundo, en número de plantas superiores; estimado en 30,000 especies, así mismo es el segundo país en endemismos vegetales, lo cual ofrece un enorme potencial respecto a la posibilidad de encontrar especies con alta capacidad fitorremediadora (Rzedowski, 1991). En las zonas áridas y semiáridas del país (Baja California, Baja California sur, Durango, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas, Tamaulipas e Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Querétaro respectivamente) mantienen una diversidad botánica aproximada de 6,000 especies de plantas y son a su vez, depositarias de los más altos niveles de endemismos, lo que lleva a considerar a estas áreas con alto potencial para apoyar el desarrollo sustentable (Montaño y Monroy, 2000).

La selección de especies vegetales para la fitorremediación se basa en la capacidad de las mismas para mantenerse en ambientes hostiles, por ejemplo en suelos con alto nivel salino y así mismo, poder obtener un producto que pueda ser utilizado; también se debe tomar en cuenta las variaciones que existen en la vegetación para establecerse en condiciones de este tipo (Maass, 2003); esto debido a que existen gradientes en el incremento en la proporción de disolución de calcio (mediante procesos en la interface suelo-raíz) en la solución de suelo por cada especie, esto lo observaron Ruíz *et al.* (2007), al evaluar el balance de sales solubles totales, aniones y cationes en un suelo salino cultivado con tres especies de zacate (*Sorghum sudanense*, *Lolium perenne* y *Cynodon dactylon*), donde

demonstraron que existe una reducción en la conductividad eléctrica del suelo, por lo que disminuyó la salinidad del mismo, por efecto del cultivo de las especies de zacate, encontrando una mayor liberación de sales para *Sorghum sudanense*.

Las listas de cultivos tolerantes a la sal están fundamentadas principalmente en la experiencia práctica de campo. Lo pertinente es ir a sitios con problemas de este tipo y analizar que especies vegetales prosperan en esos suelos; estas especies se han clasificado en: tolerantes, moderadamente tolerantes y sensibles a las sales (Russell y Russel, 1968). Jones (1998) menciona que las halófitas se conforman por una amplia gama de especies (alrededor de 3,000), abarcando desde zacates, arbustos y matorrales, hasta el sistema ecológico de los mangles.

Los estudios correspondientes a *Salicornia spp.*, indican que son halófitas pertenecientes a la familia Chenopodiaceae en estado adulto son altamente tolerantes a la salinidad (Jeyarany y Ungar, 1986). *Salicornia bigelovii* Torr., se ha propuesto como un sistema modelo para suelos con problemas de sales, donde la agricultura convencional no puede desarrollarse adecuadamente, por lo que es de interés estudiarla y desarrollarla como cultivo con perspectivas de explotación comercial. En estados como Baja California y Sonora, *S. bigelovii* tiene una amplia distribución a lo largo de sus costas, presentándose mediante una gama de ecotipos con variación fenotípica y un clima adecuado para su desarrollo que se demuestra por su abundancia y distribución, por lo que es de interés estudiar cada uno de ellos y desarrollarla como cultivo con perspectivas de explotación comercial (Riley *et al.*, 1992). En las entidades federativas mencionadas, la actividad agropecuaria se intensifica cada vez más y un número elevado de familias depende de su desarrollo, pero las prolongadas sequías características de la zona y la escasez de forrajes limita en gran medida la producción de ganado. Además, la calidad del agua de riego y de los suelos está disminuyendo por el fenómeno de salinización (Rueda-Puente *et al.*, 2011).

También existe la fitorremediación mediante hongos simbiotes de la raíz; en estudios recientes, se ha mostrado que plantas como *Distichlis spicata* (pasto salado) y *Cynodon dactylon* (pasto pata de gallo) incrementan su simbiosis con hongos micorrícicos arbusculares (HMA), conforme se incrementa la salinidad del suelo. Esto permite que dichos pastos, de importancia forrajera, puedan desarrollarse en suelos con alto nivel de salinidad. Estos pastos prosperan en suelos con una conductividad eléctrica de 17 dS m⁻¹ por lo cual hace posible la propagación de estas dos especies, junto con sus simbiotes micorrícicos, en suelos actualmente improductivos, para que de esta manera se pueda remover, poco a poco, la alta salinidad de un suelo en cada cosecha o ciclo forrajero (Monroy, 2004).

Cabe señalar que en la medida en que se reduzcan las concentraciones de sales utilizando plantas o asociaciones plantas-micorrizas, el suelo degradado por salinización recuperará las propiedades perdidas, se tornará más funcional logrando así su rehabilitación y si se induce el establecimiento de la cobertura vegetal primaria de manera que esta tenga la estructura de la vegetación primaria, se habrá conseguido su restauración ecológica.

4.7 RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

En caso de un ecosistema alterado parcialmente hay que diseñar un sistema que incluya los factores de mayor impacto que permitan conservar la biodiversidad del lugar y que garantice la reparación del daño causado, mientras que en un ecosistema totalmente degradado requiere una ingeniería humana más amplia para encontrar la trayectoria del ecosistema hasta semejar o alcanzar uno o varias de los estados previos a la perturbación (Sánchez *et al.*, 2005).

Para recuperar los suelos con problemas de sales o sodio intercambiable existen los siguientes métodos: a) Físico (barbecho profundo, adición de arena o inversión del perfil), b) Biológico (incorporación de estiércol abonos verdes y establecimiento de cultivos tolerantes a sales), c) Eléctrico (pasar una corriente directa a un volumen dado de suelo), d) Hidrotécnico (lavado y drenaje) y e) Químico (basado en el intercambio de sodio por calcio mediante el uso de sales cálcicas de alta solubilidad, así como de ácidos y sustancias formadas de ácido cuando el suelo contiene calcio en forma precipitada (Aceves, 1976).

El método más utilizado para la recuperación de suelos salinos es el lavado o lixiviación de sales solubles con agua de baja salinidad; este método consiste básicamente en aplicar una lámina grande de agua para disolver las sales y removerlas de la zona radical del cultivo. Aunque para lavar un suelo salino es indispensable que éste sea permeable y exista una salida para el agua de drenaje; la tolerancia del cultivo a establecer es de suma importancia (Keren y Miyamoto 1990).

Para un manejo adecuado de estos suelos, no sólo se ha de tener en cuenta las condiciones específicas en las que se encuentra, sino que es necesario hacer un seguimiento de los mismos, con el fin de controlar su evolución. El control periódico, exige unos métodos de medida de la salinidad fiables y que sean operativos a nivel de campo.

Los más utilizados han sido, la toma de muestra de suelo y su análisis en laboratorio, que permita conocer todos los parámetros que definen la salinidad (Otero *et al.*, 2002).

La adaptabilidad de las plantas usadas como material restaurador es decisiva. Las plantas nativas son la elección por que: a) se adaptan a las condiciones vitales en el área a restaurar y b) su desarrollo se facilita, comparado con el de plantas exóticas (Maass, 2003).

Por todo esto, es de suma importancia que los agricultores, consultores agrícolas y la comunidad en general que se encuentran en sitios degradados, contribuyan en la investigación de sus condiciones locales, dando prioridad a los datos con respecto a la respuesta de los cultivos a condiciones adversas del suelo (salinidad, infertilidad, etc.) y las estrategias de estos cultivos para su permanencia en el mismo. Esta investigación base, será invaluable para poder hacer recomendaciones apropiadas en cuanto a uso, manejo y mejoramiento tanto de las condiciones del suelo así como la influencia de esto en la economía local (Pitman y Laüchli 2002). En el caso de sitios agrícolas, la restauración se basa en un modelo agrícola o un modelo de comunidad clímax, en los cuales se enfatiza la productividad y estabilidad del sitio como indicadores de un sistema sano.

Sin embargo, la rápida degradación de los ecosistemas llevan a tomar medidas urgentes tanto políticas como económicas para evitar su completa destrucción y así mismo, plantear medidas científicas para su recuperación, es decir, implica entender eventos como la sucesión primaria, secundaria, los diferentes mecanismos de invasión de especies, importancia del banco de semillas, identificación de especies clave en el proceso sucesional y su comportamiento demográfico, los procesos fenológicos, el papel que desempeñan las perturbaciones y la formación de claros en la estructura de la comunidad y la dinámica de los ciclos biogeoquímicos, lo cual permitirá identificar los factores más relevantes del proceso, y posteriormente su manipulación para acelerar la vía sucesoria que recupere una composición de especies y las interacciones semejantes del ecosistema original (Martínez, 1996)

Se requieren tecnologías de remediación de bajo costo especialmente en países con recursos limitados como México. La implementación de las tecnologías de fitoextracción podría representar un complemento viable a las técnicas tradicionales de remediación de la contaminación por metales (López-Chuken y Ulrico, 2007).

De acuerdo con datos proporcionados por la SEMARNAT (2003) todas las tecnologías que ofrecen las empresas que cuentan con permisos para remediar suelos contaminados, están enfocadas exclusivamente a la remediación de sitios contaminados con compuestos orgánicos.

V. JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran demanda de alimentos y a las dificultades de abastecimiento de los mismos, es de alta prioridad buscar nuevas áreas de cultivo, sin embargo, el creciente deterioro de los agroecosistemas ha traído como consecuencia el abandono de muchos de ellos debido al uso inapropiado del suelo y a la irrigación con agua de baja calidad. Una de las principales causas del deterioro es la salinización del suelo que redundará en una disminución de la producción y de la calidad de la misma. Es de suma importancia recuperar los suelos degradados y hacerlos productivos; una alternativa es la fitorremediación, técnica que se basa en la tolerancia de las especies vegetales y su capacidad fitoextractora y bioacumuladora de las sales. En el Valle del Mezquital, Hidalgo, se han afectado por sales áreas agrícolas de hasta 500 hectáreas, debido al uso de las aguas residuales contaminadas con sales. En estos suelos, se ha desarrollado una cubierta vegetal de herbáceas potencialmente aprovechables para fitorremediar estos suelos. El propósito de este trabajo fue conocer los intervalos de tolerancia a la salinidad de las cinco especies dominantes presentes en los suelos afectados por este problema entre los poblados Maguey Blanco y Taxhadó.

VI. INTERROGANTES A RESOLVER

¿Las plantas establecidas en el área de estudio tienen el mismo grado de tolerancia a la salinidad? ¿Cuáles de estas especies pueden ser utilizadas para la rehabilitación del suelo? ¿En qué orden deben de ser empleadas? ¿Cuáles son las sales que determinan la presencia, dominancia y secuencia de estas especies en los sitios?

VII. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la tolerancia a la salinidad de las cinco especies dominantes de la zona salina de Maguey Blanco-Taxhadó.

7.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la composición de especies presentes en la zona salinizada.
- Determinar las características físicas y químicas del suelo del sitio.
- Estudiar la composición cualitativa y cuantitativa de las sales en los suelos del área.
- Explicar cómo la humedad afecta la concentración salina y la composición de especies vegetales en el área de estudio.

VIII. MATERIAL Y MÉTODOS

8.1 DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

Localización geográfica

El Valle del Mezquital se encuentra en el estado de Hidalgo, donde se ubica la más grande y antigua región agrícola del mundo, irrigada con agua residual proveniente de la Ciudad de México (DFID, 1998). El municipio de Ixmiquilpan está enclavado en esta zona irrigada, que en 1974 fue declarada como Distrito de riego 110, actualmente 100, en donde se construyeron una serie de canales y presas, que definitivamente cambiaron el cuadro económico de la región y el área de riego en la zona de Ixmiquilpan. Se ubica geográficamente entre los paralelos 20° 42' al norte, al sur 20° 23' de latitud norte, al este 99° 05' y al oeste 99° 18' de longitud oeste, a una altitud de 2271 msnm. Cuenta con 529.87 Km² de superficie que representan el 2.20% de la superficie del estado. Ixmiquilpan colinda al norte con los municipios de Zimapán, Nicolás Flores y Cardonal, al este con Cardonal y Santiago de Anaya, al sur con Santiago de Anaya, San Salvador, Chilcuatla y Alfajayucan, Tasquillo y Zimapán. Los poblados del municipio son: la cabecera municipal, nueve cabeceras del subsistema y 79 localidades menores, siendo sus principales localidades: Ixmiquilpan (cabecera municipal), Panales, El Tephé, Maguey Blanco, Orizabita, El Alberto, Dios Padre, Julián Villagrán y Taxhadó (Ixmiquilpan, 2009).

El área de estudio pertenece a la cuenca hidrológica del río Tula, el cual nace en el Estado de México y riega la parte suroeste del estado de Hidalgo, dirigiendo su curso hacia el norte del Valle de Mezquital para verter sus aguas en el río Moctezuma, más al norte, este último río representa el límite político y administrativo entre los estados de Querétaro e Hidalgo (Ixmiquilpan, 2009). El río Tula se considera una de las corrientes más importantes para fines agrícolas y en algunas épocas del año lleva considerables volúmenes de aguas residuales (Ixmiquilpan, 2009).

El clima predominante en más del 50% de la superficie municipal es el semiseco templado (BS1K); con presencia de los subtipos climáticos de Seco semicálido (BSh) en un 23.67%; Templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (Cw2) en un 21.58%; Templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (Cw0) en un 2.69% y semiseco semicálido (BS1h) en un 0.84%. La temperatura media anual es de 18.2 °C y una precipitación media de 362 mm (INEGI, 2005).

La agricultura ocupa un 53.23% de la superficie municipal, algunas de las especies que se cultivan y poseen mayor importancia son: maíz, alfalfa, frijol, brócoli, coliflor, col, lechuga, calabaza y maguey pulquero. La vegetación de matorral abarca un 22.67% en los que destaca *Agave lechuguilla*, *Acasia* sp. *Myrtillocactus geometrizans*; 13.12% está ocupado por bosques, en los que se presentan *Juniperus flaccida*, *Opuntia* sp., *Quercus* sp. y *Baccharis conferta*; El pastizal comprende el 7.06% con *Yucca* sp. y *Distichlis spicata*; finalmente, el 3.92% restante no se encuentra identificado (INEGI, 2005).

La fauna que de manera natural se distribuye en el municipio está compuesta por mamíferos pequeños (tejón, ardilla, tlacuache, armadillo, coyote, onza, conejo, zorra, murciélago, zorrillo, liebre, ratón de campo, tuza), aves (lechuza cenizota, zopilote), reptiles (lagartijas, víbora de cascabel) y una gran variedad de insectos (Ixmiquilpan, 2009).

Ganadería

La ganadería dentro de la zona de estudio es de ganado bovino de leche, en menor proporción de carne; también de desarrolla ganado caprino, ovino y porcino. En cuanto a avicultura se explota un número considerable de cabezas de pollo, gallinas y guajolotes de postura y engorda (INEGI, 2005).

Geología

Las diferentes conformaciones rocosas que se encuentran dentro de la región del Valle de Ixmiquilpan, están compuestas por rocas ígneas, extrusivas y sedimentarias; las primeras localizadas principalmente al centro; de norte a sur formando una franja y pequeñas porciones al noreste, oeste y sureste. Hacia el sur, se tienen las rocas extrusivas y por último las sedimentarias al este y una pequeña porción al noreste (INEGI, 2005).

Suelos

Dentro del municipio de Ixmiquilpan, predominan los Vertisoles al norte, sur y oeste y Castañozem al norte y noroeste. En México estos suelos soportan una vegetación natural de pastizal o matorral (Velasco-Molina, 1991).

En cuanto a la distribución de suelos se presentan como dominantes: Leptosol réndzico con un 41% de la superficie total; Phaeozem (calcárico) con 24.63 %; Phaeozem háplico con 0.21%; Leptosol lítico con 4.41%; Regosol (calcárico) con 0.85%; Regosol (éutrico) con 14.41%; Vertisol (pélico) con 9.86% y otros ocupan el 3.92% restante (INEGI, 2005).

8.2 SELECCIÓN DE SITIOS DE ESTUDIO

Se realizaron recorridos en la zona con el fin de detectar gradientes de concentración salina en el área, para así seleccionar los sitios específicos de muestreo, por lo que se tomaron en cuenta los siguientes criterios: el gradiente salino, la presencia o ausencia de costras salinas, la composición de la vegetación presente y la dominancia de especies. Con base en lo anterior, se seleccionaron seis sitios (Figura 1). Una vez ubicados éstos, se procedió al muestreo de suelo y vegetación, para cada sitio, en dos épocas del año, temporada húmeda y seca, con la finalidad de comparar las diferencias en composición vegetal con respecto a la diferencia de la concentración salina determinada por la época de muestreo.

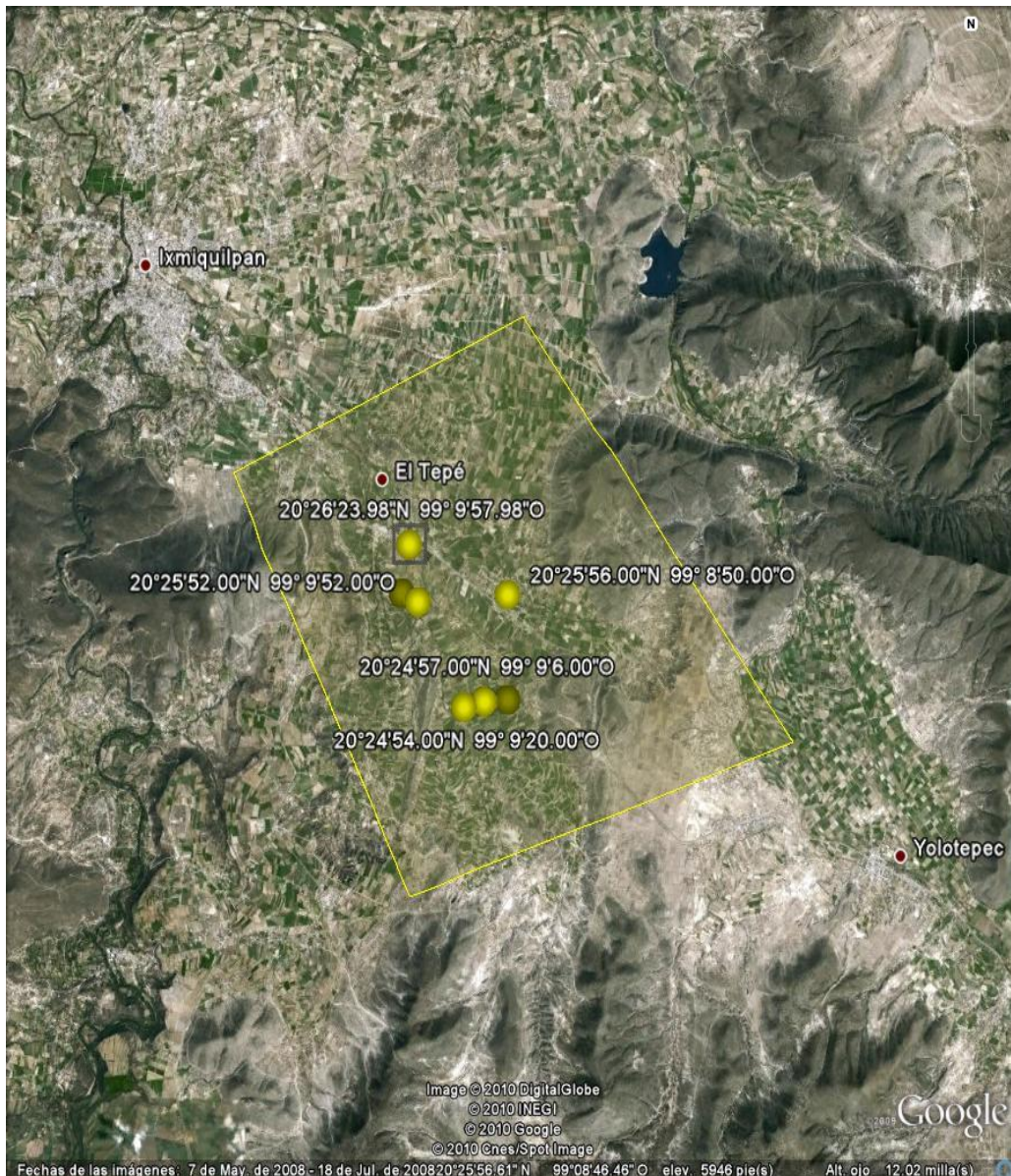


Figura 1. Localización del área de los seis sitios de muestreo (Google Earth, 2010).

8.3 TRABAJO DE CAMPO

8.3.1 SUELO

Se realizaron dos muestreos, uno para la caracterización física y química de los suelos del área y otro para definir el perfil salino e intervalos de tolerancia de las cinco especies vegetales seleccionadas por su importancia en las comunidades vegetales del sitio.

El primer muestreo se realizó en un perfil de suelo, se describió morfológicamente de acuerdo a los criterios establecidos en *Guide Lines for Soil Description* de la FAO (2006). Las muestras fueron tomadas cada 20 cm hasta un metro de profundidad. Estas muestras se colocaron en bolsas de polietileno y se etiquetaron para su posterior análisis físico y químico en laboratorio para finalmente darle el nombre con base en la WRB, versión 2007.

El segundo muestreo se realizó en el volumen de suelo del sistema radical de las especies, en dos épocas del año, una en la estación seca (abril) y otra en la estación húmeda (septiembre), en los espesores 0-5=P1, 5-15=P2, 15-25=P3, 25-35=P4, 35-45=P5 cm, profundidad máxima de este órgano de la planta.

El área específica de distribución de cada una de las especies seleccionadas fue dividida en tres zonas; zona uno, de baja salinidad, zona dos, de moderada salinidad y zona tres, de alta salinidad. Aproximadamente 250g de suelo del sistema radical de plantas representativas por zona salina fue recolectado por quintuplicado para formar posteriormente muestras compuestas; esto para los seis sitios de estudio. Las muestras fueron depositadas en bolsas de polietileno etiquetadas y bajo estas condiciones se transportaron al laboratorio, para así, ser pretratadas (secadas, molidas, tamizadas y pesadas) para su posterior análisis en el Laboratorio de Restauración de Suelos de la FES Zaragoza, UNAM.

8.3.2 VEGETACIÓN

Los sitios fueron estudiados en su composición biótica a través de muestreos de la vegetación por el método de cuadrantes de acuerdo a lo descrito por Cox (2002). Se llevaron a cabo transectos de 40m, donde por azar, se establecieron cuadrantes de 4 m²; una vez limitados, se realizó la identificación de las especies presentes y se registraron los siguientes datos: número de individuos, diámetro mayor y diámetro menor de cada uno de ellos, de este modo se obtuvo así la información necesaria para determinar el valor de importancia de las especies, índice de Sorensen, índice de Margalef (riqueza específica), índice de Simpson y el índice de Shanon-Winner. Se colectaron cinco ejemplares de cada especie ubicada en la zona de estudio, fueron herborizadas y su determinación se realizó en el herbario FEZA, FES Zaragoza, UNAM.

8.4 FASE DE LABORATORIO

8.4.1 SUELO

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Restauración de Suelos de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. De acuerdo a Anderson e Ingram (1993), para el secado de las muestras, se extendieron en una capa delgada sobre una superficie de plástico en un lugar ventilado a temperatura ambiente, una vez secas, los terrones se disgregaron presionando sobre ellos, así mismo, se hizo una separación manual de gravas, raíces, hojas y otros componentes; se tamizaron a través de una malla de 2 mm de diámetro con el fin de separar las impurezas aún existentes dejando solo el suelo mineral. Se formaron muestras compuestas correspondientes al sitio y a la profundidad para obtener una muestra representativa de aproximadamente 400g, estas, se almacenaron en recipientes de plástico etiquetados, completamente cerrados para evitar interferencias por humedad y contaminantes y así proceder con los análisis físicos y químicos correspondientes (Cuadros 3 y 4).

Cuadro 3. Caracterización física y química del suelo.

VARIABLE	MÉTODO
Color	Tablas Munsell (Munsell, 1999).
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos (Jackson, 1970).
Retención de humedad del suelo	Método de la probeta (Anderson e Ingram, 1993).
Densidad aparente (D.A)	(Anderson e Ingram, 1993).
Densidad real (D.R)	Método del picnómetro. (American Society of Agronomy, 1979).
pH	Electrométrico (AS-02 Norma Oficial Mexicana NOM-021RECNAT-2000).
Materia orgánica (M.O)	Método Walkley-Black sin aporte de calor (Anderson e Ingram, 1993).
Conductividad Eléctrica (dS m⁻¹)	(AS-18 Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000)
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Titrimétrico (Reyes, 1996).
% Espacio poroso:	calculado con los resultados de densidades, utilizando la fórmula: $\%EP = (1 - DA/DR) \times 100$

Las determinaciones se realizaron en el extracto de saturación del suelo para el análisis salino y consistieron en:

Cuadro 4. Análisis para definir el perfil salino e intervalos de tolerancia.

VARIABLE	MÉTODO
pH	Electrométrico (AS-02 Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000).
Conductividad eléctrica (C.E)	AS-18 Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000
Cationes solubles (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ y K ⁺)	Absorción atómica y espectrofotometría (AS-19 Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT).
Aniones solubles (Cl ⁻ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻)	Volumetría y turbidimetría (AS-20 Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000).

8.4.2 DETERMINACIÓN DE ESPECIES

Los ejemplares recolectados fueron determinados utilizando las claves Nash y Moreno (1981); Rzedowski y Calderón (2005); Wiggins (1980) y con la asesoría de especialistas en sistemática vegetal del Herbario FEZA.

Así mismo, con los registros de la vegetación tomados en campo (número de individuos, diámetro mayor y menor) se calculo la densidad, frecuencia y dominancia específica y relativas para finalmente obtener el índice de importancia de cada una de las especies presentes en el área de estudio, utilizando las siguientes fórmulas (Cox, 2002):

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{dominancia absoluta por especie}}{\text{dominancia absoluta de todas las especies}} * 100$$

$$\text{Dominancia absoluta} = \frac{\text{cobertura de una especie}}{\text{área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{densidad absoluta por especie}}{\text{densidad absoluta de todas las especies}} * 100$$

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{número de individuos de una especie}}{\text{área muestreada}}$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{frecuencia por especie}}{\text{frecuencia absoluta de todas las especies}} * 100$$

Frecuencia absoluta= $\frac{\text{número de cuadrantes en los que se presenta cada especie}}{\text{Número total de cuadros muestreados}}$

Valor de importancia= Densidad Relativa + Dominancia Relativa + Frecuencia Relativa

El índice de valor de importancia es un índice sintético estructural, empleado principalmente para jerarquizar la dominancia de cada especie (Zarco *et al.*, 2010).

8.4.3 MEDICIÓN DE LA RIQUEZA ESPECÍFICA

La riqueza de especies ha sido considerada como el mejor indicador proximal de la diversidad biológica dado que sus valores son intuitivamente comprensibles y fácilmente apreciables, haciéndola valiosa para fines de conservación y manejo; (Gaston, 2000), y además es la base para el conocimiento de las tendencias macroevolutivas e historial de los taxa superiores (Halffter y Moreno, 2005). La evaluación adecuada del número de especies también es relevante para los escenarios de cambio global, donde la invasión, extinción y cambios en la distribución de especies serán fenómenos frecuentes (Renema *et al.*, 2008).

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad.

8.4.4 ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE MARGALEF

$$D_{(Mg)} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos.

8.4.5 ÍNDICES DE ABUNDANCIA PROPORCIONAL

Peet (1974) clasificó estos índices de abundancia en índices de equidad, aquellos que toman en cuenta el valor de importancia de cada especie, e índices de heterogeneidad, aquellos que además del valor de importancia de cada especie consideran también el número total de especies en la comunidad. Sin embargo, cualquiera de estos índices enfatiza ya sea el grado

de dominancia o la equidad de la comunidad, por lo que para fines prácticos resulta mejor clasificarlos en índices de dominancia e índices de equidad.

8.4.6 ÍNDICES DE DOMINANCIA

Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies.

8.4.7 ÍNDICE DE SIMPSON

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 1988; Peet, 1974) en Moreno (2001). Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1 - \lambda$ (Lande, 1996) en Moreno (2001).

8.4.8 ÍNDICE DE SHANNON-WIENER

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988; Peet, 1974; Baev y Penev, 1995) en Moreno (2001). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988) en Moreno (2001).

8.4.9 ÍNDICE DE SIMILITUD DE LA COMPOSICIÓN BIÓTICA

Con los datos de riqueza y abundancia de las especies encontradas en el área de estudio, se obtuvo el índice de similitud. A pesar de que la composición de especies vegetales es similar en la mayoría de los sitios de muestreo, se registró una diferencia en la dominancia de las mismas, por lo que se decidió determinar el índice cuantitativo de Sorensen para evaluar la similitud entre los sitios considerando las variables composición y abundancia de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$I_{Scuant} = \frac{2pN}{aN + bN}$$

Dónde:

aN= número total de individuos en el sitio A

bN= número total de individuos en el sitio B

pN= sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios (Marrugan, 1988) en Moreno (2001).

Para determinar cuáles fueron las especies dominantes de la zona de estudio, se considero: el valor de importancia de cada especie con relación a la comunidad en su conjunto (Margalef, 1974) y la dispersión de dicha especie en la zona de estudio (sitios en los que aparece).

8.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se llevo a cabo una correlación de Pearson para conocer las relaciones establecidas entre los parámetros químicos. Se realizó un Análisis de Varianza ANOVA de un factor para determinar las diferencias significativas entre: sitios por temporada; y profundidades por temporada y se hizo una Prueba de Tukey a los parámetros que fueron significativamente diferentes con $p < 0.05$; se efectuaron con el paquete estadístico Statgraphics Plus versión 5.0 (Cervantes *et al.*, 2006).

Se realizo un análisis de correlación de los parámetros químicos y los parámetros biológicos para establecer las relaciones más importantes entre las especies y las condiciones edáficas.

Por último se realizó una determinación de máximos y mínimos para todos los parámetros por sitio y se relacionó con la presencia de las especies ubicadas por sitio, para establecer sus intervalos de tolerancia salina.

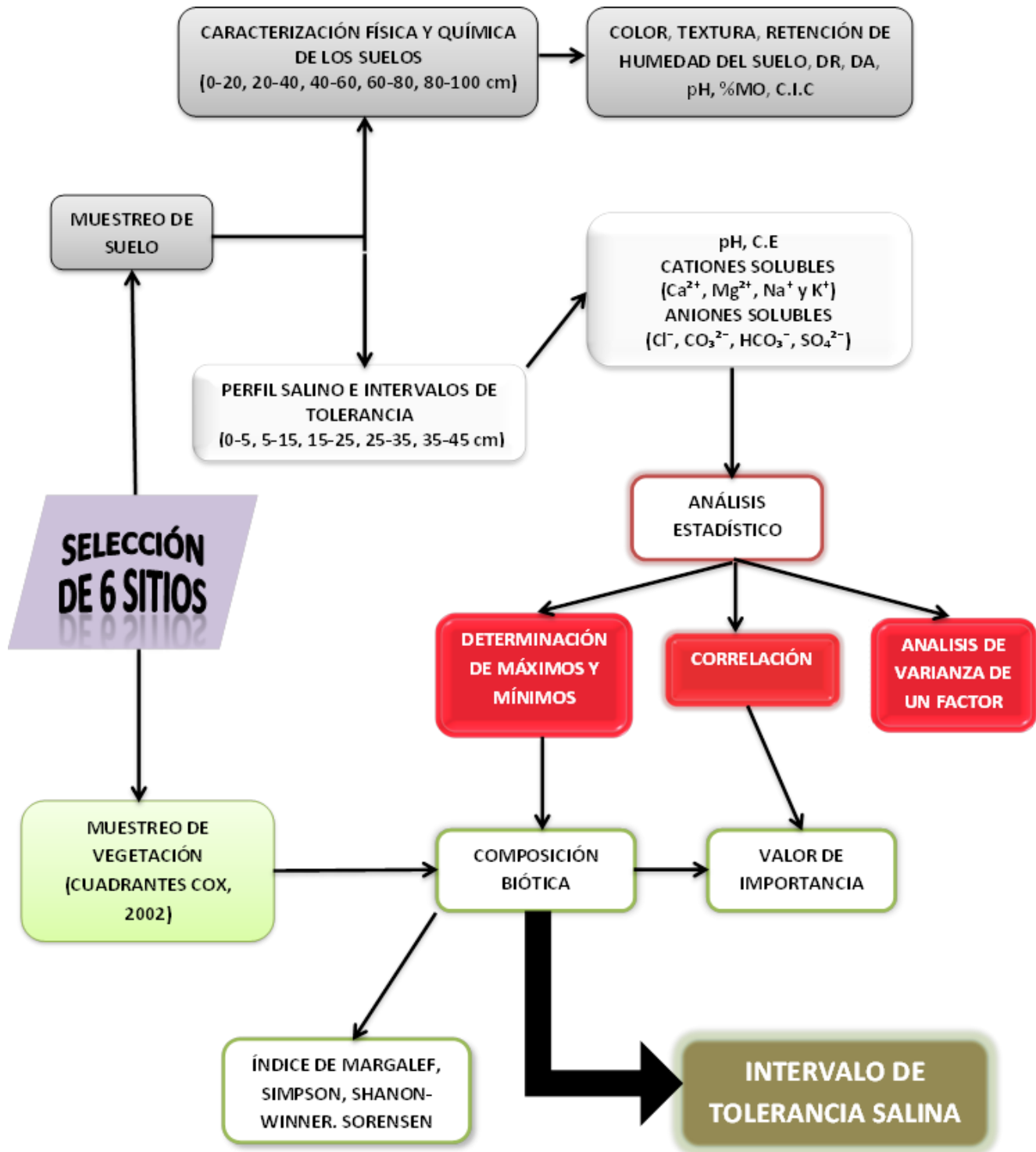


Figura 2. Metodología del estudio para ambas temporadas.

IX. RESULTADOS

La caracterización ecológica del sitio, así como la descripción morfológica del perfil de suelo presente, se muestra en el Cuadro 5, puede observarse que se trata de un sitio plano con una pendiente no mayor al 1%, con ligera erosión, cuya degradación por salinidad se debe al riego con agua de mala calidad y que esta problemática ha conducido al cambio de uso de agrícola a pecuario, actividad que se realiza actualmente bajo la modalidad de pastoreo basada en el consumo de arvenses que de manera natural se desarrollan en el sitio y cuyos componentes son esencialmente tolerantes a la salinidad o francamente halófitos. Se trata de un suelo Vertisol con más de un metro de profundidad.

9.1 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DE SUELO

UBICACIÓN: entre Maguey Blanco y Taxhadó, Valle del Mezquital, Hidalgo.

COORDENADAS: 20° 25'43.7" N, 99° 09' 36.3" W

ALTITUD: 1790 m

FECHA DE DESCRIPCIÓN Y MUESTREO: 19 de abril de 2010

MUESTRAS COLECTADAS POR: Ramiro Ríos Gómez y Marina Maldonado Jiménez

DESCRITO POR: Ramiro Ríos Gómez

PENDIENTE: 1%

EXPOSICIÓN: norte

DRENAJE SUPERFICIAL: sitio receptor

MATERIAL ORIGINAL: calcáreo

ORIGEN DEL SUELO: aluvial

PERMEABILIDAD: rápida, recientemente limitada por la elevación del manto freático

REGIÓN FISIOGRAFICA: Eje Volcánico Transversal

EROSION: ligera

USO ACTUAL: agrícola degradado por salinidad

VEGETACIÓN: halófito, la vegetación secundaria son algunos como: *Chenopodium* sp., algo de pasto bajo alfombra en los límites de algunas terrazas, barreras de *Ficus carica* L., *Punica granatum* L., *Juglans* sp. o *Prosopis laevigata* (Figura 3)

HORIZONTES DE DIAGNÓSTICO: epipedón mólico; endopedón árgico

TIPO DE SUELO: Vertisol WRB y Vertisol Soil Taxonomy (Figura 4)

Cuadro 5. Descripción morfológica de los suelos ubicados entre Maguey blanco y Taxhadó, Hidalgo.

HORIZ.	PROF. (cm)	DESCRIPCIÓN
A ₁	0-55	La superficie del suelo está cubierta por vegetación herbácea inducida, el resto del suelo libre de vegetación cubierta por capa de sales. Su color en seco es 2.5Y 5/2 café grisáceo y en húmedo 5YR 3/1 gris muy oscuro. Su textura es arcillosa; no existe pedregosidad. Su consistencia es friable; cuando muy húmedo es muy pegajoso y plástico. No hay estratos endurecidos, no hay nódulos, ni presencia de cutanes. Los poros son de tamaño macro y micro; sus diámetros van desde micro hasta finos 2mm, macroporos tubulares y continuos, oblicuos y verticales dentro y entre los agregados. La permeabilidad es moderada; hay pocas raíces y son finas. Suelo imperfectamente drenado.

Cuadro 5. Descripción morfológica de los suelos ubicados entre Maguey blanco y Taxhadó, Hidalgo (“Continuación”).

HORIZ.	PROF. (cm)	DESCRIPCIÓN
A ₂	55-70	La transición a la siguiente capa es tenue y ondulada. El suelo húmedo su color es 5YR 3/1 gris muy oscuro y en seco su color es 10YR 6/2 gris café claro. Su textura es arcillosa; no existe pedregosidad, la estructura no fue visible por la humedad. Su consistencia es friable en húmedo y cuando muy húmedo es muy pegajoso y plástico. No hay estratos endurecidos, no hay cutanes, ni presencia de nódulos. Los poros son micro y macro, estos últimos son tubulares con diámetros de hasta 2mm oblicuos y hay verticales dentro y entre los agregados. La permeabilidad es lenta por la alta humedad; las raíces son raras y finas. El suelo esta imperfectamente drenado. Reacción fuerte con el HCl (calcáreo); mientras que con el H ₂ O ₂ es moderada y con la fenolftaleína más NaF es moderadamente intensa.
B1	70-90	La transición a la siguiente capa es tenue y ondulada. El color del suelo húmedo es 10YR 6/2 café claro y en seco su color es 10YR 3/2 café grisáceo muy oscuro. Su textura es arcillosa; no existe pedregosidad, la estructura no fue visible por la excesiva humedad. Su consistencia en húmedo es friable y cuando muy húmedo es muy pegajoso y plástico. No hay estratos endurecidos, no hay cutanes, ni presencia de nódulos. Los poros son de tamaño macro y micro; los diámetros van desde micros hasta finos 2 mm continuos, oblicua y hay verticales dentro y entre los agregados los macroporos son tubulares. La permeabilidad es moderada; las raíces son raras y finas. Suelo imperfectamente drenado. Reacciona intensamente con el HCl (calcáreo); con el H ₂ O ₂ su reacción es fuerte y con la fenolftaleína más NaF moderada.

HORIZ: horizonte; PROF: profundidad



Figura 3. Vegetación secundaria



Figura 4. Perfil del suelo

9.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

En el Cuadro 6, se muestran las características físicas de los seis sitios de estudio. El 67% de las muestras tienen a un color 10YR 6/2 en seco, mientras que el 60% a un color café grisáceo muy oscuro en húmedo, lo que puede relacionarse con suelos mal drenados. Por otro lado, mediante el análisis textural se clasificaron cinco composiciones texturales, de las cuales, migajón arcillosa con el 53% y arcillosa con el 24% fueron las más frecuentes. Así mismo, estos suelos presentan una densidad aparente de 0.68 a 0.91 g/cm³ y una densidad real de 2.1 a 2.7 g/cm³; mientras que el porcentaje de espacio poroso varía entre el 59 y 68%. Con respecto al porcentaje de retención de humedad se obtuvo un intervalo que fue de 33.37% hasta 74.39%.

Cuadro 6. Propiedades físicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

Sitio	Prof. (cm)	Color seco	Color húmedo	Textura			D.R	D.A	Espacio poroso	Retención de humedad			
				Arcilla	limo	arena							
				-----%-----			(g/cm3)	-----%-----					
1	0-5	10YR 6/2	10YR 3/3	36.72	28	35.28	2.7	0.90	66.3	43.36			
					Migajón arcilloso								
	5-15	10YR 6/1	10YR 3/3	30.72	26.72	42.56							46.08
					Migajón arcilloso								
	15-25	10YR 6/2	10YR 3/2	32.16	30.72	37.12							47.60
2	25-35	10YR 6/2	10YR 3/2	48.16	20	31.84	2.2	0.91	59.0	33.37			
					Arcilloso								
	35-45	10YR 6/2	10YR 3/2	33.44	22.72	43.84							36.51
					Migajón arcilloso								
	0-5	10YR 6/2	10YR 3/1	25.8	28.36	45.84							65.43
3	5-15	10YR 6/2	10YR 3/2	26.72	26	47.28	2.1	0.68	68.0	70.52			
					Migajón arcilloarenosa								
	15-25	10YR 6/2	10YR 3/1	28.16	28	43.84							51.17
					Migajón arcilloso								
	25-35	10YR 6/1	10YR 3/2	26.16	32	41.84							59.48
4	0-5	10YR 6/2	10YR 3/2	30.16	32	37.84	2.5	0.82	67.1	58.82			
					Migajón arcilloso								
	5-15	10YR 6/2	10YR 3/2	29.8	29.64	40.56							74.39
					Migajón arcilloso								
	15-25	10YR 6/1	10YR 3/3	25.44	34	40.56							69.48
5	25-35	10YR 6/2	10YR 3/2	27.8	27.64	44.56	2.1	0.68	68.0	61.38			
					Migajón arcilloso								
	35-45	10YR 6/2	10YR 3/2	31.44	22.72	45.84							-----
					Migajón arcilloso								
	0-5	10YR 6/2	10YR 3/2	30.72	26	43.28							63.57
6	5-15	10YR 6/3	10YR 3/3	39.44	38	22.56	2.5	0.82	67.1	63.74			
					Migajón arcilloso								
	15-25	10YR 6/3	10YR 3/2	37.8	41.2	21							62.81
					Migajón arcilloso								
	25-35	10YR 6/2	10YR 3/2	25.44	36	38.56							66.41
7	35-45	10YR 6/2	10YR 3/2	24.72	30	45.28	2.5	0.82	67.1	63.85			
					Migajón								

Cuadro 6. Propiedades físicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo (“Continuación”).

Sitio	Prof. (cm)	Color seco	Color húmedo	Textura			D.R	D.A	Espacio poroso	Retención de humedad
				Arcilla	limo	arena				
				-----%-----			(g/cm ³)		-----%-----	
5	0-5	10YR 6/2	10YR 3/1	33.44	36	30.56	2.5	0.88	64.1	50.89
	5-15	10YR 6/2	10YR 3/1	43.44	Migajón arcilloso 28	28.56				
	15-25	10YR 4/1	10YR 3/1	34.16	Arcilloso 34	31.84				
	25-35	10YR 6/2	10YR 3/2	44.16	Migajón arcilloso 36.06	19.84				
	35-45	10YR 6/2	10YR 3/2	45.44	Arcilloso 34	20.56				
6	0-5	10YR 6/2	10YR 3/2	48.16	Arcilloso 36	15.84	2.2	0.88	59.3	53.85
	5-15	10YR 7/1	10YR 3/2	51.44	Arcilloso 34	14.56				
	15-25	10YR 6/2	10YR 3/2	47.44	Arcilloso 34	18.56				
	25-35	10YR 7/2	10YR 3/2	40.16	Arcilloso 35.28	24.56				
	35-45	10YR 6/2	10YR 3/1	38.16	Arcilloso 36	25.84				

Prof: profundidad; D.A: densidad aparente; D.R: densidad real

9.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

En el Cuadro 7 puede observarse de manera general que los suelos estudiados son salinos y que las sales principales son los cloruros y los sulfatos, las cuales afectan las propiedades del suelo como el pH y conductividad eléctrica. Un análisis más detallado de cada parámetro se presenta más adelante.

Cuadro 7. Propiedades químicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo. Temporada húmeda.

SITIO	PROF (cm)	pH	M.O (%)	C.E (dS/m ⁻)	C.I.C	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	0-5	8.39	6.19	25.40	56.7	0.30	0.59	11.5	8.86	1.08	9.56	1.89	2.97
	5-15	8.04	4.84	30.55	40.4	0.12	0.12	9.09	6.08	0.74	11.8	6.09	5.38
	15-25	8.20	4.98	23.85	50.2	0.25	0.25	9.28	0.19	0.97	21.23	7.17	6.29
	25-35	8.00	3.36	25.80	48.7	0.12	0.24	9.35	0.15	0.57	16.14	1.15	0.72
	35-45	8.07	3.31	31.85	45.2	0.10	0.23	5.85	0.17	0.96	3.75	2.11	2.88
2	0-5	8.47	8.34	21.9	41	0.33	0.65	9.10	2.68	1.54	11.23	3.15	4.91
	5-15	8.52	5.51	14.8	41.2	0.13	0.32	6.13	0.25	1.86	31.38	4.54	5.65
	15-25	8.36	4.3	14.45	34.9	0.12	0.36	3.66	0.24	0.32	9.16	1.32	2.26
	25-35	8.28	4.03	19.85	31	0.12	0.30	3.79	0.21	0.61	0.87	0.85	2.14

Cuadro 7. Propiedades químicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo. Temporada húmeda. (“Continuación”)

SITIO	PROF (cm)	pH	M.O (%)	C.E (dS/m ⁻¹)	C.I.C	-----(meq/100g)-----							
						CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
3	0-5	8.1	7.7	32.55	52.3	0.00	0.86	18.98	0.10	2.54	10.09	4.27	3.66
	5-15	8.12	3.6	36.95	24.8	0.00	0.87	22.54	0.16	2.16	16.22	2.83	5.94
	15-25	7.97	2.8	28.8	24.7	0.00	0.32	13.35	0.15	1.29	13.15	2.01	3.54
	25-35	7.8	2.1	24.2	32.8	0.00	0.23	10.44	0.16	1.26	7.81	1.91	3.06
	35-45	7.97	-----	31.7	-----	0.00	0.20	10.72	3.37	0.35	9.02	0.38	0.97
4	0-5	8.4	5.21	37.25	40.5	0.26	0.64	13.82	8.57	0.79	14.18	6.00	7.25
	5-15	8.04	2.4	18.7	33.1	0.00	0.30	3.82	1.73	0.52	9.45	0.87	0.73
	15-25	8.21	2.52	17	37	0.00	0.31	3.61	1.88	0.74	4.66	1.26	2.79
	25-35	8.29	2.19	19.8	27.5	0.00	0.35	3.35	2.30	1.16	18.54	7.01	3.39
	35-45	8.27	1.51	11.45	41.8	0.00	0.21	3.15	0.20	0.22	9.37	0.24	0.53
5	0-5	7.89	3.68	30.6	44.1	0.00	0.63	20.19	2.95	1	5.86	2.25	2.72
	5-15	8.01	2.52	21.5	40	0.00	0.53	10.36	0.22	2.33	5.21	2.66	2.69
	15-25	7.76	2.18	10.55	34.2	0.00	0.40	4.13	0.14	0.71	4.45	2.03	2.54
	25-35	7.68	2.01	9.55	32.5	0.00	0.23	2.70	0.10	0.35	5.06	1.25	1.11
	35-45	8.05	1.85	7.45	42	0.00	0.35	2.44	0.06	0.72	7.57	2.07	2.12
6	0-5	8.05	4.36	16.8	69.2	0.00	0.61	12.10	0.27	0.48	22.21	1.27	3.41
	5-15	8.16	2.69	16.7	37.0	0.00	0.76	9.06	0.29	3.44	19.86	4.00	6.79
	15-25	7.98	2.69	16.4	34.5	0.00	0.63	7.33	0.26	1.46	23.19	1.48	1.84
	25-35	7.5	2.68	16.15	28.4	0.00	0.24	6.58	0.18	1.33	15.00	2.03	3.01
	35-45	7.63	1.18	16.1	34.8	0.00	0.41	6.55	0.18	0.47	13.55	1.86	2.12

PROF: profundidad; M.O: materia orgánica; C.E: conductividad eléctrica; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico

En el análisis de correlación entre los parámetros (Anexo 1) se obtuvo que la conductividad eléctrica es el factor con mayor número de relaciones con respecto a los demás, las cuales fueron positivas a excepción de la que guarda con la profundidad. En el Cuadro 8 se presentan las correlaciones más importantes encontradas.

Cuadro 8. Correlación de Pearson entre parámetros. Temporada húmeda.

PARAMETROS	r	p	PARAMETROS	r	p
Ca ²⁺ – Cl ⁻	0.8048	0.0000	CIC – SO ₄ ²⁻	0.8640	0.0000
Ce – CIC	0.8088	0.0000	Cl ⁻ – K ⁺	0.7847	0.0000
Ce – Cl ⁻	0.8635	0.0000	Cl ⁻ – Mg ²⁺	0.7745	0.0000
Ce – MO	0.8439	0.0000	Cl ⁻ – MO	0.8221	0.0000
Ce – Profundidad	-0.7398	0.0000	Cl ⁻ – Na ⁺	0.8636	0.0000
Ce – K ⁺	0.7285	0.0000	Cl ⁻ – SO ₄ ²⁻	0.8387	0.0000
Ce – Mg ²⁺	0.7730	0.0000	Mg ²⁺ – Na ⁺	0.7713	0.0000
Ce – MO	0.8439	0.0000	Mg ²⁺ – SO ₄ ²⁻	0.8212	0.0000
Ce – Na ⁺	0.9455	0.0000	MO – Na ⁺	0.8777	0.0000
Ce – SO ₄ ²⁻	0.8839	0.0000	MO – SO ₄ ²⁻	0.8346	0.0000
CIC – Cl ⁻	0.8240	0.0000	Na ⁺ – SO ₄ ²⁻	0.9195	0.0000
CIC – Mg ²⁺	0.8657	0.0000			
CIC – Na ⁺	0.8383	0.0000			

r: coeficiente de varianza; p ≤ 0.05

En el Cuadro 9 se aprecian los resultados de la época de estiaje y se observan de forma general valores altos de conductividad eléctrica, cloruros, sulfatos, sodio y magnesio.

Cuadro 9. Propiedades químicas de los suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo. Temporada de estiaje.

SITIO	PROF (cm)	pH	M.O. (%)	C.E. (dS/m ⁻¹)	C.I.C	-----(meq/100g)-----							
						CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	0-5	8.45	2.80	96.78	42.5	0.06	0.24	21.12	14.09	6.41	23.60	1.87	10.74
	5-15	8.43	2.80	51.62	26	0.05	0.05	6.32	6.85	3.29	11.11	1.46	3.67
	15-25	8.13	2.8	24.14	26	0.04	0.08	3.37	3.66	2.25	8.50	0.99	2.64
	25-35	8.16	1.97	36.09	25.5	0.04	0.02	3.61	3.14	2.34	11.87	1.24	2.09
	35-45	8.31	1.48	41.26	21	0.09	0.00	5.19	3.14	2.33	10.19	1.70	3.55
2	0-5	8.6	5.59	103.55	45	0.06	0.09	18.06	25.81	4.25	42.29	1.54	14.63
	5-15	8.83	3.62	22.92	26	0.05	0.09	2.07	3.37	0.78	8.28	0.88	1.28
	15-25	8.56	2.30	16.50	26.5	0.04	0.07	1.33	2.22	0.47	4.79	0.71	1.48
	25-35	8.4	1.64	15.64	26	0.04	0.06	0.50	3.12	0.15	0.39	0.17	0.10
3	0-5	8.1	6.91	105.88	60	0.18	0.09	53.68	23.12	11.59	41.97	6.11	33.74
	5-15	8.28	3.29	69.50	41.5	0.05	0.16	19.84	8.29	4.15	19.60	2.25	4.05
	15-25	8.38	2.30	47.62	43	0.06	0.16	11.81	7.32	3.98	21.33	1.66	4.35
	25-35	8.33	2.30	47.07	26.5	0.05	0.08	9.27	7.24	2.74	11.23	1.25	3.57
	35-45	8.2	2.30	47.57	35.5	0.05	0.10	10.20	10.31	3.180	18.75	1.69	3.60
4	0-5	8.39	8.26	146.53	53.17	0.12	0.34	41.46	28.82	4.64	60.22	3.12	15.65
	5-15	8.28	2.66	61.13	34.67	0.05	0.13	13.72	8.62	1.40	20.02	1.71	5.94
	15-25	8.15	2.55	43.45	35.83	0.04	0.17	14.67	7.99	0.66	17.48	1.36	1.80
	25-35	8.23	2.33	43.21	36.67	0.07	0.21	19.95	15.14	0.61	19.72	1.44	2.86
	35-45	8.24	1.88	36.01	31.33	0.15	0.17	12.78	10.58	0.54	15.22	1.44	2.07
5	0-5	8.42	5.66	117.66	66.5	0.15	0.37	29.64	29.48	4.06	48.97	1.17	34.58
	5-15	8.1	2.99	35.14	34.5	0.06	0.16	18.97	14.67	1.04	11.07	1.35	3.86
	15-25	8.4	2.49	33.62	36	0.07	0.17	4.77	12.09	0.87	13.37	1.70	9.19
	25-35	8.38	2.16	34.22	32.5	0.14	0.07	5.61	9.38	0.77	13.13	1.79	11.01
	35-45	8.22	1.83	21.39	39	0.07	0.20	2.98	7.61	0.48	7.80	1.32	4.68
6	0-5	8.02	4.49	102.38	50.5	0.06	0.27	25.37	20.23	2.65	26.26	1.82	22.87
	5-15	8.41	4.16	44.31	30	0.06	0.19	10.29	8.50	0.96	13.33	1.89	4.28
	15-25	8.49	2.99	29.03	30.5	0.07	0.10	5.18	9.89	0.69	10.39	1.55	7.36
	25-35	8.48	2.66	24.75	37.5	0.07	0.17	4.66	5.06	0.59	10.16	1.52	7.42
	35-45	8.25	2.49	22.92	37	0.06	0.00	2.98	6.02	0.43	3.08	1.26	3.92

PROF: profundidad; M.O: materia orgánica; C.E: conductividad eléctrica; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico

Al igual que en temporada húmeda, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los parámetros; se encontró que la conductividad eléctrica fue la variable con mayor número de relaciones con respecto a las demás, la mayoría de éstas, positivas con excepción de la profundidad, la cual fue negativa. En el siguiente cuadro se muestran las principales relaciones arrojadas por el análisis de correlación:

Cuadro 10. Correlación de parámetros. Temporada seca.

PARÁMETROS	r	p	PARÁMETROS	r	p
Ca ²⁺ — K ⁺	0.8044	0.0000	CIC— Mg ²⁺	0.8703	0.0000
Ce — Ca ²⁺	0.567	0.0013	CIC — Na ⁺	0.8347	0.0000

Cuadro 10. Correlación de parámetros. Temporada seca. (“Continuación”).

PARÁMETROS	r	p	PARÁMETROS	r	p
Ce – CIC	0.8019	0.0000	CIC – SO ₄ ²⁻	0.8599	0.0000
Ce – Cl ⁻	0.8591	0.0000	Cl ⁻ – K ⁺	0.7796	0.0000
Ce – CO ₃ ²⁻	0.4468	0.0151	Cl ⁻ – Mg ²⁺	0.7603	0.0000
Ce – HCO ₃ ⁻	0.6122	0.0004	Cl ⁻ – MO	0.8166	0.0000
Ce – K ⁺	0.7217	0.0000	Cl ⁻ – Na ⁺	0.8594	0.0000
Ce – Mg ²⁺	0.7677	0.0000	Cl ⁻ – SO ₄ ²⁻	0.8334	0.0000
Ce – MO	0.8385	0.0000	Mg ²⁺ – SO ₄ ²⁻	0.8174	0.0000
Ce – Na ⁺	0.9436	0.0000	MO – Na ⁺	0.8737	0.0060
Ce – Profundidad	-0.7281	0.0000	MO – SO ₄ ²⁻	0.8287	0.0000
Ce – SO ₄ ²⁻	0.8793	0.0000	Na ⁺ – SO ₄ ²⁻	0.9167	0.0000
CIC – Cl ⁻	0.8213	0.0000			

r: coeficiente de varianza; p ≤ 0.05

Con base en el análisis de correlación de ambas temporadas (Cuadros 8 y 10) y las concentraciones determinadas de los parámetros (Cuadros 6 y 8), se definió el orden de concentración de los aniones como: Cl⁻>SO₄²⁻> HCO₃⁻>CO₃²⁻.

Dadas estas condiciones, se estableció el siguiente orden de concentración de los cationes: temporada húmeda Na⁺>Mg²⁺>Ca²⁺>K⁺ y temporada seca Na⁺>Mg²⁺>K⁺>Ca²⁺. Con base en las concentraciones de aniones y cationes, se determino el presente orden de sales dominantes: NaCl > Na₂SO₄ > MgCl₂ > MgSO₄.

9.3.1 pH

En la Figura 5 se observa el comportamiento del pH con respecto a la profundidad en ambas temporadas. La temporada húmeda presentó con mayor claridad, una tendencia descendente del pH en el perfil, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en cuanto a profundidad. En la época de lluvias se registro un rango de 7.5 a 8.52, mientras que en época seca de 8.02 a 8.83.

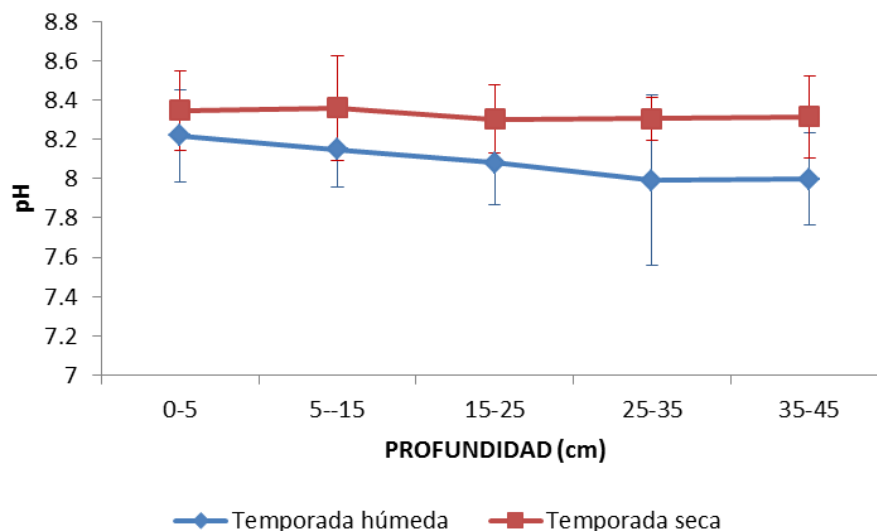


Figura 5. Valores de pH en temporada húmeda y seca de los suelos ubicados entre Taxhadó y Maguey Blanco.

A pesar de tener un comportamiento constante del pH en el perfil, el análisis de varianza arrojó diferencias significativas entre sitios, lo cual se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis estadístico para los valores de pH en los distintos sitios y épocas muestreadas en los suelos salinos de Maguey Blanco-Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR ($p=0.05$)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	pH	$p=0.004$	S2≠S3, S5,S6 S4≠S5,S6
SECA	pH	$p= 0.0034$	S2≠S1,S3, S4,S5, S6

S: sitio

Se puede observar que el sitio dos, en ambas temporadas, fue significativamente diferente según la prueba de Tukey, sin embargo en la época seca es el único sitio que presenta diferencias con respecto a los demás puntos de muestreo.

9.3.2 % MATERIA ORGÁNICA

Se obtuvieron valores de materia orgánica de 1.18 a 8.34% en temporada húmeda y de 1.481 a 8.26% en temporada seca. Como se aprecia en la Figura 6, el contenido más alto de materia orgánica correspondió a los primeros 5 cm y disminuye con la profundidad; a partir de los 15 cm se observa un comportamiento más uniforme en el descenso del contenido de la materia orgánica.

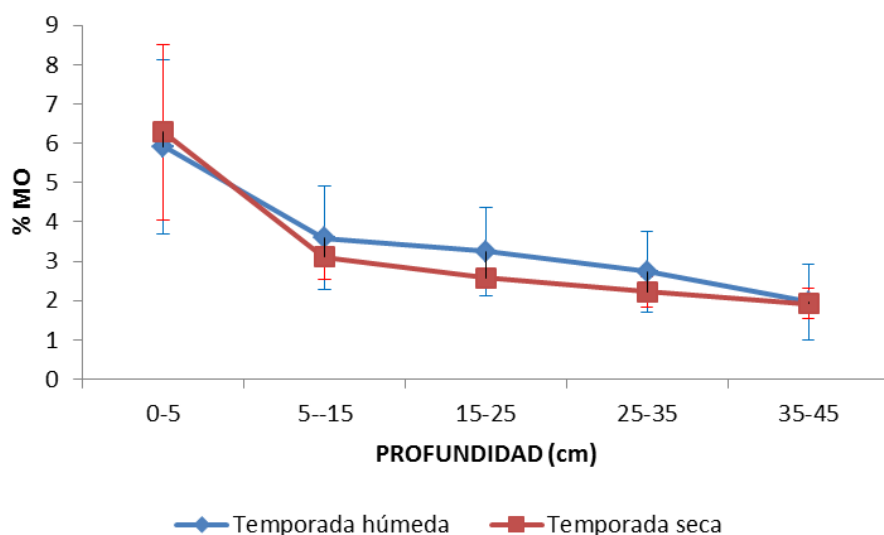


Figura 6. Contenido de Materia Orgánica en los suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

En el Cuadro 12 se muestran las diferencias significativas con respecto a la profundidad en ambas temporadas; la temporada seca presentó una diferencia significativa más fuerte. La profundidad 1 (0-5 cm) es significativamente diferente a las demás.

Cuadro 12. Análisis estadístico de los valores obtenidos del porcentaje de materia orgánica en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo las diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR ($p=0.05$)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	MO	$p= 0.0359$	-----
HUMEDA	MO	$p= 0.006$	P1≠P2,P3,P4,P5
SECA	MO	$p= 0.00$	P1≠P2,P3,P4,P5

P: profundidad

9.3.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

El rango de CIC fue ligeramente menor en época seca (21 a 66.5 meq/100g) que en temporada húmeda, tal como se aprecia en la Figura 7.

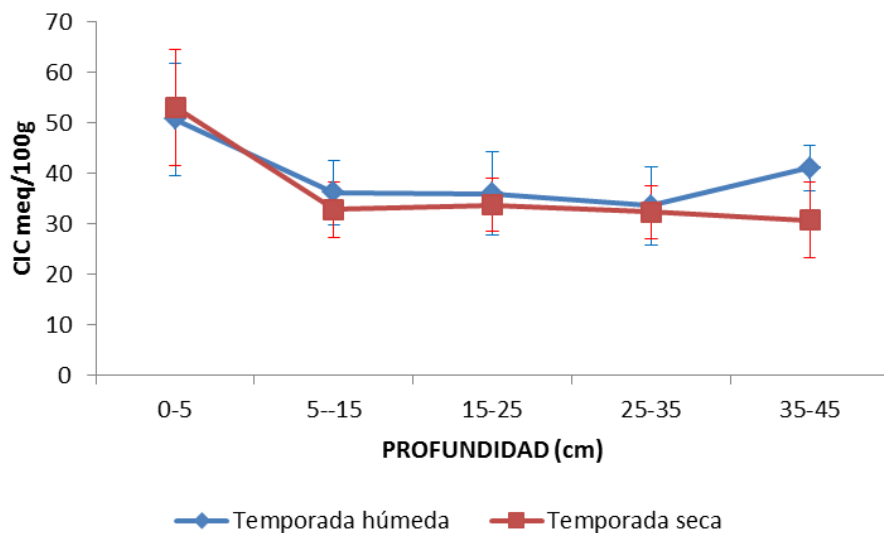


Figura 7. Capacidad de Intercambio Catiónico en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

Las concentraciones más altas correspondieron a la profundidad de 0 a 5 cm (P1), a partir de esta, se observa una disminución de la concentración de 10 hasta 30 meq/100g, es decir, se redujo aproximadamente la mitad. Después de los 15 cm, el descenso de la concentración de CIC se mantuvo constante y finalmente se apreció un ligero aumento a los 35 cm correspondientes a la temporada húmeda.

No se encontraron diferencias significativas entre sitios; por otro lado, con respecto a la profundidad si las hubo. Como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Análisis estadístico de los valores obtenidos para CIC en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	CIC	p= 0.0163	P1≠P2,P3,P4
SECA	CIC	p= 0.00	P1≠P2,P3,P4,P5

P: profundidad

9.3.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Los valores determinados para la conductividad eléctrica fueron de 7.45 a 37.25 dS/m⁻ y de 15.64 a 100.94 dS/m⁻ para temporada húmeda y seca respectivamente, lo cual indica que se trata de suelos muy fuertemente salinos. Sin embargo se registraron valores de hasta 146.53 dS/m⁻. A partir de los 15 cm de profundidad, los valores de conductividad disminuyeron considerablemente y comenzaron a ser más uniformes (Figura 8).

Se observó que los valores de conductividad en temporada seca fueron casi tres veces mayores con respecto a los de temporada húmeda y estos últimos mostraron un comportamiento más homogéneo.

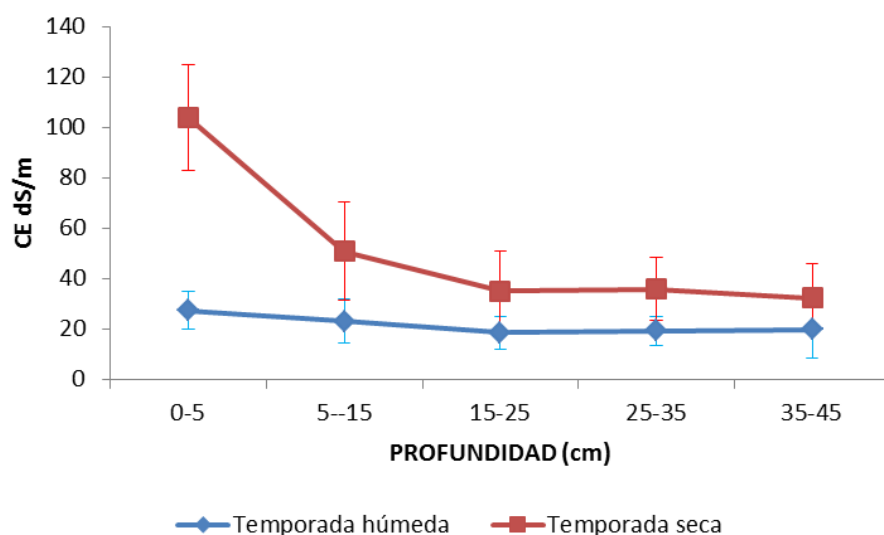


Figura 8. Valores de Conductividad eléctrica de suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

En el Cuadro 14 se observa que existió diferencia significativa con respecto a la profundidad en época seca; la P1 fue marcadamente diferente en comparación de las demás; en esta misma profundidad, se encontraron los valores más altos de la conductividad eléctrica.

Cuadro 14. Análisis estadístico de los valores obtenidos para la Conductividad Eléctrica en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo las diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	CE	p= 0.0044	S3≠S5 Y S6
SECA	CE	p= 0.00	P1≠P2,P3,P4,P5

S: sitio; P: profundidad

9.3.5 CARBONATOS (CO₃²⁻)

El intervalo encontrado para carbonatos fue de 0 a 0.33 meq/100g para temporada húmeda y 0.04 a 0.18 meq/100g para temporada seca, estas concentraciones fueron muy bajas para ambas temporadas, y se mostro un ligero decremento de esta misma con respecto a la profundidad del suelo (Figura 9). La concentración de carbonatos en la temporada húmeda fue casi el doble que la de temporada seca.

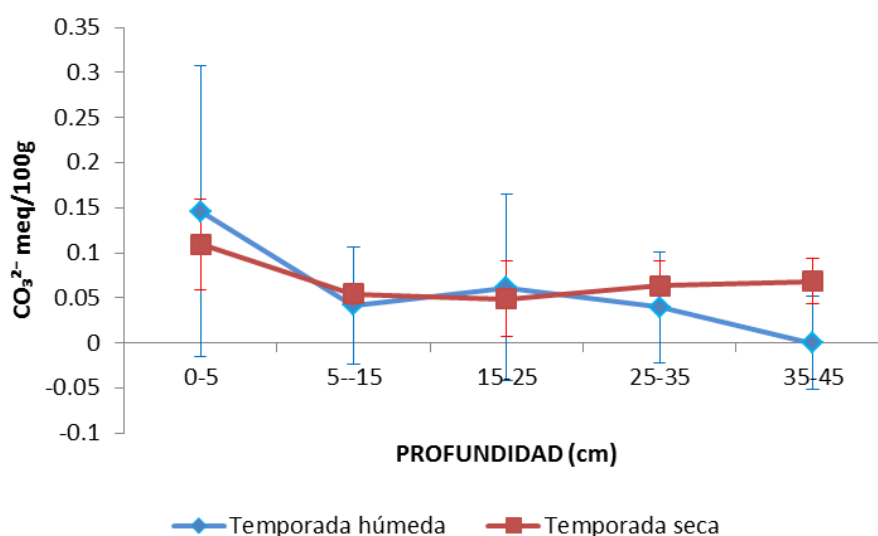


Figura 9. Concentraciones de CO₃²⁻ en suelos de Taxhado y Maguey Blanco.

El Cuadro 15 muestra que en temporada húmeda, hubo diferencias significativas entre los sitios uno y dos con respecto a los demás.

Cuadro 15. Análisis estadístico de los valores obtenidos para carbonatos en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo las diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	CO ₃ ²⁻	p= 0.005	S1≠S3, S5, S6 S2≠S3, S5, S6

S: sitio

No existieron diferencias significativas con respecto a la profundidad en ambas temporadas, por lo que el comportamiento fue uniforme.

9.3.6 BICARBONATOS (HCO₃⁻)

El intervalo de los bicarbonatos fue de 0.12 a 0.87 meq/100g temporada húmeda y 0 a 0.37 meq/100g temporada seca; en la Figura 10 se observó una disminución en concentración de este ión a medida que aumento la profundidad; por otro lado, las concentraciones más altas se encontraron en la profundidad 0-5 cm en ambas temporadas; sin embargo, los valores de temporada húmeda fueron visiblemente altos, más del doble con respecto a los de temporada seca que presentaron un comportamiento más uniforme.

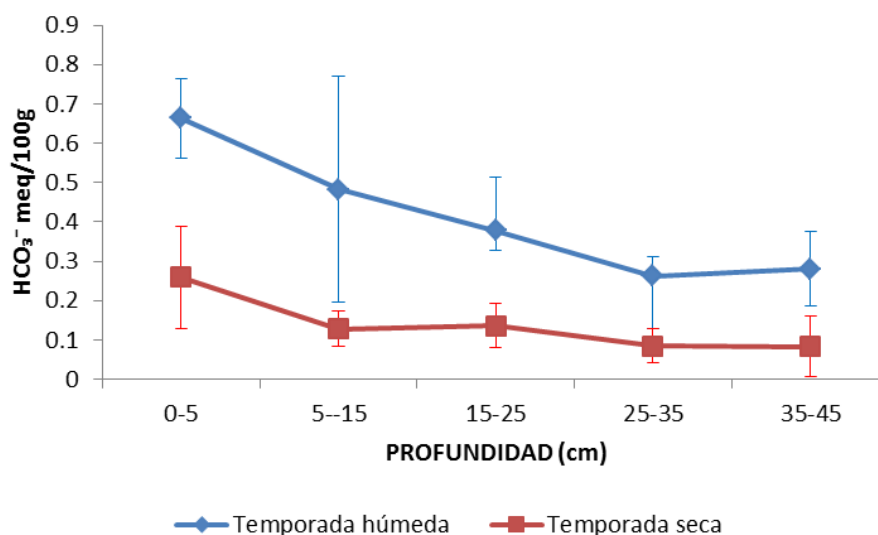


Figura 10. Concentración de HCO₃⁻ de suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

En el Cuadro 16 se muestra que hubo diferencia significativa para ambas temporadas con respecto a la profundidad, donde las primeras dos profundidades fueron diferentes con respecto a las siguientes tres.

Cuadro 16. Análisis estadístico de los valores obtenidos de bicarbonatos en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Solo se muestran las diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	HCO ₃ ⁻	p= 0.0013	P1≠P3,P4,P5
SECA	HCO ₃ ⁻	p= 0.049	-----

P: profundidad

9.3.7 CLORUROS (Cl⁻)

Los intervalos encontrados para este ión fueron de 2.44 a 22.54 meq/100g en época húmeda y 0.50 a 53.68 meq/100g para época de estiaje. Las concentraciones más altas se reportaron de los 0 a los 5 cm en ambas temporadas; los valores de la época seca fueron el doble de

los de la temporada húmeda; a partir de los 15 cm se observó un comportamiento similar en el descenso de las concentraciones (Figura 11).

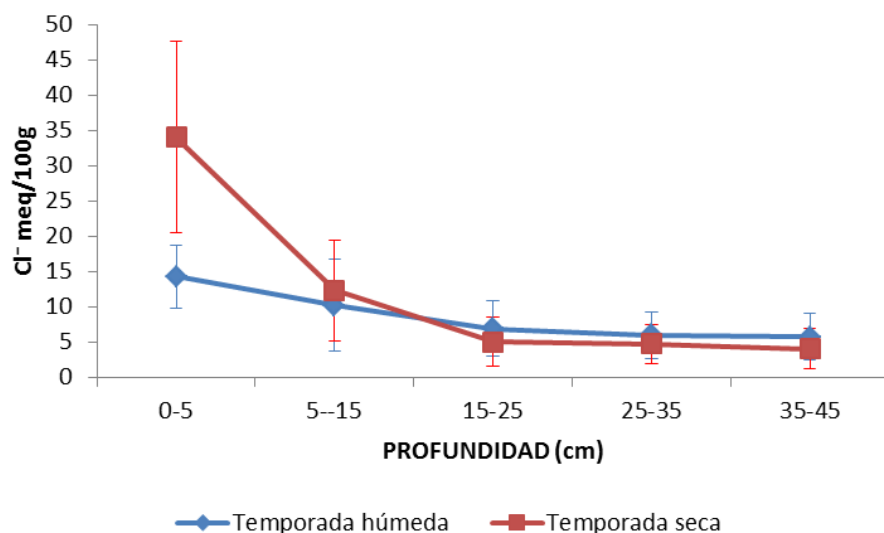


Figura 11. Concentración de Cl⁻ en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

Se encontraron diferencias significativas de las concentraciones correspondientes a la profundidad 1 con respecto a las demás.

Cuadro 17. Análisis de varianza de los valores obtenidos para cloruros en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se presentan solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	Cl⁻	p= 0.0378	S3≠S4
HÚMEDA	Cl⁻	p= 0.0158	P1≠P4,P5
SECA	Cl⁻	p= 0.0001	P1≠P2,P3,P4,P5

S: sitio; P: profundidad

9.3.8 SULFATOS (SO₄²⁻)

La concentración de sulfatos fue de 0.06 a 8.86 meq/100g en temporada húmeda y 2.22 a 29.48 meq/100g en temporada seca; los valores más altos se encontraron en los primeros 5 cm y disminuyeron al aumentar la profundidad en ambas temporadas; como se observa en la Figura 12, la época húmeda presentó mayor uniformidad que la seca. La concentración de sulfatos, en los primeros 5 cm, en la temporada seca fue más del triple con respecto a la temporada húmeda.

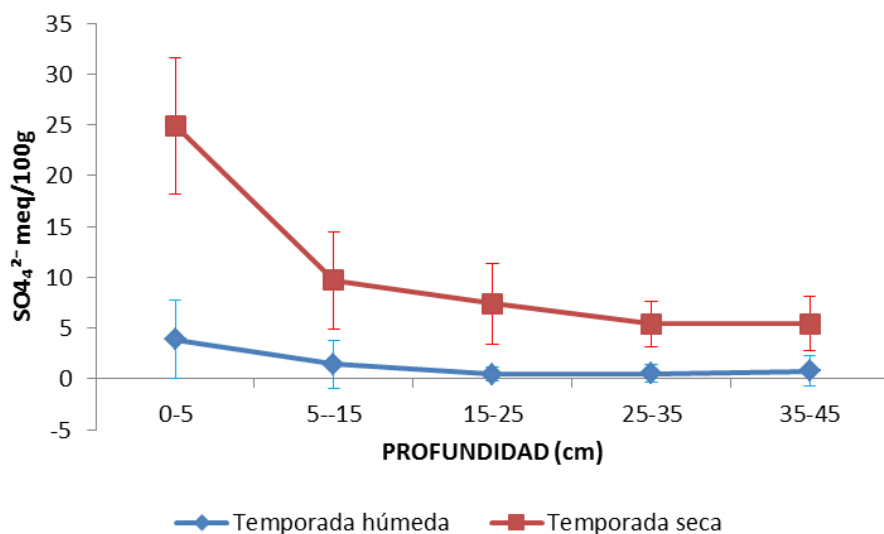


Figura 12. Concentración de SO₄²⁻ en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la profundidad en la época seca, donde la profundidad 0 a 5 cm fue diferente con respecto a las otras profundidades.

Cuadro 18. Análisis de varianza de los valores obtenidos de sulfatos en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se presentan solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
SECA(P)	SO ₄ ²⁻	p= 0.00	P1≠P2,P3,P4,P5

P: profundidad

9.3.9 POTASIO (K⁺)

Los valores determinados para potasio fueron de 0.22 a 3.44 meq/100g en temporada húmeda y 0.15 a 11.59meq/100g en temporada seca. Los valores de temporada seca fueron los mayores, más del triple en comparación de la temporada húmeda, esto en los primeros 5 cm; a partir de 15 cm de profundidad la disminución fue uniforme (Figura 13).

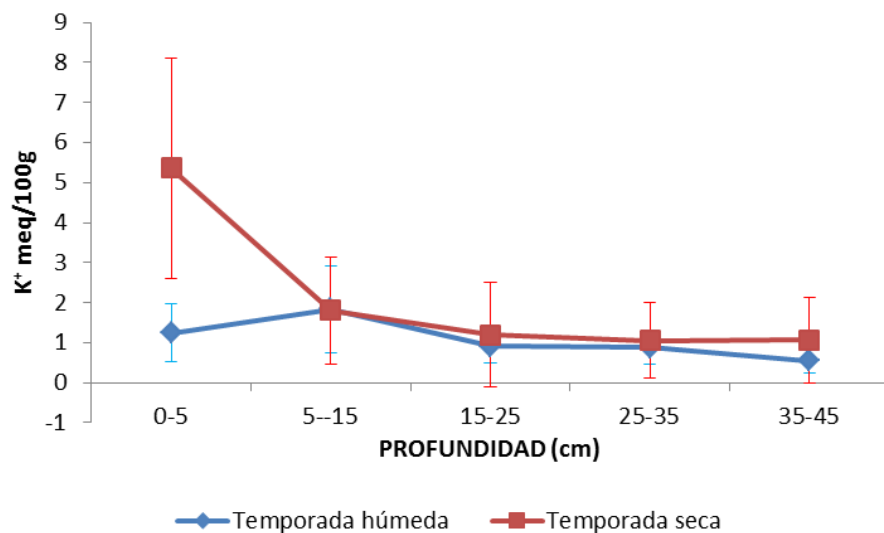


Figura 13. Concentración de K⁺ de suelos de Taxhado y Maguey Blanco.

Se encontraron diferencias significativas con respecto a la profundidad en ambas temporadas y la diferencia más fuerte se mostro en los primeros 5 cm de profundidad.

Cuadro 19. Análisis de varianza de los valores obtenidos de potasio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (P=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HÚMEDA	K ⁺	p= 0.0347	P2≠P5
SECA	K ⁺	p= 0.0284	S3≠S6
SECA	K ⁺	p= 0.0018	P1≠P2,P3,P4,P5

S: sitio; P: profundidad

9.3.1.0 SODIO (Na⁺)

El rango de las concentraciones de sodio fue de 0.87 a 31.38 meq/100g en época húmeda y 0.39 a 60.22 meq/100g en época de estiaje. Las concentraciones de sodio en temporada seca en los primeros 5 cm fueron casi el doble en comparación con la temporada húmeda y en esta misma profundidad se registraron las concentraciones más altas de sodio; apartir de los 15 cm, las concentraciones disminuyeron ligera y uniformemente (Figura 14).

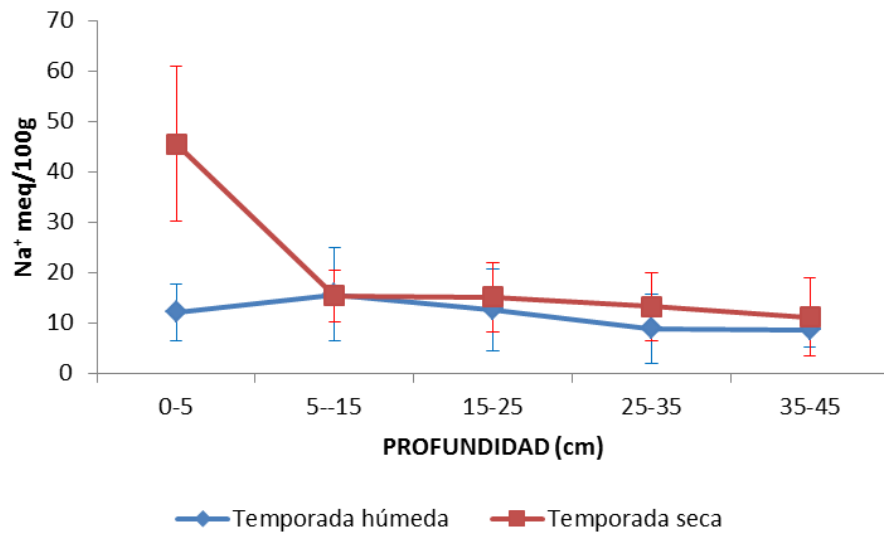


Figura 14. Concentración de Na⁺ en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

Se tuvo una diferencia significativa en temporada seca con respecto a la profundidad P1 (0-5 cm).

Cuadro 20. Análisis de varianza de los valores obtenidos de sodio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se muestran solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARAMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
SECA	Na ²⁺	p= 0.00	P1≠P2,P3,P4,P5

P: profundidad

9.3.1.1 CALCIO (Ca²⁺)

El contenido de calcio fue de 0.24 a 7.17 meq/100g en temporada húmeda y 0.17 a 6.11 meq/100g en seca. En la Figura 15 se observa que hubo un comportamiento ligeramente descendente de la concentración al aumentar la profundidad en ambas temporadas; la concentración de calcio en temporada húmeda fue ligeramente mayor que en temporada seca, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas.

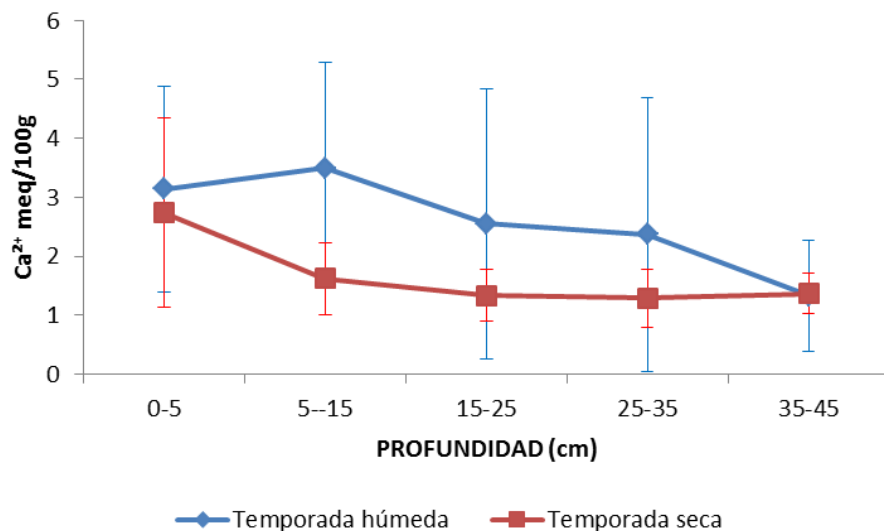


Figura 15. Concentración de Ca²⁺ en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

Cuadro 21. Análisis de varianza de los valores obtenidos de calcio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Maguey Blanco y Taxhadó. Se presentan solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
SITIO	Ca ²⁺	----	S2≠S3

S: sitio

9.3.1.2 MAGNESIO (Mg²⁺)

Los valores determinados para magnesio fueron de 0.53 a 7.25 meq/100g para época de lluvia y de 0.10 a 34.58 meq/100g para seca. La concentración de magnesio de la temporada seca, en los primeros 5 cm, fue cinco veces mayor que en húmeda; a partir de los 15 cm la cantidad de magnesio se mantuvo uniforme, como se observa en la Figura 16.

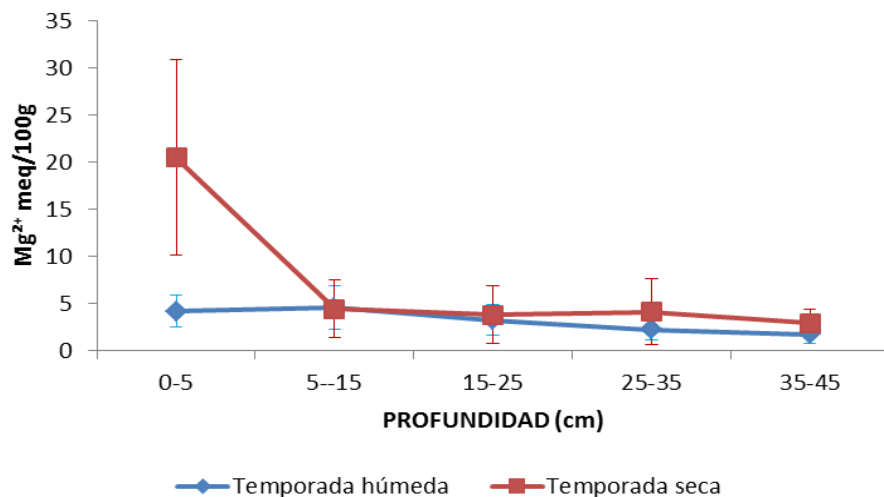


Figura 16. Concentración de Mg²⁺ en suelos de Taxhadó y Maguey Blanco.

Se observó diferencia significativa en la temporada seca con respecto a la profundidad P1 (0-5 cm).

Cuadro 22. Análisis de varianza de los valores obtenidos de magnesio en las diferentes épocas y sitios muestreados de los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco. Se presentan solo diferencias significativas.

TEMPORADA	PARÁMETRO	ANOVA DE UN FACTOR (p=0.05)	PRUEBA DE TUKEY (95% de confianza)
HUMEDA	Mg ²⁺	p= 0.0368	-----
SECA	Mg ²⁺	p= 0.00	P1≠P2,P3,P4,P5

P: profundidad

9.4 DESCRIPCIÓN ECOLÓGICA

Se recolectaron un total de doce especies (Cuadro 23), comprendidas en siete familias, asociadas a suelos salinos, donde se encontró que *Ranunculus cymbalaria* solo se presentó en época de estiaje, mientras que *Ambrosia psilostachya* sólo en época de lluvias.

Cuadro 23. Presencia de especies por temporada en suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, Hidalgo.

ESPECIE	FAMILIA	HÚMEDA	SECA
<i>Ambrosia psilostachya</i> DC.	ASTERACEAE	1	0
<i>Atriplex coulteri</i> (Moq.) D. Dietr	CHENOPODIACEAE	1	1
<i>Atriplex suberecta</i> Verd.	CHENOPODIACEAE	1	1
<i>Chenopodium dessicatum</i> A. N.	CHENOPODIACEAE	1	1
<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	CHENOPODIACEAE	1	1
<i>Chenopodium fremontii</i> S. W.	CHENOPODIACEAE	1	1
<i>Cynodon dactylon</i> (L)P.	POACEAE	1	1
<i>Heliotropium curassavicum</i> L.	BORAGINACEAE	1	1
<i>Hordeum jubatum</i> L.	POACEAE	1	1
<i>Ranunculus cymbalaria</i> Pursh.	RANUNCULACEAE	0	1
<i>Solanum rostratum</i> Dunal	SOLANACEAE	1	1
<i>Sergularia marina</i> (L.) Gris.	CARYOPHYLLACEAE	1	1

1: presencia

0: ausencia

En el Anexo 2 se presenta la descripción biológica de cada una de las especies encontradas en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco.

9.4.1 VALOR DE IMPORTANCIA

Se calcularon los valores de frecuencia relativa, densidad relativa y dominancia relativa, de cada especie, para así determinar su índice de valor de importancia (IVI). En los Cuadros 24 y 25 se muestran los valores de importancia obtenidos para los componentes de la cubierta vegetal de los sitios estudiados.

Cuadro 24. Valor de importancia de las especies vegetales encontradas en el área de estudio. Temporada húmeda.

SITIO	Especie	No. Ind.	pi	Densidad rel.	Dominancia rel.	Frecuencia rel.	IVI
1	<i>Atriplex suberecta</i>	23	0.575	57.50	64.51	26.67	148.68
	<i>Heliotropium curassavicum</i>	3	0.075	7.50	2.33	20.00	29.83
	<i>Cynodon dactylon</i>	9	0.225	22.50	25.18	26.67	74.35
	<i>Chenopodium fremontii</i>	2	0.050	5.00	3.37	13.33	21.71
	<i>Solanum rostratum</i>	3	0.075	7.50	4.60	13.33	25.43
	Total	40		100	100	100	300
2	<i>Cynodon dactylon</i>	7	0.3182	31.8181	53.2527	28.5714	113.64
	<i>Hordeum jubatum</i>	3	0.1364	13.6363	1.8134	14.2857	29.74
	<i>Chenopodium berlandieri</i>	2	0.0909	9.0909	4.3177	7.1428	20.55
	<i>Chenopodium dessoratum</i>	7	0.3182	31.8181	35.1468	28.5714	95.54
	<i>Solanum rostratum</i>	1	0.0455	4.5454	2.3028	7.1428	13.99
	<i>Ambrosia psilostachya</i>	2	0.0909	9.0909	3.1663	14.2857	26.54
	Total	22		100	100	100	300
3	<i>Atriplex suberecta</i>	15	0.2206	22.0588	22.1556	28.5714	72.79
	<i>Cynodon dactylon</i>	9	0.1324	13.2352	2.6347	21.4285	37.30
	<i>Ambrosia psilostachya</i>	9	0.1324	13.2352	5.1976	21.4285	39.86
	<i>Atriplex coulteri</i>	35	0.5147	51.4705	70.0119	28.5714	150.05
	Total	68		100	100	100	300
4	<i>Atriplex suberecta</i>	7	0.0737	7.3684	24.1433	14.2857	45.80
	<i>Heliotropium curassavicum</i>	2	0.0211	2.1052	2.9305	4.7619	9.80
	<i>Spergularia marina</i>	47	0.4947	49.4736	29.8918	19.0476	98.41
	<i>Cynodon dactylon</i>	16	0.1684	16.8421	13.0748	19.0476	48.96
	<i>Hordeum jubatum</i>	6	0.0632	6.3157	2.8403	9.5238	18.68
	<i>Chenopodium berlandieri</i>	12	0.1263	12.6315	19.5221	14.2857	46.44
	<i>Chenopodium dessoratum</i>	1	0.0105	1.0526	4.5085	4.7619	10.32
	<i>Chenopodium fremontii</i>	3	0.0316	3.1578	2.4120	9.5238	15.09
	<i>Ambrosia psilostachya</i>	1	0.0105	1.0526	0.6762	4.7619	6.49
	Total	95		100	100	100	300
5	<i>Atriplex coulteri</i>	2	1	100	100	100	300
	Total			100	100	100	300
6	<i>Cynodon dactylon</i>	10	1	100	100	100	300
	Total	10		100	100	100	300

pi= abundancia proporcional (n_i/N ; n_i = No. de individuos de la especie i y N = No. total de individuos en la muestra). rel= relativa IVI= Índice de Valor de Importancia

Cuadro 25. Valor de importancia de las especies vegetales encontradas en el área de estudio. Temporada seca.

SITIO	Especie	No. Ind.	pi	Densidad rel.	Dominancia rel.	Frecuencia rel.	IVI
1	<i>Hordeum jubatum</i>	40	0.3738	37.38	41.7338	33.3346	112.45
	<i>Chenopodium dessicatum</i>	38	0.3551	35.51	34.0805	33.3346	102.93
	<i>Spergularia marina</i>	2	0.0187	1.86	4.2031	6.6645	12.73
	<i>Heliotropium curassavicum</i>	2	0.0187	1.86	2.014	6.6645	10.54
	<i>Atriplex suberecta</i>	25	0.2336	23.36	17.9684	20.0016	61.33
	Total	107		100	100	100	300
2	<i>Hordeum jubatum</i>	49	0.6282	62.8205	67.0693	42.8592	172.75
	<i>Chenopodium berlandieri</i>	27	0.3462	34.6153	30.7732	42.8582	108.25
	<i>Ranunculus cymbalaria</i>	1	0.0128	1.282	1.5533	7.1407	9.98
	<i>Solanum rostratum</i>	1	0.0128	1.282	0.604	7.1407	9.03
	Total	78		100	100	100	300
3	<i>Atriplex coulteri</i>	45	0.4369	43.6893	45.2666	35.2937	124.25
	<i>Hordeum jubatum</i>	5	0.0485	4.8543	7.384	17.6478	29.89
	<i>Chenopodium dessicatum</i>	3	0.0291	2.9126	2.84	11.764	17.52
	<i>Chenopodium berlandieri</i>	50	0.4854	48.5436	44.5092	35.2921	128.34
	Total	103		100	100	100	300
4	<i>Spergularia marina</i>	49	0.3311	33.1081	37.8616	25	95.97
	<i>Hordeum jubatum</i>	60	0.4054	40.5405	29.0326	33.3333	102.91
	<i>Chenopodium berlandieri</i>	4	0.0270	2.7027	3.9432	8.3333	14.98
	<i>Chenopodium fremontii</i>	26	0.1757	17.5676	18.8279	20.8333	57.23
	<i>Heliotropium curassavicum</i>	9	0.0608	6.0811	10.3347	12.5	28.92
	Total	148		100	100	100	300
5	<i>Atriplex coulteri</i>	8	0.0530	5.298	11.0309	5.8823	22.21
	<i>Spergularia marina</i>	25	0.1656	16.5562	16.697	23.5294	56.78
	<i>Hordeum jubatum</i>	53	0.3510	35.0993	31.8812	29.4117	96.39
	<i>Chenopodium berlandieri</i>	27	0.1788	17.8807	13.8884	5.8823	37.65
	<i>Chenopodium fremontii</i>	19	0.1258	12.5827	11.8363	17.647	42.07
	<i>Cynodon dactylon</i>	19	0.1258	12.5827	14.6659	17.647	44.90
	Total	151		100	100	100	300
6	<i>Cynodon dactylon</i>	10	1	100	100	100	300
	Total	10		100	100	100	300

pi= abundancia proporcional (n_i/N ; n_i = No. de individuos de la especie i y N = No. total de individuos en la muestra). rel= relativa IVI= Índice de Valor de Importancia

Se determinó que para la temporada húmeda, las cinco especies dominantes en orden descendente fueron: *Cynodon dactylon*, *Atriplex coulteri*, *Atriplex suberecta*, *Chenopodium dessicatum* y *Ambrosia psilostachya*; así mismo, en temporada seca se obtuvo: *Hordeum jubatum*, *Chenopodium berlandieri*, *Spergularia marina*, *Cynodon dactylon* y *Atriplex coulteri*. En la Figura 17, se muestra el comportamiento de la dominancia de las especies ubicadas en el área y por ende un estimado de su intervalo de tolerancia salina.

INDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA

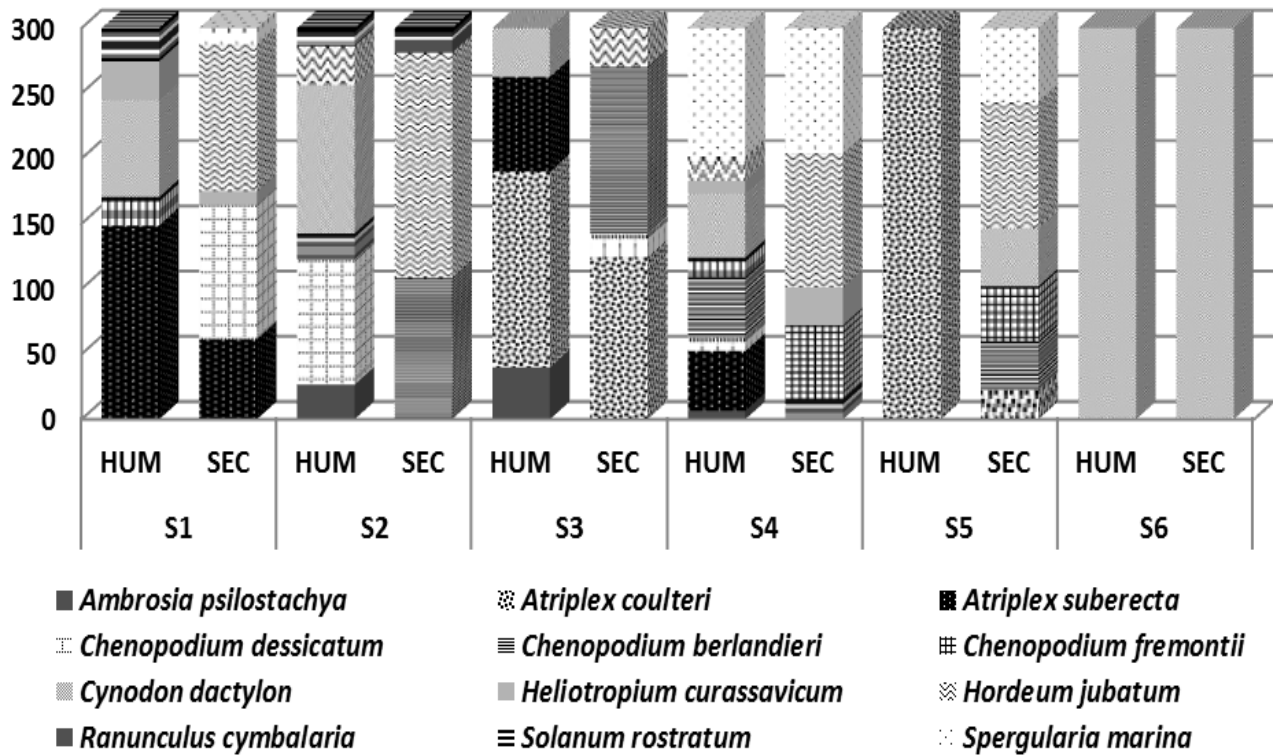


Figura 17. Distribución anual de las especies vegetales presentes en los suelos salinos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, Hidalgo.

Con el fin de escudriñar que especies están más relacionadas con los parámetros físicos y químicos de los suelos de la zona, se hizo un análisis de correlación entre las variables evaluadas en los suelos y las de la vegetación (Cuadro 26). En temporada húmeda hubo un mayor número de relaciones directas que en época seca.

Los factores que mejor se relacionaron con las especies biológicas establecidas fueron calcio, potasio y pH para ambas temporadas; sin embargo en temporada húmeda hubo relación con cloruros y sulfatos, mientras que en seca la hubo con bicarbonatos.

Cuadro 26. Correlaciones parámetro-vegetación ($p \leq 0.05$).

TEMPORADA HÚMEDA			TEMPORADA SECA		
PARÁMETROS	r	p	PARÁMETROS	r	p
<i>Solanum rostratum</i> - Ca^{2+}	0.9506	0.0036	<i>Atriplex coulteri</i> - Ca^{2+}	0.8851	0.019
<i>Atriplex subercta</i> - Ca^{2+}	0.8645	0.0263	<i>Atriplex coulteri</i> - K^+	0.8442	0.0345
<i>Atriplex coulteri</i> - Cl^-	0.91	0.0118	<i>Ch. Fremontii</i> - HCO_3^-	0.8709	0.0239

Cuadro 26. Correlaciones parámetro-vegetación ($p \leq 0.05$). “Continuación”

TEMPORADA HÚMEDA			TEMPORADA SECA		
<i>Ch. denticatum-pH</i>	0.8868	0.0185	<i>Ranunculus c.-pH</i>	0.8841	0.0194
<i>Ch. fremontii-K⁺</i>	-0.8285	0.0416	<i>Solanum rostratum-pH</i>	0.8841	0.0194
<i>Ch. fremontii-SO₄²⁻</i>	0.9071	0.0126			
<i>Heliotropium c. - SO₄²⁻</i>	0.9782	0.0007			

r: coeficiente de varianza; p ≤ 0.05

9.4.2 ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Con los datos de vegetación se calcularon los siguientes índices de diversidad: Índice de Margalef (riqueza específica), Índice de Simpson (λ) e Índice de Shannon-Wiener (H') (Cuadro 27).

Cuadro 27. Índices de Diversidad de la vegetación presente en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, para ambas temporadas.

SITIO	MARGALEF		SIMPSON (λ)		SHANON- WIENER (H')	
	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA
1	1.08	0.86	0.40	0.32	1.19	1.22
2	1.62	0.69	0.91	0.51	1.58	0.77
3	0.71	0.65	0.35	0.43	1.21	0.96
4	1.76	0.80	0.30	0.31	1.56	1.31
5	0.69	1.00	1.00	0.75	0.00	1.65
6	0	0	1.00	1.00	0.00	0.00

El sitio cuatro (Cuadro 27) en temporada húmeda fue el de mayor riqueza específica, mientras que en temporada seca fue el sitio cinco. Así mismo, los mayores índices de Simpson en temporada húmeda fueron en los sitios cinco y seis, mientras que en temporada seca fue el seis. Por otro lado, el mayor valor registrado para el índice de Shannon-Wiener para temporada húmeda fue en el sitio dos, y en temporada seca fue el sitio cinco.

9.4.3 ÍNDICE DE SIMILITUD DE SORENSEN

El mayor índice de similitud de Sorensen (Figura 18) en temporada húmeda fue de 0.44 entre el sitio uno y tres; mientras que los más bajos fueron de 0.0 en cuatro sitios. Por otro lado, en temporada seca el mayor índice fue de 0.68 entre el sitio cuatro y cinco, mientras que los más bajos fueron de 0.0 en cuatro sitios comparados.

ÍNDICE DE SIMILITUD ENTRE LOS SITIOS

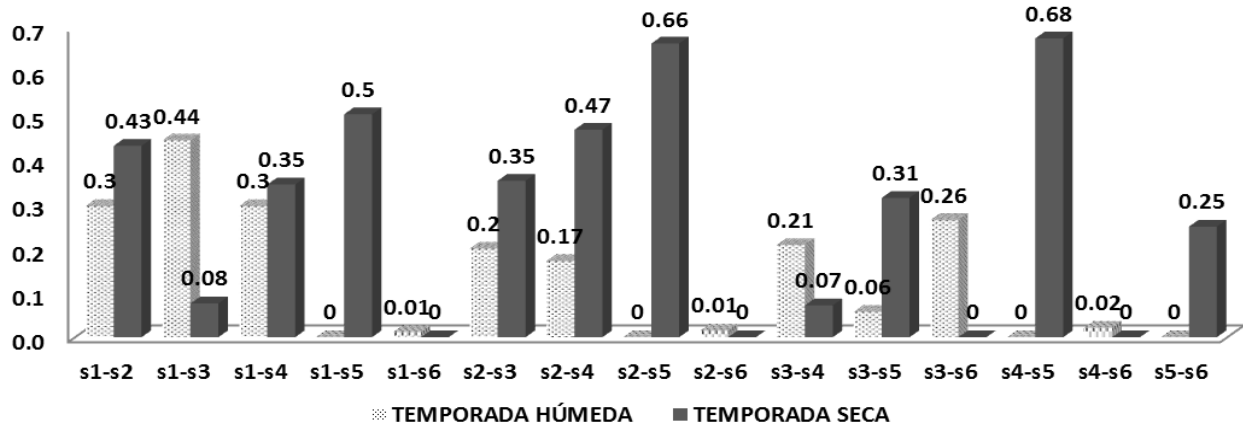


Figura 18. Índice de similitud de Sorensen para la vegetación encontrada en suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, Hidalgo.

También se calculo la similitud del mismo sitio en ambas temporadas, de lo cual se determinó que el sitio seis con un valor de 1.0 fue el de mayor índice de similitud, mientras que el sitio uno con 0.01 fue el de menor índice (Figura 19).

ÍNDICE DE SIMILITUD DE LOS SITIOS ENTRE AMBAS TEMPORADAS

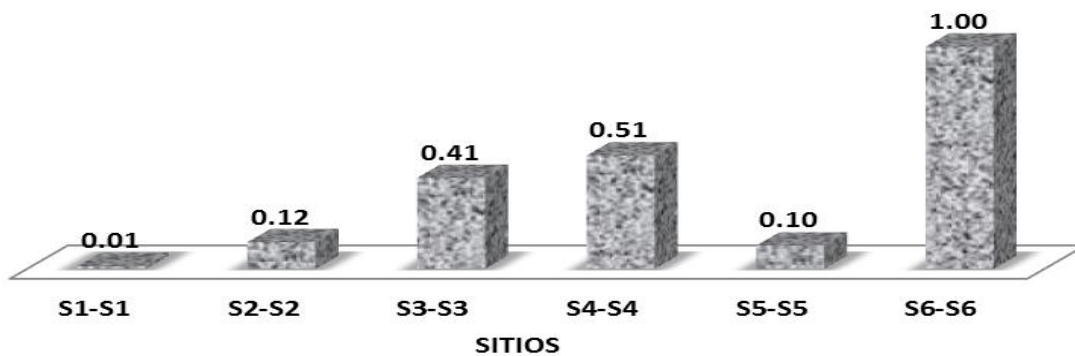





Figura 19. Similitudes entre mismos sitios en diferentes temporadas de los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco, Hidalgo.

9.4.4 INTERVALO DE TOLERANCIA.

En el Cuadro 28, se muestran los intervalos de tolerancia a la salinidad para cada especie estudiada en el área. Los valores de conductividad eléctrica en temporada húmeda fueron de 7.45 meq/100g a 37.25 meq/100g; y en temporada seca de 15.64 meq/100g hasta 146.53 meq/100g. El sitio cuatro tuvo la mayor conductividad eléctrica en ambas temporadas y por ende la mayor degradación por salinidad; así mismo la concentración elevada de los iones disueltos indica que el tipo predominante de sales que toleran las especies establecidas de la zona, son de tipo cloruros y sulfatos de sodio, seguidas de sales de magnesio. La mayoría de las proporciones cloruros-sulfatos entran en un intervalo de 1.11 y 2.01

Cuadro 28. Intervalos de tolerancia a la salinidad para las especies dominantes de suelos ubicados entre Maguey Blanco y Taxhadó, municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

Especie		pH	MO %	C.E ds/m ⁻¹	C.I.C	CO ²	HCO	meq / 100 g					Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻	
								Cl	SO ²	K	Na	Ca ²		Mg ²
<i>Atriplex suberecta</i>	max	8.45	6.3667	50.2667	96.78	0.18367	0.699	21.122	14.09	6.41	23.6	6.15	10.74	1.52
	min	7.95	1.48	21.00	19.83	0.03	0.00	3.37	0.15	0.38	5.41	0.59	0.74	
<i>Heliotropium curassavicum</i>	max	8.42	5.70	49.25	121.66	0.28	0.62	31.29	21.46	5.53	41.91	7.09	13.20	1.46
	min	8.02	1.68	26.17	17.65	0.04	0.06	4.50	0.17	0.40	4.21	0.70	0.62	
<i>Cynodon dactylon</i>	max	8.46	6.36	58.50	110.02	0.18	0.70	27.50	24.85	3.36	37.62	5.40	28.73	1.11
	min	7.92	2.16	30.40	18.01	0.04	0.03	2.98	0.17	0.39	5.44	0.78	1.24	
<i>Chenopodium fremontii</i>	max	8.41	6.96	59.83	132.10	0.28	0.62	35.55	29.15	4.35	54.59	7.09	25.12	1.22
	min	8.02	1.85	31.92	17.65	0.05	0.10	4.50	0.17	0.40	4.21	0.70	0.62	
<i>Solanum rostratum</i>	max	8.46	7.27	48.95	26.88	0.31	0.62	10.27	5.77	1.47	26.31	5.85	5.97	1.78
	min	8.14	3.67	35.70	19.15	0.11	0.21	4.76	0.18	0.45	2.31	1.00	1.43	
<i>Chenopodium berlandieri</i>	max	8.51	6.78	56.17	118.40	0.29	0.65	35.71	26.81	6.14	48.36	5.77	24.65	1.33
	min	8.16	1.91	29.08	12.95	0.05	0.08	3.40	0.20	0.27	2.77	0.54	1.34	
<i>Hordeum jubatum</i>	max	8.49	6.78	53.43	114.08	0.29	0.65	32.79	24.26	6.19	43.41	5.77	21.87	1.35
	min	8.16	1.83	27.47	12.95	0.05	0.07	3.40	0.20	0.27	2.77	0.54	1.34	
<i>Chenopodium dessoratum</i>	max	8.46	6.78	51.25	101.33	0.29	0.65	37.40	18.61	9.00	32.79	5.77	22.24	2.01
	min	8.12	1.89	23.75	12.95	0.05	0.04	3.40	0.20	0.27	2.77	0.54	1.34	
<i>Ambrosia psilostachya</i>	max	8.35	7.08	45.10	32.03	0.19	0.72	15.16	4.87	1.85	22.05	5.27	6.28	3.11
	min	8.04	2.55	27.73	16.70	0.04	0.24	5.75	0.17	0.30	4.45	0.49	1.21	
<i>Atriplex coulteri</i>	max	8.40	6.28	63.25	111.77	0.16	0.75	41.66	26.30	7.83	45.47	3.95	34.16	1.58
	min	7.74	1.98	28.60	15.83	0.00	0.07	6.13	0.08	0.35	6.13	0.81	1.04	
<i>Spergularia marina</i>	max	8.42	5.57	54.06	120.32	0.26	0.64	30.74	24.13	5.04	44.26	7.01	20.32	1.27
	min	8.04	1.51	27.50	11.45	0.00	0.07	3.15	0.20	0.22	4.66	0.24	0.53	
<i>Ranunculus cymbalaria</i>	max	8.83	5.59	103.55	45.00	0.06	0.09	18.06	25.81	4.25	42.29	1.54	14.63	0.70
	min	8.40	1.64	15.64	26.00	0.04	0.06	0.50	2.22	0.15	0.39	0.17	0.10	

-  1ª. Sal dominante NaCl
-  2ª. Sal dominante MgSO₄
-  Relación Cl⁻/SO₄²⁻

X. DISCUSIÓN

Los sitios estudiados mostraron una avanzada degradación, ocasionada principalmente por la salinidad, lo cual ha provocado una disminución severa en la productividad del área de estudio, al punto de no ser útiles para fines agrícolas; además como lo mencionan, Montaño y Monroy (2000), estos suelos no están en condiciones de recobrar su cubierta vegetal original, ya que el proceso de salinización degrada a los suelos de manera acelerada, además de estar hoy en día dedicados al cultivo de hortalizas.

La causa principal del deterioro de estos suelos es el uso de agua de riego de mala calidad, es decir, agua con una concentración relativamente baja de electrolitos, pero que al ser utilizadas en un sitio en donde se presentan elevada evaporación y tasas de transpiración, baja precipitación y malas prácticas como elevadas laminas de riego, han conducido al deterioro del suelo por salinización (Castellanos *et al.*, 2000).

En la región semiárida del Valle del Mezquital, la poca disponibilidad de agua de primer uso, obliga a utilizar aguas residuales de los canales provenientes de la ciudad de México, las cuales han contribuido al incremento paulatino de la concentración de sales en el suelo (Stallings, 1984; Feuchter, 2000) ocasionando cambios en pH y Conductividad eléctrica (Ortíz y Amado, 2001). Por otra parte, la actividad ganadera también contribuye a la degradación del suelo, ya que aumenta el grado de compactación afectando considerablemente la estructura del mismo.

10.1 PROPIEDADES FÍSICAS

El color es una de las características más perceptibles del suelo y es importante por que se relaciona con el contenido de materia orgánica, el drenaje y la mineralogía de suelo (Fitz, 1985). Se obtuvieron dos colores dominantes en los sitios, el color 10YR 6/2 (gris claro en seco) y el 10YR 3/2 (café grisáceo muy oscuro en húmedo); el primero, indica un ambiente anaeróbico, que ocurre cuando el suelo se satura con agua, siendo desplazado o agotado el oxígeno del espacio poroso. Bajo estas condiciones, las bacterias anaeróbicas utilizan el Fe_3^+ presente en minerales como la goetita y la hematita como un aceptor de electrones en su metabolismo. En este proceso se genera la forma reducida del ión (Fe^{2+}), que es soluble en agua e incoloro. Otras bacterias anaeróbicas utilizan Mn^{4+} como aceptor de electrones reduciéndose a su forma incolora soluble en agua Mn^{2+} . La pérdida de pigmentos deja un color gris en la superficie del mineral y si la saturación con agua se prolonga por largos periodos, la zona completa adquiere la coloración grisácea, es decir, indican síntomas de malas condiciones de aireación y drenaje según reporta FAO (2006).

Dado que se tratan de suelos principalmente de textura migajón-arcillosa, son considerados de textura fina a moderadamente gruesa, heredando un mal drenaje, además, le confiere una permeabilidad de muy lenta a rápida, lo cual explica el rango de los valores de retención de humedad según lo descrito por la FAO (2006). La textura cuanto más fina incrementa la microporosidad y con ello se reduce la permeabilidad favoreciendo el anegamiento, por lo que se puede decir que son suelos pesados, adherentes y muy plásticos.

El contenido de los distintos elementos constituyentes de los suelos es el que determina las variaciones de su densidad real. Según los resultados, cinco de los sitios tuvieron valores menores de 2.5 g/cm^3 de densidad real (Cuadro 6), estos valores se deben a la presencia de roca caliza y humus como constituyentes; mientras que solo un sitio tuvo un valor de 2.7 g/cm^3 ; la densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para su manejo ya que refleja el grado de compactación y facilidad de circulación de agua y aire, los valores determinados en la zona de estudio fueron menores a 1 g/cm^3 (Cuadro 6), lo que indica que el suelo tiene buen drenaje por su alta porosidad, tiene buena aireación e infiltración del agua. Todas estas características aunadas a la textura del suelo concuerdan con las características de los suelos Vertisoles descritas por WRB (2007).

10.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Los altos valores de la conductividad eléctrica, lecturas de pH de 8.5, cloruros y sulfatos como principales aniones solubles, contenidos de bicarbonato relativamente bajos, trazas de carbonatos, y la cantidad de sodio que supera en cierto grado a la del magnesio y calcio, son características habituales de suelos salinos (Allison y Richards, 1980), lo cual concuerda con lo obtenido en los análisis químicos llevados a cabo en este estudio (Cuadros 7 y 9). Los suelos de la zona de estudio fueron clasificados como Vertisoles sálicos (sz), mólicos (mo) y (pélicos)(pe) según la WRB (2007), es decir, Vertisoles por ser suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expandibles, forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan; la textura del suelo es pesada y el predominio de minerales de arcilla expandibles resulta en rango de humedad del suelo restringido entre estrés hídrico y exceso de agua; sálicos, por tener un horizonte superficial o subsuperficial somero que contiene un enriquecimiento secundario de sales fácilmente solubles, es decir, sales más solubles que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\log K_s = -4.85$ a 25°C); mólico, ya que posee un horizonte superficial grueso, bien estructurado, oscuro, con alta saturación con bases y moderado a alto contenido de materia orgánica y (pélico) ya que tiene en los primeros 30 cm del suelo un valor de Munsell, húmedo, de 3.5 o menos y un croma, húmedo, de 1.5 o menos.

Debido a su movilidad durante la lixiviación y su capacidad de migración, los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ son altamente lixiviables, y las sales más comúnmente formadas son: NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 (Szabolcs, 1979), lo cual corresponde con el orden de sales solubles obtenido en la zona de estudio en este trabajo. De estas sales solubles las más altamente tóxicas son las de cloro, mientras que las menos tóxicas son los sulfatos (Otero *et al.*, 2002). En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de los árboles es impedido o retardado consistentemente (Aguilera, 1989).

10.2.1 pH

El pH es un factor determinante en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, al influir en sus formas químicas (Herrera, 2012). Los suelos de la zona de estudio son medianamente alcalinos, según lo establecido por la NOM-021-SEMARNAT-2000, bajo estas condiciones los nutrientes potasio, magnesio, fósforo, hierro, manganeso, boro, cobre y zinc empiezan a formar compuestos menos solubles y por ende el nutriente se torna poco disponible.

El análisis estadístico arrojó que no existen diferencias significativas del pH a lo largo del perfil de los sitios estudiados; sin embargo, se encontró diferencias significativas del sitio dos en ambas temporadas con respecto a los demás sitios (Cuadro 11), se atribuye a que este sitio registro los valores más altos de pH, esto debido a una mayor concentración de carbonatos, específicamente de sodio, que son sales hidrolíticas que afectan las formas químicas de los nutrimentos. En temporada seca la alcalinidad fue más fuerte con valores por arriba de 8.5 (Cuadro 9). Esta alcalinidad se debe a la relación que existe entre el pH y la materia orgánica, la precipitación de carbonatos de sodio, el contenido de arcillas y el tipo de las mismas. El mayor contenido de materia orgánica fue en el sitio dos, aunado a esto, se tiene la presencia de sulfatos de sodio, magnesio y calcio, que elevan el pH a intervalos de 7 a 8.5 en los suelos.

Los suelos fuertemente compactados y con problemas de drenaje, dificultan la lixiviación de las sales a los horizontes más profundos, pero favorecen el ascenso capilar y con ello la concentración superficial de las sales, redundando en un aumento del pH (Núñez, 2006), esto concuerda con el comportamiento de los suelos de la zona de estudio, ya que en temporada seca se encontraron diferencias significativas para todos los aniones y cationes en los primeros 5 centímetros y los valores de pH más altos en comparación con la temporada húmeda.

10.2.2 % MATERIA ORGÁNICA

Los valores de porcentaje de materia orgánica fueron de bajos a medianos según lo establecido por la NOM-021-RECNAT-2000 para zonas con climas secos y cálidos. Se encontró diferencias significativas de la materia orgánica con respecto a la profundidad. Los mayores porcentajes se ubicaron en los primeros 5 cm (Cuadro 12), lo cual se debe a que en la superficie, es donde se encuentra la mayor biomasa de las plantas establecidas en el lugar y como los procesos de descomposición son favorecidos por el clima, una determinada cantidad de humus se adiciona al suelo, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad.

10.2.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Los valores de la capacidad de intercambio para la mayoría de las muestras oscilaron entre los 26 y 46 meq/100g, esto pudo ser favorecido por el contenido de arcillas, materia orgánica humificada y el pH, ya que existe una relación directa entre ellos.

Existen diferencias significativas entre la profundidad de 0-5 cm con respecto a las demás (>5 cm) (Cuadro 13), esto puede deberse a que en esta profundidad, se encuentra el mayor contenido de materia orgánica, ya que entre más alto sea el contenido de arcilla y humus en el suelo, mayor será la capacidad de intercambio catiónico (Ortíz-Villanueva y Ortíz, 1999) y por otro lado, a la acumulación de sales de sulfatos en la superficie. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), los valores de capacidad de intercambio catiónico, ubican a los suelos estudiados en la categoría de alta fertilidad; sin embargo, las elevadas concentraciones salinas limitan su productividad.

10.2.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Los valores de conductividad eléctrica clasifican a los suelos de la zona de estudio como de fuerte a muy fuertemente salinos de acuerdo con lo descrito en la clasificación de Henschke (2005).

Aunque se ha demostrado que existe un alto grado de correlación positiva entre la CE y la concentración total de aniones y cationes, no ha sido posible indicar que tipo de sales se encuentran en los suelos (Walker, 2004). Esto concuerda con los resultados obtenidos para los suelos de Taxhadó-Maguey Blanco, en los que el análisis de correlación indica una mejor correlación entre el ión sodio y los aniones cloruros y sulfatos (Cuadros 8 y 10). Por la concentración y la composición iónica obtenida del extracto de saturación y que confirma el análisis de correlación, las sales dominantes en orden de importancia fueron NaCl, seguida de Na₂SO₄ (Otero *et al.*, 2002); así mismo se determinó que existe un alto grado de correlación negativa entre la conductividad eléctrica y la profundidad en ambas temporadas (Cuadro 14). En temporada seca, la profundidad 1 (0-5 cm) es significativamente diferente con respecto a las demás profundidades evaluadas (Cuadro 14), esto, debido al aumento de concentración de sales en la superficie, por ascenso de las mismas debido a la acción de la capilaridad. La conductividad eléctrica de un suelo cambia con la variación en el contenido de humedad (Otero *et al.*, 2002); consecuencia de esto es principalmente el riego con aguas provenientes de la Ciudad de México (DFID, 1998), ya que esta agua lleva una alta concentración de sales solubles y al adicionarla incrementa su acumulación en el suelo (Foth, 1980). Estos niveles de salinidad tan elevados, restringen la producción de plantas de interés agrícola, permitiendo únicamente el establecimiento de especies adaptadas a la salinidad (Shannon y Grieve, 1999; Katerji, *et al.*, 2000), ya que la mayor acumulación de sales en el perfil corresponde a sitio donde se localiza el sistema radical (Castellanos *et al.*, 2000)

En algunos casos, los ligeros aumentos que presenta la conductividad a lo largo del perfil, sobre todo en época húmeda, pueden ser indicadores de que los suelos comienzan a sodificarse (Cuadro 7), ya que este fenómeno caracteriza a los suelos salino-sódico en las capas superficiales, y sódicos, salinos y normales en las capas profundas según lo reportado por Ramos *et al.*, 2001.

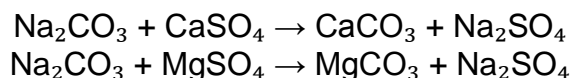
10.2.5 CARBONATOS (CO₃²⁻)

En suelos salinos por lo general los carbonatos solubles están ausentes. Con frecuencia, algunas sales relativamente solubles, como carbonato de calcio y magnesio se encuentran presentes (Foth, 1980), esto pudo observarse en ambas temporadas, ya que la concentración de los carbonatos fue muy baja e incluso llegó a presentar valores de cero (Cuadros 7 y 9). El efecto que tienen estas concentraciones sobre las plantas no son importantes, debido a que depende de la cantidad acumulada y del compuesto con el que forma sales (Szabolcs, 1979); también es evidente debido a los valores registrados de pH, que a pesar de tender hacia la alcalinidad, no alcanzan valores altos como los que se han reportado con mayor concentración de carbonato de sodio.

10.2.6 BICARBONATOS (HCO_3^-)

La concentración de bicarbonatos fue baja en ambas temporadas, sin embargo fue mayor que los carbonatos, esto es congruente en virtud de que los carbonatos se forman solo a altas concentraciones de bicarbonatos (Szabolcs, 1979); lo cual implica que a pesar de que el contenido de materia orgánica va de medio a bajo, contribuye a la formación de bicarbonatos (Cuadros 7 y 9).

La baja concentración de carbonatos y bicarbonatos puede deberse a la presencia de otras sales, lo cual confirma la baja concentración de calcio encontrada, de acuerdo con las siguientes reacciones:



En las que CaCO_3 y MgCO_3 son poco solubles y precipitan con lo que las reacciones se desplazan hacia la derecha acumulándose el Na_2SO_4 que es una sal neutra, manteniendo un pH inferior a 8.5 (Dorronsoro, 2010), esta sal fue la segunda dominante encontrada en el área de estudio.

En presencia de NaCl, la solubilidad de carbonato y bicarbonato disminuye igualmente por efecto de ión común (Dorronsoro, 2010), lo cual explica las bajas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos y la dominancia de NaCl en la zona de estudio en ambas temporadas.

10.2.7 CLORUROS (Cl^-)

Las concentraciones de cloruros fueron las más altas en ambas temporadas y se determinó que existe correlación positiva más fuerte con el ion sodio (Cuadros 8 y 10), por lo que el NaCl es la sal dominante de la zona y es la responsable principal de la salinización de los suelos (Szabolcs, 1979).

Se determinó también una correlación positiva del Cl^- con magnesio, donde se estableció que se forma MgCl_2 , y fue la tercera sal dominante en el área de estudio. El cloruro de magnesio se acumula en grandes cantidades cuando hay una elevada salinidad y debido a su alta solubilidad se vuelve tóxica (Szabolcs, 1979)

Las sales formadas por cloruros se caracterizan por ser muy solubles y consecuentemente tóxicas, lo que indica que son las directamente responsables de la baja productividad de la zona (Szabolcs, 1979).

10.2.8 SULFATOS (SO_4^{2-})

De acuerdo con el orden establecido de sales dominantes formadas en la zona de estudio, se tiene al sulfato de sodio y de magnesio como las más importantes respectivamente, después de las formadas por cloro. La presencia de los sulfatos en mayor cantidad que los

carbonatos (Cuadros 7 y 9), explica que los pH no sean más alcalinos, pues son sales antagónicas, ya que el sulfato de sodio es una sal neutra y no hidrolítica (Guevara, 2009).

El sulfato de magnesio es altamente soluble y por lo tanto tóxico para las plantas, sin embargo generalmente se combina con otras sales más fácilmente solubles (Szabolcs, 1979), esto la ubica en el cuarto lugar de sales formadas en el área de estudio. Por otro lado, la toxicidad del sulfato de sodio es de dos a tres veces menor que la del magnesio, lo cual puede considerarse benéfico debido a que es la segunda sal dominante en el área; esta sal tiene una alta solubilidad que depende de la temperatura por lo que se acumula y permanece en la superficie del suelo (Szabolcs, 1979).

Díaz (1991) y Dorronsoro (2010) reportan que altas concentraciones de sulfatos limitan la adsorción de calcio por parte de las plantas y con esta disminución de calcio, se encuentran asociados los aumentos en la adsorción de sodio y potasio.

10.2.9 CATIONES SOLUBLES (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+)

Las concentraciones del ión sodio fueron las más altas en ambas temporadas, seguidas de las de magnesio. El calcio y el potasio variaron su orden por temporada (Cuadros 7 y 9). Los cationes mostraron un comportamiento similar, es decir, la concentración de ellos en la profundidad 1 (0-5 cm) fue significativamente diferente a las demás, y a partir de los 15 cm la concentración se mantuvo uniforme; esto debido a la solubilidad dada por los aniones con los que formaban las sales, una vez depositadas o liberadas en el suelo, estas son llevadas a la superficie por movimientos ascendentes del agua, que cuando se evapora va dejando las sales.

Con respecto al calcio, su baja concentración en comparación con el sodio, indica que en presencia de agua, las arcillas sódicas se hidrolizan, liberando el ión Na^+ en solución, por lo que eleva los valores de pH (Cuadros 7 y 9), lo que es un proceso evolutivo de los suelos salinos, es decir, las arcillas se dispersan y la estructura se degrada (Russell, 1968). La toxicidad de este ión se da solo en combinación con el cloruro, formando CaCl_2 , sin embargo, dada la baja concentración en la que se encontró, es posible que la cantidad formada sea mínima. Las bajas concentraciones de calcio pueden deberse según lo reportado por Rodríguez (1992) y Mahajan (2005) a que está involucrado en el proceso de adsorción de nutrientes al interior de la planta y con la regulación osmótica, por lo que se puede suponer que la planta lo está adsorbiendo en mayor cantidad y por lo tanto no se encuentra tan concentrado en el suelo.

Marschner (1995) menciona que la concentración de sodio en zonas áridas y semiáridas de regadío pueden alcanzar valores superiores a los 50 meq/100g, lo que se aprecia en las concentraciones de sodio determinadas en la época seca en la zona de estudio (cuadro 9), lo cual causa déficit de agua, estrés por ión específico y toxicidad (Beinstein, 1961; Blumwald *et al.*, 2000). Después de los primeros 5 cm de profundidad no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 20), esto debido probablemente del mal drenaje del suelo, ya que impide la lixiviación del sodio, mismo que es liberado y adsorbido nuevamente por el complejo de cambio.

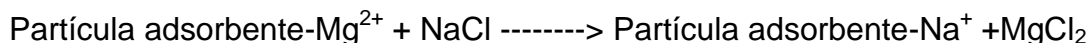
El magnesio es importante en suelos salinos, ya que ayuda a la regulación del pH celular. Las concentraciones de este ión son más tóxicas para la plantas que las concentraciones isosmóticas de sales naturales (Díaz, 1991). Por lo que al ser componente de las sales dominantes en la zona de estudio, se aproxima a su umbral de toxicidad.

Los valores de potasio determinados son clasificados de bajos a medios de acuerdo con los criterios establecidos por el ministerio de agricultura de Holanda (Ilaco, 1981). Las bajas concentraciones de potasio se deben a que es un catión muy móvil y no forma parte estructural de la planta así como lo menciona Gómez-Borges et al. (2005), por lo que se disuelve fácilmente en el agua.

Así mismo, Gómez-Borges *et al.* (2005) señalan que las propiedades que afectan la distribución de potasio en el suelo son: contenido y tipo de arcilla, humedad, temperatura y pH, lo cual concuerda con los datos obtenidos en este estudio, ya que los valores de potasio en temporada húmeda (Cuadro 7) fueron más bajas que en temporada seca (cuadro 9), lo cual indica una mayor disolución de este catión por el aporte de humedad, así mismo los valores de pH observados se encuentran en el rango donde el potasio comienza a ser inmovilizado, por lo que las concentraciones comienzan a disminuir.

A pesar que el potasio es fijado en grandes cantidades en suelos que son sometidos alternativamente a periodos de humedecimiento y secado (Ortíz-Villanueva y Ortíz, 1999), se pudo observar que las concentraciones de magnesio son mayores que las de potasio, ya que estos iones son antagónicos, es decir, el ión magnesio inhibe la absorción del potasio.

El cloruro de sodio es la sal más frecuente en los suelos salinos y suele formar parte junto con el sulfato de sodio, las eflorescencias blancas que aparecen en la superficie del suelo (Allison y Richards, 1980), lo cual se pudo observar en la época seca, esto provoca una alta toxicidad en las semillas reduciendo su germinación. Por otra parte también existe una cantidad importante de Mg^{2+} y si este sigue acumulándose en el suelo, el $MgCl_2$ pasaría a ser la dominante, porque se produce un intercambio del Na^+ por Mg^{2+} adsorbido en el complejo de intercambio:



Esta es una sal, con una toxicidad muy elevada, que ocasiona más efectos perjudiciales que el NaCl.

Los resultados obtenidos para la composición iónica de estos suelos indican una elevada y rápida degradación de la región, debido a la irrigación con aguas residuales que provienen de la zona metropolitana de la ciudad de México y de Hidalgo, aguas con una composición y concentración salina no determinadas y en adición la alta tasa de evapotranspiración por efectos del clima, todo esto ha ocasionado que la velocidad de salinización se haya acelerado de manera evidente.

10.3 COMPOSICIÓN BIÓTICA

Se determinaron 12 especies en la zona de estudio, comprendidas en siete familias (Cuadro 23), de las cuales cinco son consideradas entre las 11 más importantes por su relevancia para las actividades agropecuarias de México (Heike, 2012). De estas, la familia Chenopodiaceae presentó la mayor riqueza con cinco especies, seguida de Poaceae con dos especies. Se observó que solo *Ranunculus cymbalaria* (Figura 30) se presentó en época seca; mientras que *Ambrosia psilostachya* (Figura 29) solo lo hizo en temporada húmeda.

Como se observó en el Cuadro 23, la composición biótica varía solo en una especie a lo largo del año, sin embargo, los valores de importancia si lo hicieron (Cuadros 24 y 25), debido posiblemente a la disminución de la conductividad eléctrica y pH del suelo en el periodo de lluvias, lo que permitió un incremento en la dominancia de especies con una tolerancia menor a la salinidad.

Al calcular el valor de importancia de cada especie a lo largo de un año (temporada seca y húmeda) se observó como cambian las dominancias de las especies y su distribución (Figura 28). La variación de la dominancia en la temporada seca y húmeda está relacionada con la capacidad de resistencia a los efectos perjudiciales de la salinidad y los mecanismos de tolerancia a la misma que han desarrollado las especies establecidas en la zona de estudio (Russell, 1968). Por ejemplo, Levitt (1980) menciona que es frecuente que halófitas terrestres de la familia Poaceae, presentan glándulas secretoras de sal, por lo que son resistentes a elevados niveles de salinidad y su distribución se limita a ambientes salinos; otro caso es el de la familia Chenopodiaceae, Hill (1973), describió pelos vesiculares (tricosomas especializados) para eliminación de sales, en varias especies halófitas de esta familia. En la clasificación de halófitas (Sellers, 1999) se han reportado que especies del género *Atriplex* son excluyentes, así mismo se considera a *Cynodon dactylon* (Figura 23) como indicadora de salinidad.

En el Cuadro 26, se muestran los resultados de análisis de correlación llevado a cabo entre los parámetros químicos y biológicos de los sitios de estudio, para así determinar las relaciones más fuertes entre ellos.

Se encontró que *Solanum rostratum* (Figura 28) tuvo una relación positiva con el ion calcio en temporada húmeda y se presentó en los sitios uno y dos (Cuadro 24), dadas las bajas concentraciones del ion en estos sitios y su valor de importancia registrado, se puede inferir que la presencia y abundancia de *Solanum rostratum* es directa a la concentración de calcio; por otro lado las diferencias significativas encontradas en los sitios uno y dos, con respecto al pH (Cuadro 11) parecen ser las limitantes de la presencia de la especie en los otros sitios. Lo anterior concuerda con la relación directa entre *Solanum rostratum* y el pH en temporada seca (Cuadro 26), donde solo se presentó en el sitio dos (Cuadro 25). Este sitio, tuvo un pH significativamente diferente con los demás sitios (Cuadro 11); a pesar que las concentraciones de calcio fueron bajas en ambas temporadas, en el sitio dos en temporada seca, fueron aun más bajas y los valores de pH fueron más altos, es decir, que interfieren con la disponibilidad del calcio, ya que el rango donde esta disponibilidad disminuye es a partir de valores de pH de 8.4 aproximadamente.

Con respecto a *Atriplex suberecta* (Figura 21), se observa una correlación positiva con calcio en temporada húmeda (Cuadro 26), sin embargo a diferencia de *Solanum rostratum*, esta se presentó en los sitios uno, tres y cuatro (Cuadro 24), esto debido a que las concentraciones del ión, así como las conductividades eléctricas son más altas en los primeros 5 cm de profundidad. El sitio cuatro presenta diferencias con respecto al pH en relación con los otros sitios donde se establece *A. suberecta* (Cuadro 11) y el valor de importancia menor, por lo que, a mayor pH, menor disponibilidad de calcio y esto limita la abundancia de la especie.

Atriplex coulteri (Figura 20) mostró una relación positiva con el ión cloro en temporada húmeda (Cuadro 26). Esta especie se presentó en los sitios tres y cinco (Cuadro 24); y estos, son diferentes significativamente entre sí con respecto a la conductividad eléctrica (Cuadro 14). El sitio cinco registro valores de conductividad eléctrica y cloro menores, y un índice de valor de importancia mayor que en el sitio tres, dado lo anterior, se puede decir que a mayor concentración de cloro, el valor de importancia de *A. coulteri* desciende; sin embargo, existe un límite inferior de la concentración de cloro y conductividad eléctrica que impide que se establezca en los demás sitios de estudio, dado esto, se infiere que la especie necesita una cierta cantidad de cloro para su permanencia, lo que explica por qué en el sitio cuatro con conductividades eléctricas altas (Cuadro 7), pero con concentraciones de cloro más bajas que en los sitios tres y cinco, *A. coulteri* no se presentó.

Por otro lado *Atriplex coulteri* tuvo relaciones positivas con potasio y calcio en temporada seca (Cuadro 26) e igual que en temporada húmeda, se encontró en los sitios tres y cinco (Cuadro 25) y las concentraciones de potasio y conductividad eléctrica fueron mayores. El sitio tres fue significativamente diferente con respecto al potasio (Cuadro 19) esto es debido a los valores de pH registrados, ya que el potasio se encuentra menos disponible a pH de entre 7.5 a 8.5 (Borges-Gómez *et al.*, 2005).

El sitio tres reporto la mayor concentración de potasio con respecto a los demás y tuvo un mayor índice de valor de importancia de *Atriplex coulteri*, lo cual indica que el potasio es el factor limitante para el establecimiento de la especie y su dominancia. Un comportamiento similar al anterior sigue el ión calcio, sin embargo, su concentración es menor a la mitad que la del potasio y el análisis de correlación (Cuadro 10) arrojó una relación directa entre estos dos iones, lo que concuerda con lo descrito por Dorransoro (2010) acerca del antagonismo de calcio y potasio; también estos dos iones tienen una relación directa con la conductividad eléctrica (Anexo 1) por lo que se puede afirmar que estas relaciones son las responsables de que *A. coulteri* no se presente en los demás sitios.

Se encontró una relación directamente proporcional entre *Chenopodium fremontii* (Figura 27) y sulfatos; y una relación negativa con potasio en temporada húmeda. Esta especie se presentó en los sitios uno y cuatro con índices de valor de importancia bajos (Cuadro 24). El sitio uno muestra cantidades relativamente mayores de potasio (aún bajas) y sulfatos con respecto al sitio cuatro; sin embargo, este último presentó la mayor conductividad eléctrica (Cuadro 7). Los resultados para sulfatos en ambos sitios son los más altos reportados en la temporada, lo cual infiere que esta especie tolera mayores concentraciones de sulfatos, siempre y cuando la conductividad eléctrica no sea tan elevada.

Por otro lado se determino una relación positiva entre *Chenopodium fremontii* y bicarbonatos en temporada seca (Cuadro 26), donde se registro diferencias significativas de ellos (cuadro 16); esta especie se presento en los sitios cuatro y cinco, con un mayor valor de importancia en el sitio cuatro (Cuadro 25), el cual tuvo una concentración de bicarbonatos un poco menor que en el sitio cinco; sin embargo, este sitio tuvo una menor conductividad eléctrica, pero los valores de pH fueron ligeramente más altos, esto debido a que los bicarbonatos sódicos presentan una solubilidad elevada y su presencia en cantidades elevadas implica condiciones de alcalinidad (Szabolcs, 1994), que si bien no es mucha la cantidad presente, si es lo suficiente para que en este sitio se haya elevado, aunque poco, el pH.

Así mismo, se encontró una relación positiva entre *Chenopodium dessicatum* (Figura 26) y el pH en temporada húmeda (Cuadro 26), esta especie se presento en los sitios dos y cuatro, los cuales presentaron diferencias significativas con respecto a este parámetro (Cuadro 11), donde se registraron los mayores de pH para esta temporada. El sitio dos presento mayor valor de importancia de la especie (Cuadro 24), así mismo presento valores de pH mayores que el sitio cuatro, es decir, entre mayor fue el pH, mayor fue el valor de importancia de *Ch. dessicatum*, esto puede deberse a la disminución en la disponibilidad de ciertos elementos que resulten tóxicos para la especie y/o a la disminución de la competencia con otras especies por la falta de dichos elementos.

Por último, se encontró una relación positiva entre *Ranunculus cymbalaria* y el pH (Cuadro 26) en temporada seca; esta especie se ubico en el sitio dos, el cual fue significativamente diferente a los demás sitios (Cuadro 11), con los mayores valores de pH registrados. Esta especie comienza a presentarse a un pH superior de 8.5, ya que el valor de importancia fue bajo (Cuadro 25), esto posiblemente se deba a que la especie se desarrolla en las orillas de los canales. Dado que el sitio dos fue el que presentó una mayor tendencia a la inundación, se puede suponer que la concentración salina del agua influyo directamente en la planta, por lo que se infiere que la especie ha desarrollado algún mecanismo de tolerancia como por ejemplo, ajuste osmótico o succulencia, lo que permite su establecimiento en este lugar.

10.3.1 ÍNDICES DE DIVERSIDAD

El conocimiento de la diversidad regional permite entender aspectos de la historia biogeográfica y de los procesos ecológicos ligados principalmente a los hábitats y factores ambientales (Arellano y Halffter, 2003), y es clave para la planeación de estrategias de conservación del tipo de las redes de áreas protegidas (Robertson *et al.*, 2000), en este estudio se determinaron los índices de Margalef, Simpson y Shannon-Wiener (Cuadro 27)

El índice de Margalef (riqueza específica) es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Smith y Smith, 2002). Los índices calculados para los sitios de la zona de estudio están por debajo de 2 (Cuadro 27) y los valores inferiores a 2 son considerados como relacionados con zonas de baja biodiversidad, en general resultado de efectos antropogénicos (Margalef, 1974).

El sitio seis tuvo un índice de riqueza de cero (Cuadro 27) en ambas temporadas, es decir, que su diversidad es tan baja que solo se presento una especie, la cual fue *Cynodon*

dactylon (Cuadros 24 y 25). Los sitios muestran un decremento en el índice de riqueza al cambiar de temporada húmeda a seca (Cuadro 27). Esta variación se debe al incremento de las concentraciones salinas que reduce la diversidad de la zona; sin embargo, se observó que el sitio cinco tuvo un comportamiento inverso, es decir, aumentó su riqueza en temporada seca, esto significa que las plantas que se desarrollan durante este periodo son más tolerantes a la salinidad.

El índice de Simpson expresa la dominancia y de acuerdo con esto, los valores cercanos a 1 indican fuerte dominancia y baja diversidad (Moreno, 2001). Como se muestra en el Cuadro 27, el sitio seis presenta un índice de uno para ambas temporadas, lo cual significa que solo existe una especie y por lo tanto es dominante. La especie que se encontró en el sitio fue *Cynodon dactylon*, lo cual concuerda con los valores calculados para el índice de Margalef. Al realizar un análisis de varianza de los parámetros químicos, no se encontraron diferencias significativas, por lo que la dominancia de *C. dactylon* se debe más bien al uso pecuario al que ha estado sometido el sitio.

El Índice de Shannon-Wiener señala que entre más alto sea el valor (valores que se acercan a 4), la diversidad es mayor. Los valores obtenidos en los sitios estuvieron por debajo del 1.7 (Cuadro 27), confirmándose la baja diversidad del sitio. El mayor índice reportado en temporada húmeda fue el del sitio dos, debido al descenso del pH y de la concentración de carbonatos, como resultado de su dilución por el aporte de agua de lluvia libre de sales lo cual permite año con año que especies más sensibles a la salinidad puedan desarrollarse. Este proceso se realiza en mayor o menor grado en todos los sitios muestreados, aunque no se ve reflejado tan evidentemente en cada uno de ellos, es decir hay variación esencialmente en la dominancia de especies (Figura 17) y en la composición biótica en un mismo sitio en ambas épocas del año.

El índice de similitud de Sorensen indicó que los sitios más similares fueron el uno y tres en temporada húmeda, sin embargo este valor fue bajo, lo cual infiere que las características químicas son similares en esta misma proporción (Cuadro 7); lo mismo se estableció para temporada seca, donde los sitios cuatro y cinco fueron los más similares (Figura 18); esto hace suponer que las condiciones químicas de cada temporada en la zona de estudio son muy variables (Cuadros 7 y 9). El índice de similitud del mismo sitio para ambas temporadas mostró que el sitio seis es igual (Figura 19) y esto se debe a que en este sitio solo se encontró *Cynodon dactylon*.

10.3.2 INTERVALOS DE TOLERANCIA

El orden establecido de las sales dominantes fue realizado con base a la concentración de los iones, ya que el comportamiento de los valores de conductividad están en relación directa con ella, lo cual concuerda con lo descrito por Sánchez-Bernal (2003) en su estudio realizado con tubérculos; así mismo mencionó, que el incremento de la conductividad depende del tipo de sal que se encuentre presente, así, el NaCl genera mayor conductancia, mientras que el MgSO₄ disminuye su capacidad de conductancia eléctrica (Szabolcs, 1979), lo cual confirma el orden de sales dominantes de la zona de estudio; dados estos criterios se determinó el intervalo de tolerancia para las doce especies encontradas en la zona estudiada y se definió las dos sales a las cuales son tolerantes (Cuadro 28), así mismo, se calculó la proporción

entre cloruros y sulfatos que según lo descrito por Arinusquina (1970), establece que para cada tipo de salinidad, las relaciones aniónicas y catiónicas no debe exceder un cierto valor límite y según su clasificación, el área de estudio tiene una salinidad sulfático-clorhídrica por que los valores de las proporciones oscilan entre 1.0 y 2.0

En el trabajo publicado por Arosón (Rzedowski y Rzedowski. 2005), se reporta la presencia de las familias Asteraceae y Caryophyllaceae con una conductividad eléctrica de 56 dS/m⁻, lo cual esta ligeramente arriba del intervalo establecido para *Ambrosia psilostachya* (Asteraceae) y para *Spergularia marina* (Caryophyllaceae) Figura 31; mientras que para las Chenopodiaceae encontró una conductividad eléctrica hasta de 90 dS/m⁻, lo cual esta muy por encima de las especies del género Chenopodiaceae encontradas en la zona de estudio (Cuadro 28).

Por otro lado, Guevara (2009) reportó valores de conductividad y pH en los que se presentó *Chenopodium berlandieri* (figura 25), *Hordeum jubatum* (Figura 24), *Heliotropium curassavicum* (Figura 22), *Solanum rostratum* (Figura 28), *Cynodon dactylon* (Figura 23) y *Ambrosia psilostachya* (Figura 29) en suelos salinos de chinampas de Xochimilco en época de seca y lluvias; se observaron valores mayores de pH en comparación a los establecidos en los intervalos en este trabajo (Cuadro 28); mientras que los valores de conductividad eléctrica se encuentran en los intervalos, a excepción de los de *Cynodon dactylon* que fueron más bajos en las chinampas. Dado que las características fisicoquímicas de ambas zonas de estudio son diferentes, se podría considerar a estas especies como cosmopolitas, aunque en los registros de CONABIO (2011) aparezcan en áreas restringidas, e indicadores de una avanzada degradación de suelos por salinidad causada por riego con aguas residuales.

El establecimiento de estas especies en diferentes condiciones edafológicas, permite inferir que poseen diferentes mecanismos de resistencia a la salinidad, pero el grado de tolerancia es diferente (Otero *et al.*, 2002).

Las cinco especies dominantes son consideradas como hierbas invasivas, sin embargo, *Cynodon dactylon* (Figura 23) y *Hordeum jubatum* (Figura 24) son de importancia forrajera al mismo tiempo que extraen sales del suelo logrando una rehabilitación del mismo a mediano plazo como lo sugieren Ruiz *et al.*, (2007). Estas dos especies fueron las de mayor importancia para temporada húmeda y seca respectivamente en la zona de estudio (Cuadros 24 y 25), de este modo se puede señalar que *Hordeum jubatum* sucede a *Cynodon dactylon*, ya que la primera tolera condiciones más hostiles; según lo reportado por Domínguez (2012) ambas especies establecen las mismas asociaciones con hongos micorrízicos arbusculares y presentan la misma especificidad y grado de micorrización bajo las mismas condiciones de salinidad y humedad, esto permite inferir que la dominancia de estas especies depende de los rangos de tolerancia salina intrínseca de las especies, además de la conferida por las asociaciones micorrízicas arbusculares.

Heike (2012) menciona que *Solanum rostratum* podría ser evaluada para determinar su uso potencial como abono verde, biogás y medicinal; mientras que *Chenopodium berlandieri* como alimento humano, ya que posee un alto contenido de minerales, aminoácidos y elevado valor proteico, lo cual puede ser una buena alternativa en esta zona, ya que *Ch. berlandieri* en época seca, es la segunda especie de mayor importancia en el lugar.

XI. CONCLUSIONES

El avanzado grado de salinización presente en el área de estudio, se encuentra directamente relacionado con el manejo deficiente de riego, la mala calidad del agua que se utiliza, cambio de uso de suelo y disminución de la cobertura vegetal.

La zona esta fuertemente degradada por salinidad y ninguna especie de importancia agrícola puede desarrollarse y las actividades de labranza ocasionales contribuyen a su degradación.

El orden de concentración de las sales en el sitio es $\text{NaCl} > \text{NaSO}_4 > \text{MgCl}_2 > \text{MgSO}_4$ y representan las sales que toleran las especies que en el sitio se desarrollan.

La zona de estudio tiene una fuerte salinidad de tipo sulfático-clorhídrica, con relación $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ promedio de 1.5:1

La dominancia de las especies encontradas varía de una temporada a otra, debido a la disminución de la conductividad eléctrica y pH del suelo en el periodo de lluvias, lo que permite un incremento en la dominancia de especies con una tolerancia menor a la salinidad.

Se determinó que para la temporada húmeda, las cinco especies dominantes en orden descendente fueron: *Cynodon dactylon*, *Atriplex coulteri*, *Atriplex suberecta*, *Chenopodium dessoratum* y *Ambrosia psilostachya*; así mismo, en temporada seca se obtuvo: *Hordeum jubatum*, *Chenopodium berlandieri*, *Spergularia marina*, *Cynodon dactylon* y *Atriplex coulteri*.

Se estableció la siguiente secuencia de especies para mejorar las condiciones químicas de estos suelos: en temporada húmeda *Cynodon dactylon*, *Atriplex coulteri* y *Atriplex suberecta* o una combinación de ellas; mientras que en temporada seca, se puede mantener *C. dactylon*, pero debe incluirse *Hordeum jubatum* y *Chenopodium berlandieri*, así se mejoraran las características edáficas y se aprovechará el uso forrajero de las especies.

A lo largo del año se da la siguiente sucesión ecológica de especies dominantes, según la concentración salina que prevalece en la zona radical, de mayor a menor tolerancia: *Hordeum jubatum*, *Chenopodium berlandieri*, *Spergularia marina*, *Cynodon dactylon*, *Atriplex coulteri*, *Atriplex suberecta*, *Chenopodium dessoratum* y *Ambrosia psilostachya*.

XII. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones acerca de los mecanismos de tolerancia a las sales de estas especies, así como los usos potenciales que puedan tener.

Es necesario investigar la capacidad bioacumuladora de sales de los dominantes ecológicos aquí estudiados, con el fin de recomendarlas para biorremediación.

Como se encontró que los suelos son altamente salinos y el origen de este problema es la composición cualitativa y cuantitativa de las aguas, se recomienda para trabajos posteriores, evaluar la composición iónica de las aguas.

Cynodon dactylon y *Hordeum jubatum* fueron las especies más representativas en temporada húmeda y de estiaje respectivamente, una vez determinado su intervalo de tolerancia salina y al uso forrajero que se les da, pueden ser llevadas a sitios con características físicas y químicas similares y así proveer de un cobertura vegetal que mejore las características de dicho suelo.

XIII. REFERENCIAS

- Aceves L. A. 1976. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. Ediciones PATENA. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Adams M. 1995. Fundamentos de Química de suelos. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Aguilera H. N. 1989. Tratado de Edafología en México Tomo I. Facultad de Ciencias. Dirección general de Publicaciones, ciudad universitaria, D. F., México.
- Allison L. E. y L. A. Richards. 1980. Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y sódicos. Personal del Laboratorio de Salinidad de USA. Ed. Limusa, S. A. México.
- Anderson J. M. y J. S. Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods. CAB International, Wallingford, UK.
- American Society of Agronomy. 1979. Methods of soil analysis Part I Chemical and Microbiological Propieties. Fifth printing USA.
- Arellano L. y G. Halffter. 2003. Gamma diversity derived from and a determinant of alpha diversity and beta diversity. An analysis of three tropical landscapes. Acta Zoológica Mexicana (n. s.) 090:27–76.
- Arinusquina, E. V. 1970. Manual de análisis químicos de suelos. Parte II. Universidad de Moscú. URSS.
- Baker A. J. M., S. P. McGrath, R. D. Reeves y J. A. C. Smith. 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metal-polluted soils. *In:* (Eds. Terry N, Bañuelos and G. Vangronsveld J.). *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Boca Ratón, Florida, USA, Lewis Publishers, p 85-107.
- Bárcenas-Abogado P., L. Tijerina-Chávez, A. Martínez-Garza, A. E. Becerril-Román, A. Larqué-Saavedra y Ma. T. Colinas de León. 2002. Respuesta de Tres Materiales del Género *Hylocereus* a la Salinidad Sulfático-clorhídrica. *Terra* **20**(2): 123-127.
- Bernstain L. 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media I. Steady state. American Journal of Botany 48: 909-918.
- Blumwald E., S. A. Gilad y P. A. Maris. 2000. Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1465: 140-151.
- Borges-Gómez L., A. Escamilla-Bencumo., M. Soria-Fregoso y U. Casanova-Villarreal. 2005. Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamérica* 23(4):437-445.

- Brady N. 1990. The Nature and Properties of Soils. Mc Millan Publishing Company 10th. Edition. USA.
- Bronwyn J. B., R. Vera-Estrella, E. Balderas y O. Pantoja. 2007. Mecanismos de Tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotechnología*. CS3.indd **14**: 263-272
- Castellanos J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Segunda edición. Instituto Nacional de Capacitación (INCAPA). Guanajuato, México.
- Cervantes S. A., M. J Marques y P. Rivera. 2006. Análisis estadístico. Un enfoque práctico con Statgraphics. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. D. F., México.
- Cheeseman J. M. 1988. Mechanism of salinity tolerance in plants. *Plant physiol* **87**:547-550.
- Cortés J. y R. Herrera. 1995. Plan de Desarrollo Urbano y Arquitectónico en Ixmiquilpan, Hgo. Tesis de licenciatura. UNAM. p. 12-18.
- Cox G. W. 2002. General Ecology. Laboratory Manual. Eighth edition. Mc Graw Hill. USA.
- Desamparados M. y V. Pons. 2001. Prácticas de edafología y climatología. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- DFID, (Department For International Development). 1998. Impact of waster reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State, México. CAN, BGS, LSHTM and UB.
- Díaz M. E. 1991. Agricultura y suelos salinos. Folleto de Agroeconómico Fundación Chile. 6 pp.
- Díaz O. J. E. 2006. Riego por gravedad. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Domínguez E. de la Cruz. 2012. Tolerancia a la salinidad de asociaciones planta-hongos micorrízicos arbusculares en un suelo salino de Taxhadó y Maguey blanco. Ixmiquilpan, Hidalgo. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. D.F., México.
- Donald L. 2003. Environmental Soil Chemistry. Second Edition. Elsevier Science. ???? USA.
- Dorronsoró C. 2007. Contaminación por sales solubles. (Disponible en línea) <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/concep.html>. (Consulta febrero 2011).
- Dorronsoró C. 2010. Contaminación del suelo. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada. España. (<http://edafologia.ugr.es/index.htm>) Fecha de consulta. Diciembre de 2011.

- Epstein E. y A. J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2ª ed. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts, USA.
- FAO. 1988. Salt affected soils and their management. FAO soils bulletin 39. Rome, Italy.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 59. Roma.
- FAO. 2006. Guide lines for soil description. Fourth edition. FAO Rome, Italy.
- Fassberder H. W y B. Elemer. 1985. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ª ed. Servicio Editorial IICA. San José, Costa Rica.
- Feucher F. R. 2000. Transferencia de tecnología para el rescate de suelos mediante la integración ganadera. Recuperación de suelos salinos agrícolas, mediante el establecimiento de praderas bajo riego y cultivos alternativos. Diez acciones propuestas de Bioingeniería sostenible. *Revista de la Facultad de Salud Pública y Nutrición*. 1(3). Universidad Autónoma de Nuevo León. (Consulta en: Dirección General de Servicios de Cómputo Académico-UNAM, ciudad universitaria, D.F., México).
- Finck A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Reverté, Barcelona, España.
- Fitz E. A. 1985. Suelos: su formación, clasificación y distribución. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V., 2ª. Impresión. D.F., México.
- Flores D. A., V. Gálvez., O. Hernández., J. López., A. Obregón., R. Orellana., L. Otero y M. Valdés. 1996. Salinidad. Un nuevo concepto. Universidad de Colima. Colima, México.
- Florescano E. 2004. El patrimonio nacional de México. Primera reimpresión. FCE, CONACULTA. D. F., México.
- Foth H. D. 1980. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Compañía Editorial Continental S. A., 4ª impresión. D.F., México.
- García A. 2005. Gestión y conservación del suelo. Degradación del suelo. Degradación química. Salinización. Origen de la salinidad., Universidad de Extremadura. Departamento de Biología y Producción de los Vegetales. Área de Edafología y Química Agrícola., Extremadura, España.
- Gaston K. J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* **405**:220–227.
- Gómez D. 2004. Recuperación de espacios degradados. Mundi-Prensa. Madrid España.
- González F. 2003. Las comunidades vegetales de México. INE-SEMARNAT. D. F., México.
- González L., M., M. C. González y R. Ramírez. 2002. Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en plantas cultivadas. *Cultivos Tropicales*. **23**(2): 27-37

- Guevara O. M. O. 2009. Especies de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) y su influencia en la tolerancia y bioacumulación de sales en *Portulaca oleracea L.* y *Beta vulgaris var. Cicla L.* Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. D.F., México.
- Halffter G. y C. E. Moreno. 2005. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gama. In *Sobre la diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gama*, G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff y A. Meliá (eds.). M3M: Vol. 4, SEA, Zaragoza.
- Heike. 2011. Malezas de México. CONABIO. México.
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/solanum-rostratum/fichas/ficha.htm>. (Consulta Marzo 2012).
- Henschke C. 2005. Dryland Salinity Consultant and Tim Herrmann, Land Management Consultant. Gobierno del Sur de Australia. Primary Industries and Resources SA. Fact sheet no. 66/00. <http://www.por.sa.gov.au/factsheets>.
- Herrera J. Propiedades del suelo. www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo.shtm (Consulta Abril 2012).
- Hill M. O. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* **54**: 427-432.
- Hutchinson S. L., M. K. Banks, and A. P. Schwab. 2001. Phyto-remediation of aged petroleum sludge: effect of inorganic fertilizer. *J. Environ. Qual.* **30**: 395-403.
- INEGI. 1996. Cuaderno estadístico municipal Alfajayucan estado de Hidalgo, D. F., México.
- INEGI. 2005. Cuaderno estadístico municipal Ixmiquilpan, Hidalgo, México.
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/biblioteca/default.asp?accion=2&upc=702825001125&seccionB=bd (Consulta Enero 2011).
- ILACO. 1981. Agricultural compendium for rural development, in the tropics and subtropics. Ministerio de Agricultura y Pesca. Elsevier, La Haya, Holanda. 739 pp.
- Ixmiquilpan, 2009. H. Ayuntamiento del Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo 2009-2012.
http://ixmiquilpan.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=31 (Consulta marzo de 2011).
- Jackson L. M. 1970. Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Jeyarani P. y I. Ungar. 1984. The effect of seed dimorphism on the germination and survival of *Salicornia europaea L.* populations. *American Journal Botany* **71**:542-549
- Jiménez B., A. Chávez, E. Barrios, y R. Pérez. 2000. Impact and potential of reused water in the Mezquital Valley. *Water* **21**(6): 34-36.

- Jones R. 1998. Irrigating crops with seawater. Scientific American feature article. Research Laboratory Tucson, Arizona, USA.
- Katerji N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy, M. Mastrorilli y F. Karam. 1998. Salinity and drought, a comparison of their effects on the relationship between yield and evapotranspiration. *Agricultural Water Management* **36**:45-54
- Katerji N., J. W. van Hoorn., A. Hamdy y M. Mastrorilli. 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and the water stress day index. *Agricultural Water Management* 43: 99-109.
- Keren R. y S. Miyamoto. 1990. Reclamation of saline, sodic, and boron affected soils. *In*: K. K. Tanji (ed.). *Agricultural salinity assessment and management*. ASCE manuals and reports on engineering practice 71. New York, USA.
- Larcher W. 1995. *Physiological Plant Ecology*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology*. 4ª Edición. Springer, Germany.
- Levitt J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses*. New York: Academic, 2nd. Ed.
- López-Chuken y J. Ulrico. 2007. Diseño y construcción de un sistema de hidroponía de flujo continuo para estudios de fitoextracción. Congreso Regional, Memorias en extenso. Facultad de Ciencias Químicas, UANL, Nuevo León, México.
- Maass M. 2003. Principios Generales sobre Manejo de Ecosistemas. En: Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (Eds.). 2003. *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*. Diplomado en Conservación, Manejo y Aprovechamiento de Vida Silvestre. 2003. SEMARNAT; Instituto Nacional de Ecología; U. S: Fish and Wildlife Service; UPC; IGUNAM; Ford Foundation, Conanp, CIRB, SEGEM; CONABIO; Sierra Madre; Fondo Pro-Cuenca de Valle de Bravo. México. Society for Ecological Restoration (SER) Science and Policy Working Group. 2002. *The SER Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org.
- Mace J. E. y C. Amrhein. 2001. Leaching and Reclamation of Soil Irrigated with Moderate SAR Waters. *Soil Science Society American Journal*. **65**:199-204.
- Mahajan S. y N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444:139-158.
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plant*. Second edition. Academic Press. 889 pp.
- Margalef R. 1974. *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Martínez E. 1996. Restauración ecológica y biodiversidad. *Ciencias* 43: 56 - 59. México. <http://www.conabio.gob.mx/biodiversitas/restaura.htm>

- Martínez-Gamiño M. A. y P. M. Walthall. 2000. Propiedades Físicas, Químicas y Mineralógicas en el Encostramiento de Suelos de México y Louisiana, EU. *Terra* **18**(3): 179-184
- Monroy A. A. 2004. ¿Cómo recuperar suelos salinos? La fitorremediación: una ecotecnia para rehabilitar suelos contaminados e improductivos. *Expresión* **16**:8-11
- Monroy A., J. Estévez, R. García, R. Ríos. 2007. Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **80**:49-57.
- Montaño N. M. y A. Monroy. 2000. Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas en México. *Ciencia y Desarrollo*. **154**:26-37
- Moreno C. E., 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M & T- Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 89 pp.
- Munsell. 1992. Soil color charts, Estados Unidos de América: Macbeth Division of Munsell Color.
- Nash D. L. y N. P. Moreno. 1981. Flora de Veracruz. *Boraginaceae*. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Xalapa, México.
- Nobel Ps, Loik Me. 1999. Form and function of cacti. In:Robichaux RH (ed.) Ecology of Sonoran Desert plants and plant communities. The University of Arizona Press, Tucson.
- Norma Oficial Mexicana, PROY-NOM-021_REC NAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis.
- Núñez S. J. 2000. Fundamentos de edafología. 3a reimpresión de la 2 edición. EUNED. San José, Costa Rica.
- Núñez S. J. 2006. Manual de laboratorio de edafología. Universidad Estatal a Distancia. Primera reimpresión. San José, Costa Rica.
- ONG Perú ecológico. 2009. Enciclopedia virtual “Ecología del Perú”: Capítulo 18: La tierra y suelo como recursos naturales. www.peruecologico.com Consulta enero de 2012.
- Ortega E. M. 1993. Causas del ensalitramiento y su efecto sobre los suelos. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Ortega T. E. 1978. Química de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, México.

- Ortíz P. F. y J. P. Amado. 2001. Uso del agua de la Laguna de Bustillos para la producción de maíz. *Terra* **19**(2):183-189
- Ortíz-Villanueva, B. y C. A. Ortiz. 1988. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, México.
- Otero J., C. Gómez y R. Sánchez. 2002. Zonificación de los procesos de salinización de los suelos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia.
- Ozturk M., Y. Waisel, M. A. Khan y G. Gork. 2006. Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants: Vegetative bioremediation of sodic and saline-sodic soils for productivity enhancement and environment conservation. Birkhauser Verlag/Switzerland.
- Parida A. K. y A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **60**: 324-349.
- Peet R. K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **5**: 285-307.
- Pitman M. G. y A. Laüchli. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. *In: A Laüchli, U Lüttge (eds) Salinity: Enviroment-Plants-Molecules*. Kluwer. Dordrecht. The Netherlands. 3-20
- Ramos B. R., L. Cajuste., R. Flores y C. García. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencias* **35**: 385-395
- Renema W., D. R. Bellwood, J. C. Braga, K. Bromfield, R. Hall, K. G. Johnson, P. Lunt, C. P. Meyer, L. B. McMonagle, R. J. Morley, A. O'Dea, J. A. Todd, F. P. Wesselingh, M. E. J. Wilson, J. M. Pandolfi. 2008. Hopping hotspots: global shifts in marine biodiversity. *Science* **321**:654–657.
- Reyes J. I. 1996. Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo. Parte 1. UAM. D. F., México.
- Riley J., Watson, M., Moore, D. 1992. Halophyte collection list of accessions. Environmental research laboratory University of Arizona, USA. p 1-6.
- Robertson M., P. Nichols, P. Horwitz, K. Bradby y D. Mac-Kintosh. 2000. Environmental narratives and the need for multiple perspectives to restore degraded landscapes in Australia. *Ecosystem Health* **6**(2): 119-133.
- Rodríguez S. A. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. Segunda reimpresión. AGT editor. México, DF. 157 pp.

- Rueda-Puente, E. O., F. A. Beltrán Morales., F. Ruíz Espinoza., R.D. Valdez Cepeda., J. L. García Hernández., N. Y. Ávila Serrano., L. Partida Ruvalcaba y B. Murillo Amador. 2011. Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: aprovechamiento de la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, **13**(2):157-167. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México
- Ruíz C. E., R. A. Aldaco N., J. A. Montemayor T., M. Fortis H., J. Olague R. y J. C. Villagómez G. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Tecnológico Pecuario de México* **45**(1):19-24
- Ruiz J. 2003. Arbuscular micorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspective for molecular studies. *Mycorrhiza* **13**: 309-317
- Russell E. W. y E. J. Russel. 1968. Las Condiciones del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Ed. Aguilar. 9ª. Edición. Madrid, España.
- Rzedowski J. y R. G. Calderón de. 2005. Flora Fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología A. C., Centro Regional del Bajío. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán, México.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*. **14**:3-21.
- Sánchez-Bernal E., M. Ortega-Escobar, V. González-Hernández, G. Ruelas-Ángeles, J. Kohashi-Shibata y N. García-Calderón. 2003. Tolerancia de tubérculos de papa cv. Alpha en etapa de brotación a condiciones de salinidad. *Terra* **21**(4): 481-491.
- Sánchez O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y A. Danae. (Eds). 2005. Temas Sobre Restauración Ecológica. Diplomado en restauración ecológica. 1ª. Edición. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). D. F., México. www.ine.gob.mx [Consulta enero 2010].
- Sellers K. 1999. Fundamentals of hazardous waste site remediation. Lewis Publishers. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2001. Treatment Technologies for Site Cleanup: Annual Status Report. 10th Edition. Office of Solid Waste and Emergency Response. <http://www.epa.gov/TIO>. ——— 1998. An analysis of composting as an environmental remediation technology. 3. Office of Solid Waste and Emergency Response.
- SEMARNAT. 2003. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. D. F., México.
- Shannon M. C., y C. M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Science. Hortic.* **78**(1/4):5-38.
- Shuch U. 2005. Impact of Drought on Management of Salt Sensitive Plants with Reclaimed Water. *Grant number* 01-HQ-6R-0113.

- Singer M. J. y D. N. Munns. 1999. Soils: An introduction. 4th ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Skoog D. A. 1996. Química Analítica. Reverte. Barcelona, España.
- Smith R., y Smith T. 2002. Ecología. Addison Wesley. 4ª. Edición. Madrid, España
- Stallings J. M. 1984. El suelo y mejoramiento. CIA. Editorial Continental, S. A. de C. V. 11ª. Edición. D. F., México.
- Szabolcs I. 1994. Prospects of soil salinity for the 21 st. century. *15th World Congress of Soil Science Society*. 1:123-141.
- Taiz L y E. Zeiger. 2006. Plant physiology. 4a. edición. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts.
- Tanwar B. S. 2003. Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage. New Delhi, India.
- Toledo V. M. 1993. La riqueza florística de México: un análisis para conservacionistas. In: S. Guevara, P. Moreno-Casasola y J. Rzedowski (ed.). Logros y perspectivas del conocimiento de los recursos vegetales de México, en vísperas del siglo XXI. Instituto de Ecología, Xalapa, México.
- Throop W. 2000. Environmental Restoration. Ethics, Theory and Practice. Humanity Books. USA.
- Vázquez-Yanes C. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico de proyecto J084.CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM.
- Van Deuren J., Z. Wang, Z. y J. Ledbetter 1997. *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*. 3ª Ed. Technology Innovation Office, EPA. <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>
- Velasco-Molina H. A. 1991. Las Zonas Áridas y Semiáridas. Sus características y manejo. ITESM. Noriega Editores. Limusa. D. F., México.
- Villaseñor R., y F. J Espinoza. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. D.F., México.
- Walker I. 2004. Using conductivity meters in agriculture. Department of Primary Industries and Fisheries. The State of Queensland. (Disponible en línea) <http://www2.dpi.qld.gov.au/horticulture/3096.html>. [Citado abril 2008].

- Wiggins I. L. 1980. Flora of Baja California. Stanford University press Stanford. California, USA.
- Wild A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- WRB. 2007. Base Referencial Mundial del recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales del Suelo No. 103. FAO, Roma.
- Yamaguchi y Blumwald, 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science* **10**(12): 615-620.
- Zarco V. M., J. L. Valdez, G. Ángeles y O. Castillo. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Universidad y Ciencia. *Trópico húmedo* **26**(1):1-17 (<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/solanum-rostratum/fichas/ficha.htm>).

XIV. ANEXO 1. CORRELACIONES

14.1 Cuadro 29. Correlación. Temporada húmeda.

PARÁMETROS	r	p	PARÁMETROS	r	p
Ca ²⁺ - CIC	0.5836	0.0007	Cl ⁻ - CO ₃ ²⁻	0.6142	0.0003
Ca ²⁺ - Cl ⁻	0.8048	0.0000	Cl ⁻ - HCO ₃ ⁻	0.5608	0.0013
Ca ²⁺ - CO ₃ ²⁻	0.6236	0.0002	Cl ⁻ - K ⁺	0.7847	0.0000
Ca ²⁺ - K ⁺	0.8089	0.0000	Cl ⁻ - Mg ²⁺	0.7745	0.0000
Ca ²⁺ - Mg ²⁺	0.6249	0.0002	Cl ⁻ - MO	0.8221	0.0000
Ca ²⁺ - MO	0.6414	0.0001	Cl ⁻ - Na ⁺	0.8636	0.0000
Ca ²⁺ - Na ⁺	0.5912	0.0006	Cl ⁻ - Profundidad	-0.6494	0.0001
Ca ²⁺ - Profundidad	-0.415	0.0226	Cl ⁻ - SO ₄ ²⁻	0.8387	0.0000
Ca ²⁺ - SO ₄ ²⁻	0.5183	0.0000	CO ₃ ²⁻ - K ⁺	0.4522	0.0121
Ce - Ca ²⁺	0.5821	0.0007	CO ₃ ²⁻ - Mg ²⁺	0.6878	0.0000
Ce - CIC	0.8088	0.0000	CO ₃ ²⁻ - MO	0.4911	0.0059
Ce - Cl ⁻	0.8635	0.0000	CO ₃ ²⁻ - Na ⁺	0.5627	0.00012
Ce - CO ₃ ²⁻	0.4632	0.0100	CO ₃ ²⁻ - SO ₄ ²⁻	0.5838	0.0007
Ce - HCO ₃ ⁻	0.6167	0.0003	HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺	0.5042	0.0045
Ce - K ⁺	0.7285	0.0000	HCO ₃ ⁻ - MO	0.5158	0.0035
Ce - Mg ²⁺	0.773	0.0000	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺	0.637	0.0002
Ce - MO	0.8439	0.0000	HCO ₃ ⁻ -Profundidad	-0.4941	0.0055
Ce - Na ⁺	0.9455	0.0000	HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻	0.6757	0.0000
Ce - Profundidad	-0.7398	0.0000	HCO ₃ ⁻ -Sitio	0.4246	0.0193
Ce - SO ₄ ²⁻	0.8839	0.0000	K ⁺ - Mg ²⁺	0.6739	0.0000
CIC - Cl ⁻	0.824	0.0000	K ⁺ - MO	0.6312	0.0002
CIC - CO ₃ ²⁻	0.5764	0.0009	K ⁺ - Na ⁺	0.6724	0.0000
CIC - HCO ₃ ⁻	0.6948	0.0000	K ⁺ - Profundidad	-0.567	0.0011
CIC - K ⁺	0.6262	0.0002	K ⁺ - SO ₄ ²⁻	0.5592	0.0013
CIC- Mg ²⁺	0.8657	0.0000	Mg ²⁺ - MO	0.753	0.0000
CIC - MO	0.7514	0.0000	Mg ²⁺ - Na ⁺	0.7713	0.0000
CIC - Na ⁺	0.8383	0.0000	Mg ²⁺ - Profundidad	0.6078	0.0040
CIC - Profundidad	-0.6029	0.0004	Mg ²⁺ - SO ₄ ²⁻	0.8212	0.0000
CIC - SO ₄ ²⁻	0.8640	0.0000	MO- Na ⁺	0.8777	0.0000
CIC - Sitio	0.3647	0.0475	MO - Profundidad	-0.7591	0.0000
Na ⁺ - Profundidad	-0.6617	0.0001	MO - SO ₄ ²⁻	0.8346	0.0000
Na ⁺ - SO ₄ ²⁻	0.9195	0.0000	Profundidad - SO ₄ ²⁻	-0.6491	0.0001

r: coeficiente de varianza; p ≤ 0.05

14.2 Cuadro 30. Correlación. Temporada seca.



PARÁMETROS	r	p	PARÁMETROS	r	p
Ca ²⁺ - CIC	0.5641	0.0014	Cl ⁻ - Mg ²⁺	0.7603	0.0000
Ca ²⁺ - Cl ⁻	0.7986	0.0000	Cl ⁻ - MO	0.8166	0.0000
Ca ²⁺ - CO ₃ ²⁻	0.6128	0.0004	Cl ⁻ - Na ⁺	0.8594	0.0000
Ca ²⁺ - K ⁺	0.8044	0.0000	Cl ⁻ - Profundidad	-0.6361	0.0002
Ca ²⁺ - Mg ²⁺	0.6156	0.0004	Cl ⁻ - SO ₄ ²⁻	0.8334	0.0000
Ca ²⁺ - MO	0.6294	0.0003	CO ₃ ²⁻ - K ⁺	0.4396	0.0170
Ca ²⁺ - Na ⁺	0.5772	0.0010	CO ₃ ²⁻ - Mg ²⁺	0.0808	0.0000
Ca ²⁺ - Profundidad	-0.387	0.0381	CO ₃ ²⁻ - MO	0.4766	0.0090
Ca ²⁺ - SO ₄ ²⁻	0.5005	0.0057	CO ₃ ²⁻ - Na ⁺	0.5501	0.0020
Ce - Ca ²⁺	0.567	0.0013	CO ₃ ²⁻ - SO ₄ ²⁻	0.571	0.0012
Ce - CIC	0.8019	0.0000	HCO ₃ ⁻ - Mg ²⁺	0.4977	0.0060
Ce - Cl ⁻	0.8591	0.0000	HCO ₃ ⁻ - MO	0.5088	0.0048
Ce - CO ₃ ²⁻	0.4468	0.0151	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺	0.6326	0.0002
Ce - HCO ₃ ⁻	0.6122	0.0004	HCO ₃ ⁻ -Profundidad	-0.4877	0.0073
Ce - K ⁺	0.7217	0.0000	HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻	0.6727	0.0001
Ce - Mg ²⁺	0.7677	0.0000	HCO ₃ ⁻ -Sitio	0.4161	0.0247
Ce - MO	0.8385	0.0000	K ⁺ - Mg ²⁺	0.6671	0.0001
Ce - Na ⁺	0.9436	0.0000	K ⁺ - MO	0.662	0.0003
Ce - Profundidad	-0.7281	0.0000	K ⁺ - Na ⁺	0.6641	0.0001
Ce - SO ₄ ²⁻	0.8793	0.0000	K ⁺ - Profundidad	-0.5542	0.0018
CIC - Cl ⁻	0.8213	0.0000	K ⁺ - SO ₄ ²⁻	0.5473	0.0021
CIC - CO ₃ ²⁻	0.5617	0.0015	Mg ²⁺ - MO	0.7472	0.0000
CIC - HCO ₃ ⁻	0.6994	0.0000	Mg ²⁺ - Na ⁺	0.7659	0.0000
CIC - K ⁺	0.6171	0.0004	Mg ²⁺ - Profundidad	-0.5975	0.0006
CIC- Mg ²⁺	0.8703	0.0000	Mg ²⁺ - SO ₄ ²⁻	0.8174	0.0000
CIC - MO	0.743	0.0000	MO- Na ⁺	0.8737	0.0060
CIC - Na ⁺	0.8347	0.0000	MO - Profundidad	-0.7503	0.0000
CIC - Profundidad	-0.5706	0.0012	MO - SO ₄ ²⁻	0.8287	0.0000
CIC - SO ₄ ²⁻	0.8599	0.0000	Na ⁺ - Profundidad	-0.6471	0.0001
Cl ⁻ - CO ₃ ²⁻	0.6037	0.0005	Na ⁺ - SO ₄ ²⁻	0.9167	0.0000
Cl ⁻ - HCO ₃ ⁻	0.5549	0.0018	Profundidad - SO ₄ ²⁻	-0.6316	0.0002
Cl ⁻ - K ⁺	0.7796	0.0000			

r: coeficiente de varianza; p ≤ 0.05

XV. DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE LAS ESPECIES

En el siguiente cuadro se describen las especies encontradas en la zona de estudios en ambas temporadas.

Cuadro 31. Descripción ecológica de las especies presentes en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco.

ESPECIE	DESCRIPCIÓN	FIGURAS
<p><i>Atriplex coulteri</i> (Moq.) D. Dietr. Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Caryophyllales Familia: Chenopodiaceae</p> <p>De acuerdo a: Catálogo de la Vida 2010: The Integrated Taxonomic Information System</p>	<p>Hierba, perenne, extendiéndose 0,7 a 10 dm, ligeramente leñosa en la base de tallos con frecuencia teñida de rojo, muy ramificado, poco casposa muchas hojas, sésiles o corto pecioladas, obovadas hoja, oblongas, o elípticas, base cuneada, margen entero, ápice agudo Flores estaminadas en glomérulos en las axilas distales y espigas terminales cortas las flores pistiladas en pequeños racimos axilares sésiles o bracteolas de fruto. Subsésiles, ampliamente obovados, margen libre, profunda y agudamente dentado, se reduce en la cumbre, se enfrenta a lisa o a veces tuberculado.</p>	 <p>Figura 20. <i>Atriplex coulteri</i></p>
<p><i>Atriplex suberecta</i> (Verd.) Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Caryophyllales Familia: Chenopodiaceae</p>	<p>Hierba tendida, cubierta por escamas diminutas y suaves o con muy pocos pelos. De 20 a 80 cm de largo. Tallo muy ramificado, con ramas delgadas. Hojas, numerosas, alternas, oblongas, a menudo obtusas en el ápice y cuneadas en la base, borde con frecuencia irregularmente dentado, a veces entero, haz verde-grisáceo, envés verde con pequeñas escamas, flores dispuestas en glomérulos terminales y axilares, brácteas del fruto sésiles, rómbica, la parte inferior cuneada con el borde entero, la parte superior triangular con pocos dientes, superficie verde, a menudo con tres nervaciones manifiestas, sin tubérculos; extremo de la radícula en la parte superior. Presenta frutos dispuestos en fascículos axilares; valvas verdes.</p>	 <p>Figura 21. <i>Atriplex suberecta</i></p>

Cuadro 31. Descripción ecológica de las especies presentes en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco (“Continuación”).

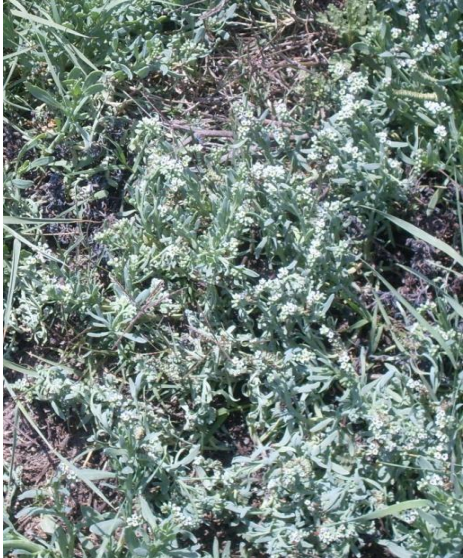


ESPECIE	DESCRIPCIÓN	FIGURAS
<p><i>Heliotropium curassavicum</i> (L.) Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Lamiales Familia: Boraginaceae</p>	<p>Planta anual o perenne, suculenta (sin pelos), verde-azulosa a azul-grisáceo, con la ramificación dirigida hacia arriba. De hasta 50 cm o más de altura. Tallo postrado o decumbente. Hojas: alternas, sésiles, lineares, linear-oblongas, con la parte apical más ancha que la basal, ápice obtuso a redondeado, enteras, base atenuada. Inflorescencia: en forma de cimas escorpioideas, terminales o extraxilares, solitarias o en pares, raramente ternadas, sin brácteas. Flores: corola blanca, tubo cilíndrico, de largo aproximadamente igual que los sépalos, lóbulos verdosos, anteras en forma de flecha, subsésiles sobre el tubo, se tocan pero no se fusionan. Fruto subgloboso, color café verdoso, amarillo verdoso, café o café oscuro, superficie tuberculada con protuberancias.</p>	
<p><i>Cynodon dactylon</i> (L.) Reino: Plantae Clase: Liliopsida Orden: Cyperales Familia: Poaceae = Gramineae</p>	<p>Hierba perenne. De 10 a 30 cm de alto, crece con estolones. Tallos delgados, erectos o decumbentes. Hojas: vainas generalmente más cortas que los entrenudos, las inferiores usualmente quilladas, los bordes membranosos, lígulas membranosas, láminas, aplanadas, en ocasiones dobladas. Inflorescencia: espigas (3) 4 a 6, distribuidas en un verticilo, usualmente radiadas. Espiguillas adpresas en el raquis e imbricadas, verde violáceas, la primera falcada (en forma de hoz), la segunda lanceolada fuertemente doblada y aquillada. Frutos y semillas: elíptico, cuerpo translúcido de color ambarino o cremoso, de textura estriada extremadamente fina. Lo que aparece como plántula es en realidad el primer brote de un estolón. La primera hoja del brote con vaina, sin pelos; lígula sin pelos; lámina linear, sin pelos; la segunda hoja siempre de ápice agudo.</p>	

Figura 22. *Heliotropium curassavicum*

Figura 23. *Cynodon dactylon*

Cuadro 31. Descripción ecológica de las especies presentes en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco (“Continuación”).

ESPECIE	DESCRIPCIÓN	FIGURAS
<p><i>Hordeum jubatum</i> (L.) Reino: Plantae Clase: Liliopsida Orden: Cyperales Familia: Poaceae = Gramineae</p>	<p>Planta herbácea anual o perenne. De hasta de 75 cm de alto, aunque por lo general mucho más baja. Hojas: lígulas diminutas, truncadas, láminas foliares de 6 a 15 cm de largo, de 2 a 8 mm de ancho. Inflorescencia: De 2 a 12 cm de largo y de 4 a 10 mm de ancho sin contar las aristas, muy frágil en la madurez. Espiguillas laterales reducidas, a menudo sólo representadas por 1 a 3 aristas, glumas de la espiguilla fértil también aristiformes y más o menos del mismo largo, desprovistas de cilios en el margen; lema igualmente terminada en arista de similar longitud. Frutos y semillas: cariopsis de contorno oblongo comprimida, color café a café ambarino, pubescente en el ápice, pelos blancos.</p>	 <p data-bbox="1068 936 1430 961">Figura 24. <i>Hordeum jubatum</i></p>
<p><i>Chenopodium berlandieri</i> (Moq.) Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Caryophyllales Familia: Chenopodiaceae</p>	<p>Hierba erecta. De 40 a 2 m de alto. Tallo: simple o ramificado hacia el ápice, con frecuencia simple hacia la base, anguloso y con rayas longitudinales, de color verde claro o amarillento, a veces rojizo, ramas extendidas o ascendentes. Hojas: láminas foliares inferiores oblongas a rómbico-ovadas, a veces levemente hastado-lobadas, las superiores tendiendo a lanceoladas, enteras a irregularmente dentadas, de color verde amarillento y más o menos de textura harinosa sobre todo en el envés; peciolo delgados. Inflorescencia: Densa o laxa. Numerosas flores agrupadas en glomérulos compactos, dispuestos en espigas paniculadas, con frecuencia provistas de algunas hojas reducidas; fruto encerrado total o parcialmente por el perianto; pericarpio membranáceo, más o menos adherente a la semilla, regularmente reticulado-alveolado (semejando un panal de abejas); semilla horizontal, con el margen obtuso, brillante, negra o anaranjada a roja, diminuta y alveolada o verrucosa.</p>	 <p data-bbox="1016 1665 1476 1690">Figura 25. <i>Chenopodium berlandieri</i></p>

Cuadro 31. Descripción ecológica de las especies presentes en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco (“Continuación”).


ESPECIE	DESCRIPCIÓN	FIGURAS
<p><i>Chenopodium dessicatum</i> (A. N.) Reino: Plantae Clase: Equisetopsida Orden: Caryophyllales Familia: Amaranthaceae</p>	<p>Herbácea, anual, erecta o postrada, de hasta un metro de altura. Farinada en todas las partes jóvenes. Tallo simple o ramificado cerca de la base. Hojas inferiores lanceoladas, tres nervaciones, con dos óvulos en a mitad inferior. Flores blancas-amarillentas, reunidas en glomérulos; cáliz formado por cinco sépalos hasta más abajo de la mitad; frutos verde-violáceos, encerrados en el cáliz, pericarpio liso, no adherente, semilla horizontal, lisa. Abundante de distribución localizada.</p>	
<p><i>Chenopodium fremontii</i> (S. Watson) Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Caryophyllales Familia: Chenopodiaceae</p>	<p>Hierba ramificada, pero con un eje principal bien definido; De hasta 60 cm de alto. Tallo: las ramas delgadas, algo zigzagueantes, con poca o ninguna apariencia de estar cubiertas de harina (farinosas). Hojas anchamente triangulares o rómbicas a veces el margen algo dentado con la base aflechada; los pecíolos delgados. Las hojas superiores más pequeñas, de color verde-amarillento. Las flores se encuentran en grupitos compactos dispuestos en espigas ramificadas, amplias, algo zigzagueantes, no se distingue el cáliz de la corola. El fruto es seco y no se abre, con una membrana (pericarpio) que cubre - pero no se adhiere- a la única semilla. Este fruto llamado utrículo se encuentra completa o incompletamente encerrado en el perianto. Semillas con el borde engrosad, pericarpio no adherido, oscura, brillante y casi lisa, de hasta 1.2 mm de diámetro.</p>	

Figura 26. *Chenopodium dessicatum*

Figura 27. *Chenopodium fremontii*

Cuadro 31. Descripción ecológica de las especies presentes en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco (“Continuación”).

ESPECIE	DESCRIPCIÓN	FIGURAS
<p><i>Solanum rostratum</i> (Dunal) Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Solanales Familia: Solanaceae</p>	<p>Hierba erecta, por lo general profusamente ramificada, cubierta con pelos estrellados. Hasta de 1 m de alto. Tallo: provisto de numerosas espinas subuladas. Hojas: alternas, ovadas en contorno general, 1 a 2 veces pinnatisectas con lóbulos anchos, suborbiculares a oblongos, espinudas en el peciolo y en las nervaduras, ápice agudo u obtuso, borde sinuoso o irregularmente lobulado, con pelos. Inflorescencia: cimas laterales, pedicelos. Flores con cáliz densamente pubescente y a menudo provisto de espinas; corola amarilla, pentagonal, ligeramente zigomórfica (con simetría bilateral), pubescente por fuera; 4 anteras a menudo con tintes rojos o morados. Fruto esférico, semillas comprimidas, color negro brillante, a veces gris plomizo, rara vez café rojizo.</p>	 <p data-bbox="1055 934 1442 961">Figura 28. <i>Solanum rostratum</i></p>
<p><i>Ambrosia psilostachya</i> (DC.) Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Asterales Familia: Asteraceae = Compositae</p>	<p>Hierba perenne de hasta un metro, erecta, color verde, áspero al tacto. Tallo simple, a veces ramificado, estriado, verde o amarillento, a veces leñosa en la base. Hojas: opuestas en la base y alternas arriba, pecioladas ovadas en contorno general, divididas, pinnatífidas a bipinnatífidas, los últimos segmentos lineares a ovados, margen entero o ligeramente aserrado, estrigulosas en ambas caras, ásperas al tacto, tienen globulitos de resina. Inflorescencias que parecen flores individuales. Cabezuelas masculinas en un arreglo parecido a una espiga; femeninas solitarias o agrupadas en las axilas de las hojas superiores o en la base de la inflorescencia masculina. Flores masculinas, sus corolas blanquecinas, en forma de embudo. Cabezuelas femeninas con solo una flor, más o menos pubescentes y glandulosas. Frutos y semillas: Un aquenio ovado, cubierto por un involucre sin espinas, con 4 a 6 tubérculos cortos, color crema, pajizo, verdoso, verdoso rojizo.</p>	 <p data-bbox="1036 1738 1461 1766">Figura 29. <i>Ambrosia psilostachya</i></p>

Cuadro 31. Descripción ecológica de las especies presentes en los suelos salinos de Taxhadó y Maguey Blanco (“Continuación”).



ESPECIE	DESCRIPCIÓN	FIGURAS
<p><i>Ranunculus cymbalaria</i> (Pursh) Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Ranunculales Familia: Ranunculaceae</p>	<p>Hierba perenne, acuática, algo carnosa, más o menos erecta, a veces con escasos pelos erguidos. De hasta 30 cm de largo. Tallo: largo, tendido sobre el suelo que da lugar a nuevas plantas. Hojas: basales, sobre largos pecíolos casi circulares, con la base a veces acorazonada, con pequeñas hendiduras en el margen. Inflorescencia: flores solitarias, sobre largos pedicelos. Sépalos 5; pétalos 5, amarillos o verdosos, con una especie de bolsita en la base donde se acumula el néctar; ovarios numerosos formando en conjunto una cabezuela prominente. Frutos: diminutos, secos, ligeramente cuadrangulares, con un pico triangular en una de sus esquinas y con 4 o más surcos a lo largo de sus dos caras. De 100 a 300 de estos pequeños frutos están dispuestos sobre un receptáculo peludo, formando una cabezuela cilíndrica.</p>	
<p><i>Spergularia marina</i> (L.) Griseb Reino: Plantae Clase: Magnoliopsida Orden: Caryophyllales Familia: Caryophyllaceae</p>	<p>Hojas: lineares de unos 2-3 cm, algo suculentas, sin pecíolo, dispuestas por pares opuestos, con estípulas escariosas en la inserción con el tallo que, al inicio, están soldadas hasta aproximadamente la mitad. Toda la planta, incluyendo las hojas y en especial las inflorescencias, está erizada de pequeños pelos glandulares. Las flores se organizan en una inflorescencia cimosa que posee también hojas progresivamente menores. Las flores son estrelladas con 5 pétalos tan largos como los sépalos, bicolors, blancos en la base y rosa intenso en el ápice. El número de estambres es muy variable, entre 1 y 8 por flor. El fruto es una cápsula que contiene pequeñas semillas discoidales, la mayoría sin ala alrededor o con un ala muy pequeña.</p>	

Figura 30. *Ranunculus cymbalaria*

Figura 31. *Spergularia marina*