



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**Acelga, Romerito y Pasto Bermuda, extractoras de sodio y  
potasio de suelos salinos de Cuemanco.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE BIÓLOGA**

**PRESENTA**

**Miranda López Ana Isabel**



**DIRECTORA DE TESIS: DRA. ESTHER MATIANA GARCÍA AMADOR**

**Laboratorio de Contaminación y Fitorremediación de suelos.**

**México, D.F.**

**Abril 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre Ana María López Porque por ella termine la carrera y siempre estuvo ahí para que no me desanimara a pesar de la adversidad.

A Raquelito que ha sido siempre un apoyo incondicional en mi vida y ha estado a mi lado.

A Felipe que siempre me ha apoyado, aconsejado para hacerme crecer interiormente.

A Jukari e Isaid que por ellos he logrado esta meta y a pesar de todo siempre dijeron tu puedes.

A la Dra. Esther Matiana García Amador que me dio la oportunidad, apoyo y paciencia para alcanzar esta meta.

A la Profesora Leticia López Vicente que me dio ánimos para continuar y terminar este objetivo.

A Evita que me apoyo y animó a seguir adelante.

A Gustavo M. que siempre ha estado ahí para decirme tú puedes.

Y a todos aquellos que de alguna manera tuvieron que ver en la realización y culminación de este trabajo GRACIAS.

<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁGINA</b>
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Contaminación del agua	3
2.2. Contaminación de suelo	4
2.3. Sodio	5
2.4. Potasio	6
2.5. Fitorremediación	7
2.6. Especies a emplear	9
2.7. Acelga	9
2.8. Romerito	10
2.9. Pasto	11
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. HIPÓTESIS	14
5. OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos Particulares	14
6. MÉTODO	15
6.1. Descripción del área de estudio	15
6.2. Clima	15
6.3. Suelos	16
6.4. Orografía	17
6.5. Vegetación	18
6.6. Muestreo de suelo	19
6.7. Diseño experimental	21
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
8. CONCLUSIONES	40
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1	<i>Beta vulgaris</i> L.	9
Figura 2	<i>Suaeda torreyana</i> S.	10
Figura 3	<i>Cynodon dactylon</i> L.	11
Figura 4	Vista de la zona de colecta de suelo	16
Figura 5	Vista de los suelos de las chinampas de Cuemanco	17
Figura 6	Muestra de suelo colectada de las chinampas	19
Figura 7	Pruebas de germinación de <i>Suaeda torreyana</i> , <i>Cynodon dactylon</i> y <i>Beta vulgaris</i>	21
Figura 8	Plántulas en agrolita después de la germinación	22
Figura 9	<i>Cynodon dactylon</i> medición semanal	22
Figura 10	Mediciones semanales de altura total de <i>Suaeda torreyana</i> y <i>Beta vulgaris</i>	23
Figura 11	Arreglo en el bancal de <i>Suaeda torreyana</i> en el invernadero de la FES Zaragoza	23
Figura 12	Arreglo en el bancal de <i>Beta vulgaris</i> en el invernadero de la FES Zaragoza	24
Figura 13	Muestras molidas por separado de tallo, hoja, peciolo y raíz	24
Figura 14	Altura de las tres especies: Romero, Acelga y Pasto	30
Figura 15	<i>Cynodon dactylon</i> y <i>Beta vulgaris</i> después de la cosecha	31
Figura 16	<i>Suaeda torreyana</i> después de la cosecha	32
Figura 17	Tasa relativa de crecimiento de las tres especies	32
Figura 18	Porcentaje de supervivencia de las tres especies	33

## ÍNDICE DE CUADROS

		<b>PÁGINA</b>
CUADRO 1	Parámetros físicos y químicos	26
CUADRO 2	Porcentaje de germinación	29
CUADRO 3	Tasa relativa de crecimiento	33
CUADRO 4	Determinación de sodio y potasio en el suelo (g. Kg <sup>-1</sup> )	34
CUADRO 5	Concentración de sodio y potasio en la planta (g. Kg <sup>-1</sup> )	35
CUADRO 6	Secuencias de acumulación en la concentración de Na y K	36
CUADRO 7	Peso húmedo y seco de las tres especies (g)	38
CUADRO 8	Factor de traslocación e índice de tolerancia	38

## RESUMEN

Cuemanco es un área natural de gran importancia debido a la gran cantidad de especies animales y vegetales que alberga, sin embargo el desecamiento de los manantiales que lo alimentaban por su sobre explotación y el cambio de esta por agua tratada, que contiene una gran cantidad de sales ha propiciado una baja productividad de las chinampas, principalmente debido a la salinidad que hay en el suelo, afectando el desarrollo de muchas especies vegetales y atentando contra su condición de Patrimonio Mundial Cultural; por ésta razón se emplearon tres especies que crecen en el sitio (Romero, Acelga y Pasto Bermuda) como extractoras de potasio y sodio con el fin de disminuir la salinidad del suelo; se plantearon los siguientes objetivos: Evaluar la capacidad extractora del sodio y el potasio del *Cynodon dactylon*, *Suaeda torreyana* y *Beta vulgaris*, así como la supervivencia, altura y tasa relativa de crecimiento. Los resultados obtenidos fueron que cada una de las especies desarrollaron cualidades para sobrevivir a la salinidad, la acelga presentó un porcentaje de germinación del 90% y una supervivencia del 92% y de acuerdo al índice de traslocación se considera hiperacumuladora de sodio y potasio. En el caso del romero presentó un porcentaje de supervivencia del 26 %, este es el tratamiento que creció 13 cm más que el control, es tolerante al sodio e hiperacumulador de potasio. El pasto al estar en suelo salino redujo su altura por 23 cm comparado con el control, es tolerante al sodio e hiperacumulador de potasio. Por lo que se concluye que las tres especies son eficientes en reducir la concentración de sodio y potasio en el suelo y la más eficiente de las tres fue la acelga.

## 1.- INTRODUCCIÓN

México es un país agrícola desde la época prehispánica, llegando a desarrollar un complejo sistema agrícola, altamente productivo y sustentable denominado chinampa (Flores, 2009) que abastecía a la Ciudad de México con un 70% de sus productos, en el riego se empleaba el agua del lago y los canales.

A principios del siglo XX, se inició la extracción de agua de Xochimilco para abastecer a la Ciudad (Olvera, 2004) por lo cual, los manantiales empiezan a perder sus niveles; en la década de los 50', para compensar esta pérdida enviaron aguas de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella (Flores, 2009; Olvera, 2004) cuya construcción solo se encontraba al 75%, las aguas eran insuficientemente tratadas (con alta presencia de detergentes) y aunadas a las aguas negras provenientes de las zonas habitadas de los alrededores de los canales y el lago de Xochimilco, se provocó que la productividad de los suelos descendiera y los agricultores usaran productos agroquímicos (plaguicidas, fertilizantes, herbicidas) para aumentarla.

La composición de detergentes y fertilizantes a base de diferentes sales (nitrato de sodio, nitrato y sulfato de potasio, sulfato de amonio, fosfatos, etc.) han aumentado la salinidad del suelo (Flores, 2009; Vanegas y Ospina, 2012).

La salinidad afecta la producción de cultivos, el crecimiento, la reducción del potencial hídrico, disminuye la disponibilidad del agua creando un desequilibrio nutritivo debido a la concentración de algunos elementos (sodio y cloro) que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular.

Por lo que estos suelos deben recuperarse, una alternativa es la fitorremediación, la cual emplea la capacidad de las plantas para absorber y extraer contaminantes del suelo, en este caso sodio y potasio, aunque este último es un micronutriente, en exceso provoca antagonismos con otros elementos importantes para el



desarrollo de la planta acumulándolo en hojas, tallos o raíces (Ferrera *et al.*, 2007), además de que es una alternativa de bajo costo y se pueden emplear plantas del sitio. En este trabajo se evaluó la acelga, romerito y pasto como extractoras de sodio y potasio de los suelos salinos de Xochimilco para controlar el proceso de salinización.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación del agua es la adición de materiales al agua, afectando su calidad, lo cual es un grave problema a nivel mundial, son pocos los esfuerzos para solucionarlo, pues no se ha tomado conciencia de la importancia del líquido ya que es esencial para la vida vegetal y animal.

Existen diversos tipos de contaminantes que afectan al agua como son:

- a) Físicos: desechos sólidos (residuos sólidos, polvo, etc.), los cuales enturbian el agua, además de propiciar la presencia de microorganismos, que disminuyen la concentración de oxígeno, propiciando la muerte de la flora y fauna, de tal manera que el agua no puede ser empleada para usos agrícolas o industriales.
  
- b) Químicos: como ácidos y detergentes, al no ser biodegradables, permanecen por largos períodos de tiempo, debido a que sus estructuras son complejas y difíciles de degradar (Manahan, 2006); algunos contaminantes llegan a ser tóxicos como los hidrocarburos, metales pesados y agroquímicos en general, dañan a los seres vivos (Torres, 2003).

Una fuente importante de contaminación, son las aguas negras o residuales, que son enviadas a través del alcantarillado hasta un receptor común (Aguilar, 2011).

Estas después de haber pasado por un proceso de depuración pueden ser empleadas para el riego agrícola (Nebel y Wright, 1999; De la Rosa, 2006).

La importancia del agua para ser utilizada en la agricultura depende de muchos factores como son: características y uso del suelo, lluvia, evaporación, recarga de acuíferos y condiciones climáticas. El agua, debe someterse a algún tratamiento, con el fin de remover elementos que sean perjudiciales a los suelos de los cultivos (Serrano, 2008), se debe considerar que los canales de Cuemanco se llenan con aguas tratadas y el suelo del fondo se emplea en la formación de las chinampas, lo que incrementa la concentración de Na y disminuye la productividad del suelo y la calidad de los cultivos.

## 2.2 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El suelo es un sistema abierto que con el tiempo evoluciona para mantenerse en equilibrio; el hombre obtiene muchos beneficios de este (alimentos, plantas medicinales, forrajes, fibras o productos forestales) y a pesar de que nos brinda una serie de servicios, el hombre lo ha sobreexplotado provocando su deterioro (Seoanez *et al.*, 1999). En particular, los vertidos industriales y urbanos, agroquímicos, y lodos procedentes de estaciones depuradoras, han provocado que se incrementen los niveles de contaminación, afectando a la biota edáfica y a las plantas produciendo cambios morfológicos, así como alteraciones fisiológicas en su bioquímica, actividades enzimáticas y en la reproducción (Bautista *et al.*, 2004).

Un contaminante de los suelos son las sales, que producen la salinización que es un proceso de degradación por causas naturales o antrópicos, las sales son benéficas pero en exceso perjudican el desarrollo de las plantas.

Otero *et al.*, (2007) señalan que la salinidad es un efecto del empleo de fertilizantes y del agua de riego, ya que para garantizar su suministro, se ha implementado el riego con aguas provenientes de plantas tratadoras; lo que está pasando en Xochimilco, debido a las aguas tratadas de la Planta del Cerro de la Estrella que llegan a los canales para mantenerlo con cierta profundidad, al igual

que al empleo de invernaderos con un uso intensivo de agroquímicos, al cierre de canales y zanjas, a la deforestación que dan lugar al desbordamiento de material de las chinampas, que azolva los canales (Chávez, 2000), lo que causa un aumento en la salinidad del suelo.

Los problemas de salinidad aparecen cuando se concentran sales solubles procedentes de un regadío en suelos productivos donde los iones dominantes son el Na y el Cl; una elevada concentración de Na produce una interferencia en la absorción de nutrientes (K, Ca, NO<sub>3</sub>) e impide la captación de los mismos causando toxicidad en la planta (Leidi y Pardo, 2002), esto se presenta cuando el Na entra en competencia por los sitios de enlace con el K el cual es esencial para el metabolismo (González *et al.*, 2002; Villa *et al.*, 2006). Una alta concentración de sodio desplaza a los iones de Ca de los sitios de enlace de la membrana celular en la raíz y altera su permeabilidad causando una salida de K de las células favoreciendo la entrada de Na (Chávez *et al.*, 2011; Leidi y Pardo, 2002; Villa *et al.*, 2006).

### 2.3 SODIO

El sodio es un metal suave, el más importante de los metales alcalinos, ocupa el sexto lugar en la corteza terrestre, contiene el 2.83% en formas combinadas, es un elemento no móvil pero absorbe fácilmente la humedad, si este se encuentra en aguas de regadío afecta la permeabilidad del suelo y causa problemas de infiltración.

Cuando se encuentra presente en el suelo es intercambiable por otros iones, es decir una alta concentración de iones de sodio puede desplazar el calcio y el magnesio, provocando cambios en la estructura del suelo, haciéndolo más compacto y duro, reduciendo la infiltración de agua y aire a través de los poros que conforman al suelo, provocando problemas de sodicidad, afectando la productividad, degradando y generando problemas de contaminación en aguas

subterráneas. En el caso de los cultivos, un exceso de sodio en las plantas puede sustituir al  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  (nutrientes necesarios para el metabolismo y fotosíntesis de la planta), lo que trae como consecuencia efectos en el crecimiento y desarrollo de la planta, además de que reduce su supervivencia, su altura, su área foliar, hay lesiones en hojas, puede causar incrustaciones en semilla, la germinación es lenta y desigual, además de un desequilibrio nutricional aunado a que fisiológica y bioquímicamente la planta se ve también afectada (Ashraf y Harris, 2004).

## 2.4 POTASIO

Elemento químico que ocupa un lugar intermedio de la familia de los alcalinos después del sodio, es un metal reactivo ligero y blando, es el séptimo lugar de los elementos de la corteza terrestre, el 2,59% se encuentra de manera combinada, se considera uno de los macronutrientes de las plantas junto con el fósforo, pues ayuda a su crecimiento, es el responsable del mantenimiento de la presión osmótica, el tamaño de la células, influyendo en la fotosíntesis, producción de energía, apertura de los estomas, aporte de bióxido de carbono, turgencia de la planta y traslocación de nutrientes. Es el elemento requerido en proporciones elevadas por las plantas en desarrollo, pues les ayuda a resistir condiciones adversas como el frío y las sequías o la presencia de enfermedades, un bajo contenido de potasio puede ocasionar pérdidas en el rendimiento y afectar en la calidad de los productos cosechados (Darwich, 1998).

La tolerancia a la salinidad depende de la habilidad de una especie para controlar la absorción y el transporte de Na en sus tejidos (White y Broadley, 2001; Tester y Davenport, 2003), una alta proporción de K y Na en las hojas se considera un indicador importante de la salinidad (González *et al.*, 2002; Villa *et al.*, 2006).

Las plantas llamadas halófitas tiene como cualidad, tolerar la salinidad del suelo, estas han desarrollado órganos internos sensibles que permiten la exclusión del sodio o bien han minimizado los efectos de la salinidad desarrollando

adaptaciones anatómicas, morfológicas o fisiológicas (Ashraf y Harris, 2004). La tolerancia a la salinidad depende de la habilidad de la especie, la absorción, transporte de Na y Cl al tejido fotosintético (White y Broadley, 2001). Así una alta proporción de K, Na en la hoja se considera un indicador importante en la tolerancia de la salinidad (Tester y Davenport, 2003; Villa *et al.*, 2006). Esta cualidad, se puede emplear en la recuperación de suelos de Cuernavaca, utilizando especies que disminuyan la concentración de sodio en el suelo.

## 2.5 FITORREMEDIACIÓN.

Consiste en el empleo de plantas que son capaces de acumular, absorber y retener sustancias tóxicas en cantidades cuantificables. Al emplear esta característica, se han logrado depurar diversos ambientes como suelos y aguas contaminadas (Barceló y Poschenrieder, 2003; Diez, 2008), seleccionando y haciendo crecer especies dependiendo del problema en particular, siendo las más adecuadas las plantas que tengan mayor capacidad de acumulación del elemento que se quiere eliminar, retirándose después de cierto tiempo (Diez, 2008). La fitorremediación se ha empleado en áreas extensas de suelo con niveles de contaminación de medios a bajos y que estén dentro de los límites de la zona radical.

Los suelos de Xochimilco, se deben recuperar utilizando las cualidades de las plantas halófilas (Ramos *et al.*, 2011), ya que el grado de contaminación en Xochimilco es de bajo a moderado (Ramos *et al.*, 2011; Serrano, 2008) y estas ayudarán a su recuperación (Ross, 1994).

Las plantas que se emplean para la fitorremediación, de preferencia deben ser nativas, con capacidad de acumular contaminantes en la parte aérea, deben ser evaluadas con mucho cuidado y conocer si éstas son tolerantes; si se seleccionan especies no nativas, se recomienda usar individuos estériles para garantizar que no haya contaminación genética o una propagación invasiva, también pueden

considerarse especies con valores ecológicos deseables que propicien diversidad de hábitats apropiados.

En general, la fitorremediación ofrece diversas ventajas como el bajo costo, belleza natural y sobre todo amplia aceptación social, entre otras; se debe considerar que no es una solución inmediata, sino a largo plazo pues las plantas tienen varias etapas de desarrollo, hasta llegar a la madurez, una vez establecidas en el sitio, pueden ser susceptibles a predación, enfermedades y toxicidad.

Se debe considerar, que debido al índice de desarrollo de las plantas se requerirá de más tiempo para fitorremediar un sitio, en comparación con otras tecnologías tradicionales de limpieza como la excavación, disposición e incineración de los contaminantes donde el tiempo es de tan sólo semanas o meses, mientras que la fitoextracción puede necesitar hasta de varios años, para finalizar la recuperación del suelo. Dada la importancia de los suelos de Cuemanco y su creciente salinización es necesario disminuir el sodio del suelo para aumentar su productividad.

## 2.6 ESPECIES A EMPLEAR QUE CRECEN EN CUEMANCO

### 2.7 ACELGA



Figura 1. *Beta vulgaris* L.

La acelga (*Beta vulgaris* var.) (L) Konh. es una planta de la familia de las amarantáceas (Figura 1), es una subespecie de *Beta vulgaris*, es cultivada para aprovechar sus hojas en lugar de sus raíces, nativa de Europa, crece espontáneamente, se considera herbácea, con hojas de crecimiento arrosetado, grandes de color brillante y nervadas, los tallos son blancos, amarillos y rojos según la variedad, se puede consumir toda la planta, aporta vitaminas, fibra, ácido fólico y sales minerales con un alto contenido de agua (48%), las hojas exteriores suelen ser más verdes, son las que contienen mayor cantidad de vitaminas y carotenos (Espinosa y Sarukhán, 1997).



## 2.8 ROMERITO



Figura 2. *Suaeda torreyana* S.

*Suaeda torreyana* (Figura 2) es conocido como romerillo, romerito, quelite salado, es nativa de México, planta arbustiva perenne erguida o semipostrada con apariencias de arbustito, rama con muchas manchas rojas, tiene un tamaño de 0.6 a 1 m de alto, su tallo cilíndrico verde o algo aplanado, carnosas de hasta 4 cm de largo, tiene flores pequeñas, fruto seco que no abre, crece en suelo salobre, crece silvestre en pastizales halofitas, se encuentra en suelos alcalinos y salinos, es una planta anual o perenne (Espinosa y Sarukhán, 1997).

## 2.9 PASTO



Figura 3. *Cynodon dactylon* L.

*Cynodon dactylon* es originario de África, hierba perenne de 10 a 30 cm de alto, tallo delgado erecto, vaina de 1.5 a 7 cm de largo con espigas (Figura 3). Es una gramínea perennifolia, sus hojas son verdes grisáceas, sin estrés hídrico recuperan un verde intenso, puede crecer hasta 30 cm de altura, son achatados, las inflorescencias tiene espigas, tiene un sistema radicular muy profundo puede crecer hasta 2 m de profundidad, se produce por semillas, estolones y rizomas, es de crecimiento rápido, contiene sales potásicas, es usado como forraje, diurético y depurativo (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Algunos trabajos realizados de fitorremediación en general son:

Ashraf y Harris (2004), señalan que en las últimas décadas ha habido mejoras en la tolerancia a la salinidad, pues se han realizado estudios tomando en cuenta las características bioquímicas (genéticas) de las plantas, encontrando que existen genes que han modificado sus estructuras, desarrollando sustancias que ayuden a soportar la salinidad, es decir desempeñan un papel adaptativo en el ajuste osmótico de la resistencia celular al calor, a la desecación protegiendo estructuras celulares de las plantas.

Wakeel *et al.*, (2010) realizaron estudios con la especie *Beta vulgaris* y encontraron que esta especie ha desarrollado una base genética en respuesta a la sal, es decir hay una acumulación en tejidos, lo cual permite que se adapte y sea capaz de sobrevivir a altas concentraciones de sal, hay que mencionar que aunque ha desarrollado esta cualidad, su desarrollo se ve afectado en crecimiento, brotes y raíces, al realizar un análisis en masa fresca, notaron que hay un aumento en la concentración de sodio y cloro.

Hameed (2008) encontró que *Cynodon dactylon* ha desarrollado un genotipo que ayuda a tolerar la salinidad, y esto se ve reflejado en un incremento en el peso de la raíz, en el contenido de clorofila, en el potencial hídrico foliar y en el potencial osmótico; en este estudio también se mencionan que hubo aumento en los aminoácidos libres, prolina y una disminución en clorofila y carotenoides.

Song *et al.*, (2008) mencionan que el efecto de la salinidad se ve reflejada en la germinación, emergencia de plántulas, crecimiento y acumulación de iones provocando cambios en el color de las semillas. Las plantas halófitas son consideradas como una fuente de verduras, forrajes y semillas oleaginosas; la identificación de nuevas halófilas que puedan emplearse como cultivos, pueden ayudar en la recuperación de la zona intermareal de los ecosistemas y el desarrollo de una agricultura salina.

Bazzigalupi *et al.*, (2008) trabajaron con la papa para observar si toleraba la salinidad, encontraron que la parte aérea y las raíces, se ven afectadas presentando modificaciones morfológicas en hojas (fueron más pequeñas y en algunos casos tuvieron necrosis y enrollamiento), los iones que tuvieron mayor acumulación fueron el sodio y en cloro.

Barcenás *et al.*, (2007), mencionan que la salinidad se debe a la presencia de cantidades excesivas de iones como: bicarbonatos, carbonatos y sodio; uno de

los principales efectos de la salinidad en las plantas vasculares es la reducción del crecimiento, debido, principalmente, a los efectos del  $\text{Na}^+$  y del  $\text{Cl}^-$  en el metabolismo de la planta y por la alteración de las relaciones hídricas.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Hasta 2003, los registros de Villaseñor, de la flora nativa de México se acercaban a 22,968 especies de plantas con flores, si se le añaden las 618 especies introducidas, se puede decir que la riqueza florística conocida de México es de unas 23,586 especies, por lo que existe un enorme potencial de especies con capacidad remediadora, las cuales deben ser consideradas para recuperar los suelos que presentan concentraciones elevadas de sodio y potasio, que son acumulados en sus diferentes órganos sin causar daños adversos, ya que algunos vegetales han demostrado una gran capacidad de acumulación en sus diferentes órganos de estos dos elementos, sin manifestar efectos adversos, de ahí la importancia de la fitorremediación y de las plantas tolerantes (Wakeel *et al.*, 2011); como son *Cynodon dactylon* (herbácea), *Beta vulgaris* (planta cuya importancia radica en las hojas) y *Suaeda torreyana* (planta arbustiva), ya que son especies que se cultivan en la zona chinampera de Cuemanco, con las cuales se podrá aminorar el problema de salinidad.

#### 4. HIPÓTESIS

*Cynodon dactylon*, *Suaeda torreyana* y *Beta vulgaris* son plantas potencialmente fitoextractoras de sodio y potasio por lo que podrán disminuir su concentración de manera significativa en el suelo.

#### 5. OBJETIVOS

##### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad extractora del sodio y el potasio de *Cynodon dactylon*, *Suaeda torreyana* y *Beta vulgaris* de suelo salino de Cuemanco, D.F.

##### OBJETIVOS PARTICULARES

Evaluar la eficiencia de las tres especies para extraer sodio y potasio del suelo.

Evaluar la sobrevivencia, altura y tasa relativa de crecimiento de las tres especies.

## 6. MÉTODO

### 6.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El lago de Xochimilco se encuentra a 19°02'37" de latitud norte y 99°15'37" de longitud oeste de Greenwich, a una altitud de 2246 msnm, situado al sureste de la ciudad de México y tiene un área de 21 ha (Ramos *et al.*, 2011). La profundidad del lago es de cinco metros, en promedio, ya que es variable. El lago está compuesto por diversos canales como son Cuemanco, Apatlaco, Japón, del Bordo, Nacional y el de Chalco, que funge también, como límite con la Delegación Tláhuac (Aranda, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

El Canal de Cuemanco (Figura 4) es el más importante de los seis canales que abastecen al sistema de Xochimilco. En este canal se reciben las aguas negras y descargas de aguas residuales del pueblo de Xochimilco. Por la parte norte recibe las aguas tratadas de la ciudad de México de la planta tratadora Cerro de la Estrella. Su longitud es de 200 m y su ancho de 30 m (Escobedo, 1987). A lo largo de este canal hay una serie de chinampas que se encuentran deterioradas debido a la acumulación de sales (Aranda, 2004).

### 6.2 Clima

Esta zona posee un clima, de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (2003), que corresponde a C (W2)(w)b(i)' templado con lluvias en verano. Su temperatura media anual es de 12.7° a 3.6°C, con mínimas de hasta 8°C y máximas de 31°C. La precipitación media anual es de 891 mm; los vientos dominantes son del SE y alcanzan su intensidad en el mes de febrero, marzo, y abril; el periodo de lluvias abarca de mayo a octubre; las heladas inician en noviembre y continúan hasta enero y febrero (Medina, 1993; Aranda, 2004).

La principal fuente de humedad son los vientos alisios, los cuales cruzan la Sierra Madre Oriental y se presentan en la Cuenca de México con una dirección sureste.

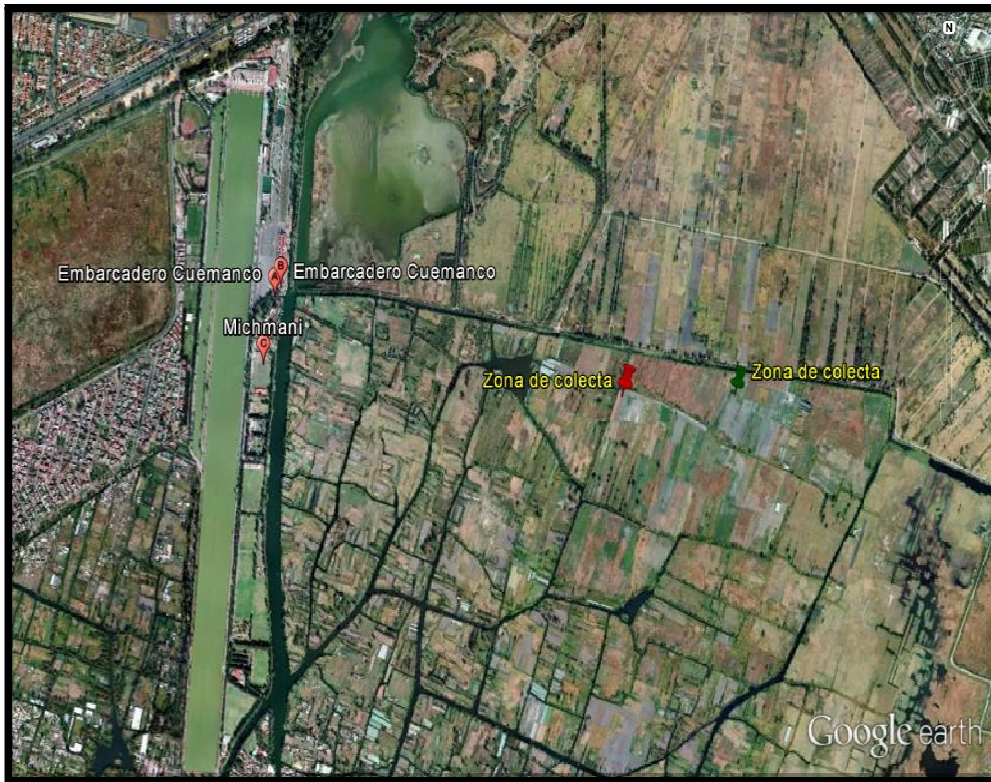


Figura 4. Vista de la zona de colecta de suelo.

### 6.3 Suelos

Son predominantemente lacustres y palustres, de composición geológica diversa, los cuales varían de acuerdo a la zona en que se encuentran; tienen un alto contenido de materia orgánica, de color oscuro, influenciados por la presencia de un manto freático cercano, son suelos profundos y discontinuos, debido a que se originaron como pequeños islotes de agua (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006). En la zona lacustre, predominan sedimentos arcillosos con arena de grano fino y cenizas volcánicas, con textura que va de arenosa hasta limo-arcillosa y retienen una alta humedad (Aranda, 2004). Los suelos de las chinampas (Figura 5 a y b) se clasifican como Antroposoles, porque es evidente la intervención del

hombre en su formación y desarrollo, presentan un horizonte terrico desarrollado a partir de la adición de abonos terrosos, composta o barro por periodos prolongados (Medina, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).



Figuras 5a y 5b. Vista de los suelos de las chinampas de Cuemanco.

#### 6.4 Orografía

El lago de Xochimilco se encuentra delimitado hacia el noroeste (NW) por la Sierra de Santa Catarina, formada por fracturas secundarias de la línea Humboldt durante el terciario superior, y está constituida por cenizas, lava basáltica y arenas. En el (SW) suroeste está la Sierra de Xochitepec, formada en el terciario medio, y está constituida por andesitas, basaltos y como mineral más abundante el piroxeno y rocas sedimentarias (lutitas) y al sur se tiene a la Sierra de Chichinautzin, formada durante el cuaternario (aproximadamente 500, 000 años), constituida por fusión de lavas, acumulación de brechas, cenizas y arenas (Medina, 1993; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).



## 6.5 Vegetación

Xochimilco forma parte de la Provincia Florística de las Serranías Meridionales, incluye las elevaciones más altas de México y se encuentra formada por tres tipos de vegetación natural: halófila, acuática y subacuática (pantano) y terrestre o riparia (Flores, 2009).

Halófila: son pastizales bajos y densos que se distribuyen en terrenos propensos a inundaciones, suelos salinos, alcalinos y mal drenados como el zacate salado (*Distichlis spicata*).

Acuática y subacuática: está en las superficie del lago y en los canales, aquí se encuentran los tulares (*Typha latifolia*), lirio de agua (*Echiornia crassipes*), lentejilla (*Lemna minuscula*), chichicastle (*Wolffia columbiana*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), ombligo de venus (*Hydrocotyle ranunculoides*), hojas aflechadas (*Sagittaria lancifolia* y *S. macrophylla*) (Flores, 2009).

Terrestre: en la orilla de los canales y se encuentra formada por diferentes tipos de árboles, arbustos y hierbas como: lengua de vaca (*Rumex* sp.), ortiga (*Urtica dioica*), zacate rastrero o pata de gallo (*Cynodon dactylon*), carrizo (*Gynerium sagittatum*), ahuejote (*Salix bonplandiana*), ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), entre otras (Flores, 2009).

De acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2001, cuatro especies se encuentran en alguna categoría de riesgo; amenazadas: ninfa (*Nymphaea mexicana*) y colorín (*Erythrina coralloides*); sujetas a protección especial: cedro blanco (*Cupressus lusitanica*) y acezintle (*Acer negundo* var *mexicanum*), que es endémica.

## 6.6 Muestreo de suelo

Se seleccionaron al azar dos chinampas que bordean al canal de Cuemanco, en las cuales se practica la agricultura; en cada una de las chinampas se colectaron 5 kg de suelo de seis diferentes puntos elegidos al azar, los cuales se colocaron en un costal de 30 kg. Con este suelo se hizo una mezcla compuesta que se empleó para este trabajo.



Figura 6. Muestra de suelo colectada de las Chinampas.

De la mezcla compuesta (Figura 6) se realizaron análisis físicos y químicos, cada prueba se repitió tres veces y posteriormente se reportaron los resultados como promedio de cada prueba. Los parámetros analizados fueron:

- Color seco y en húmedo; por comparación con las Tablas Munsell (Ríos, 1990).
- pH : se determinó con el método As-02 de la NOM-RECNAT-2000.
- Contenido de humedad del suelo por gravimetría, según el método As-05 de NOM-RECNAT-2000.

- Cationes solubles (calcio, magnesio, sodio y potasio) por el método As-19 según la norma NOM-RECNAT-2000.
- Densidad aparente de acuerdo al método de la probeta (Ríos, 1990).
- Densidad real por el método del picnómetro (Ríos, 1990).
- Textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos, As-09 de la NOM-RECNAT-2000.
- Materia orgánica por el método Walkley y Black, As-07 de la NOM-RECNAT-2000.
- Conductividad eléctrica por medio de un conductímetro (Etchevers *et al.*, 2001).
- Determinación del fósforo aprovechable a través del método AS-10 NOM-RECNAT-2000.
- Determinación de nitrógeno total por el método micro Kjeldhal (Etchevers *et al.*, 2001).
- Se cuantificó la concentración total de Na y K en el suelo y en las plantas mediante una digestión triácida (Ácido Perclórico, Ácido Nítrico, Ácido Sulfúrico) (Radojevic y Bashkin, 1999), y se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica con el equipo Spectra 200 Varian, cada muestra se analizó por triplicado y se reportó la media de cada muestra analizada.

## 6.7 Diseño Experimental

Las especies elegidas para este trabajo son: *Suaeda torreyana*, *Beta vulgaris* las cuales son comestibles y un pasto forrajero *Cynodon dactylon*, todas se cultivan en la zona, se adquirieron 20 g de semillas comerciales de cada especie.

Las semillas se desinfestaron utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 5% y se enjuagaron con agua destilada; se colocaron en cajas Petri con algodón y papel filtro (Figura 7), y se pusieron en la germinadora (Marca Friocell) bajo condiciones de luz y oscuridad (12h /12h), a una temperatura de 25°C y humedad controlada.



Figura 7. Pruebas de germinación de *Suaeda torreyana*, *Cynodon dactylon*, *Beta vulgaris*.

Se utilizaron 30 recipientes de plástico de una capacidad de 1.5 kg para el suelo de Cuemanco, 10 para el tratamiento de cada especie y 30 bolsas de vivero calibre 600 (18 X 18 cm) para los testigos, donde se colocó la agrolita (10 bolsas para cada especie) (figura 8).

El riego del suelo se realizó con agua desionizada y se mantuvo a capacidad de campo; los testigos, se regaron con una solución nutritiva comercial (60 ml) de NPK (relación 20:30:10) con hierro, zinc, cobre, boro, azufre, molibdeno y magnesio (5 ml) de cada uno de los micronutrientes para obtener 40 ml, dando un

total de 100 ml agregados dos veces por semana y los tratamientos se regaron con agua destilada.



Figura 8. Plántulas en agrolita después de la germinación.

Una vez germinadas las semillas y cuando las plántulas tuvieron dos hojas verdaderas, se trasladaron, a los contenedores respectivos.



Figura 9. *Cynodon dactylon* medición semanal de la altura total.

Se llevó un registro semanal (Figuras 9 y 10) del crecimiento: tamaño total, de la hoja más pequeña, de la hoja más grande, del pecíolo, número de hojas, en el caso de *Beta vulgaris*. Para *Cynodon dactylon* y *Suaeda torreyana*, número de tallos y altura total.



Figura 10. Mediciones semanales de *Suaeda torreyana* y *Beta vulgaris* de la altura total.

Los contenedores se rotaron cada semana en el bancal del vivero (Figuras 11 y 12), para que todos los individuos tuvieran las mismas condiciones de luz, temperatura y humedad.

Al término del experimento, se efectuó la cosecha de las plantas registrando: tamaño total, de la hoja más grande, de la hoja más pequeña, peso húmedo y longitud.



Figura 11. Arreglo del bancal de *Suaeda torreyana* en el invernadero de la FES Zaragoza.



Figura 12. Arreglo del bancal de *Beta vulgaris* en el invernadero de la FES Zaragoza.

Cada planta se colocó en papel filtro y se secó en una estufa a 48°C por 2 días hasta peso constante, después, cada planta se separó en raíz, tallo y hojas (Figura 13), y pecíolo solo en *Beta vulgaris*, para ser digeridas en una mezcla triácida.



Fig. 13. Muestras molidas por separado de tallo, hoja, pecíolo y raíz.

Para determinar la tasa relativa de crecimiento se utilizó la siguiente fórmula:

La tasa relativa de crecimiento se cuantificó de acuerdo a los términos de las diferencias en tamaño, en base a la fórmula de Charles-Edwards *et al.*, 1986.

$$TRC = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:  
lnA<sub>1</sub> = Logaritmo natural de altura inicial  
lnA<sub>2</sub> = Logaritmo natural de altura final  
t = tiempo de duración de cada etapa plantular

Para analizar la concentración acumulada de sodio y potasio en los diferentes órganos de las plantas.

El índice de tolerancia de las plantas para el sodio fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación (Gallegos *et al.*, 2011):

$$I.T. = \frac{\text{Medida de la longitud de la raíz en solución con metal}}{\text{medida de la longitud de la raíz en solución sin metal}} \times 100$$

Se empleó el Factor de traslocación para analizar el transporte del sodio de la raíz a parte aérea de la manera siguiente:

$$Tf = \frac{C \text{ parte aérea}}{C \text{ Raíces}}$$

Donde: C representa la concentración de sodio en Parte aérea y raíces

Hay que considerar que las plantas tolerantes tienen valores menores de 1 y las hiperacumuladoras mayor de 1.



## 7. RESULTADOS

CUADRO 1. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

	Suelo original	Suelo de Acelga	Suelo de Pasto	Suelo de Romero
Densidad aparente (g/cc)	0.6	0.6	0.5	0.5
Densidad Real g/cc	2.5	2.1	2.3	1.6
% Espacio poroso	76	75.7	66.1	73.1
Clase textural	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco Limoso
pH	7.9 medianamente alcalino	7.7 medianamente alcalino	7.7 medianamente alcalino	7.7 medianamente alcalino
% Materia Orgánica	17.8 muy alto	18 Muy alto	18 Muy alto	17.8 Muy alto
% Retención de humedad	59.4	54.1	55.1	59.0
C.I.C.T (Cmol+)/Kg	11.7 Baja	13.4 baja	9.6 baja	10 Baja
C.E (dS m <sup>-1</sup> )	19 muy fuertemente salino	14.1 fuertemente salino	17 muy fuertemente salino	14.5 fuertemente salino
% Nitrógeno	0.35	0.37	0.27	0.25
Fósforo (mg/kg)	13.5 alto	13.2 alto	15.3 alto	10.4 Alto
Calcio (Cmol+)/kg	10 Media	7.9 Media	7.6 Media	7.6 Media
Magnesio (Cmol+)/kg	8.3 alta	7 alta	7.5 alta	7.6 Alta
Sulfatos meq/L	0.5	1.6	1.6	1.2
Cloruros meq/L	2.2	2.1	3.2	2.1
Bicarbonatos meq/L	1.2 Bajo	1.5 bajo	1.1 bajo	1.2 Bajo

En el cuadro 1 se muestra resultados del análisis físico y químico del suelo.

El porcentaje de espacio poroso (Cuadro 1) es del 66.1-76% es muy alto, lo que implica una condición favorable para el crecimiento de la planta, facilitando el enraizamiento, los intercambios que hay entre suelo y planta, permitiendo la aireación, drenaje y retención de agua aunque también depende de la textura, estructura y actividad biológica (Bayer y Gardner, 1973; Ramos *et al.*, 2001; Rucks *et al.*, 2004).

La clase textural (Cuadro 1) es franco limoso para el suelo original, de acelga, de pasto y de romero, estos presentan una buena capacidad de retención de agua, no son anegables, bien provistos de materia orgánica y nutrientes (Rucks *et al.*, 2004).

La retención de humedad (Cuadro 1) va del 54.1 al 59.4%; permite la aireación del suelo, penetrabilidad de las raíces, promoviendo el crecimiento radicular y el de la planta (Rucks *et al.*, 2004).

Se observa, de acuerdo a la NOM-021, que el pH de los suelos (Cuadro 1) son medianamente alcalinos (7.7 - 7.9); ésta depende del sodio intercambiable que presentan los suelos de esta zona (Sánchez *et al.*, 2003; Ramos *et al.*, 2011) afectando el crecimiento vegetal, la disponibilidad de nutrientes y su absorción por parte de las raíces (Rucks *et al.*, 2004).

En el suelo son fuentes de alcalinidad aquellas sustancias que al reaccionar con el agua producen iones hidroxilo; en este sentido, los cationes alcalinos del suelo están constituidos por las bases, es decir, por los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ . El más abundante es el sodio, el cual sustituye a los anteriores encontrándose en menor cantidad y generando problemas de crecimiento en las plantas (Jaramillo, 2002).

En lo que se refiere a materia orgánica (cuadro 1) se considera muy alto (17.8-18%), los suelos de esta zona son de color negro (Figura 6) debido a su presencia, principalmente ácidos húmicos que tienen una elevada melanización y alto peso molecular (Ramos *et al.*, 2001), la acumulación de materia orgánica y el alto porcentaje de espacio poroso (cuadro 2) pueden producir una anaerobiosis y una hidromorfía del medio edáfico no beneficiando a la planta, sino al contrario, afectando la actividad biológica, perdiendo nutrientes del suelo por lixiviación.

La C.I.C.T. (Cuadro 1) es la capacidad que tiene el suelo para retener o liberar los cationes de acuerdo al contenido de arcillas y materia orgánica; de acuerdo a la NOM-021-RECNAT (2000) es baja (9.6-13.4 Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>), ésta propiedad se relaciona con el pH (Jaramillo, 2002); los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, y las cantidades de ellos que participan en dichos procesos son Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> (las bases del suelo), los cuales funcionan como fuentes de alcalinidad pues al reaccionar con el agua producen iones hidroxilo (Jaramillo, 2002); la cantidad de calcio es media (7.6 a 10 Cmol(+) Kg<sup>-1</sup>), en todos los tratamientos.

La conductividad eléctrica (cuadro 1) del suelo original y de pasto se considera muy fuertemente salino (17 y 19 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente), mientras que en el suelo de acelga y de romero es fuertemente salino (14.1 y 14.5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente). Esta propiedad está relacionada con el contenido de sales que contiene el suelo y el pH, el cual controla el potencial osmótico de la solución del suelo y la disponibilidad de agua para las plantas, además, también controla la posibilidad de que se presente toxicidad en ellas pues los aniones más comunes son los cloruros y los sulfatos y a veces los nitratos (Jaramillo, 2002). La alcalinidad de los suelos depende del sodio intercambiable, las sales de sodio abundan al igual que los sulfatos de magnesio y cloruros (Ramos *et al.*, 2001).

En el trabajo, el porcentaje de nitrógeno (Cuadro 1) en suelo original, de acelga y de pasto (0.35, 0.37 y 0.27% respectivamente), se considera muy alto, mientras que en suelo de romero es alto (0.25%).

El fósforo en los cuatro tipos de suelo (10.4-15.3 mg/Kg) (Cuadro 1) es alto, se mantiene en el mismo rango, el contenido de magnesio es alta (7-8.3 Cmol(+)/Kg), en los cuatro tipos de suelo estos son los nutrientes del suelo.

Los bicarbonatos (Cuadro 1) son bajos (1.1-1.5 meq/L) en los cuatro tratamientos. Las sales más abundantes en el suelo de acuerdo a su composición iónica son las de sodio, magnesio, sulfatos y cloruros.

#### CUADRO 2.- PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

PLANTA	PORCENTAJE (%)
<b>PASTO (<i>Cynodon dactylon</i>)</b>	17- 80 (Agua Caliente y En Invernadero)
<b>ROMERO (<i>Suaeda torreyana</i>)</b>	3- 75.5 (Agua Caliente En Estufa)
<b>ACELGA (<i>Beta vulgaris</i>)</b>	90 (temperatura ambiental)

En el cuadro 2 se observa el porcentaje de germinación de las tres especies, en la acelga se obtuvo el 90%; las otras especies presentaron un porcentaje muy bajo, romero 3% y pasto 17%, por lo que se realizó un pretratamiento para aumentar este, el romero al someterlo a agua caliente y en estufa, se obtuvo un 75.5%; el pasto se sometió a agua caliente y se colocaron las cajas Petri en el invernadero, incrementándose a un 80% de germinación.

Es importante el porcentaje de germinación del pasto y la acelga, ya que son especies que han evolucionado de manera natural tolerando la salinidad (Acharya *et al.*, 1992), a diferencia del romero que su germinación se retrasa bajo estrés salino (Almansouri *et al.*, 2001).

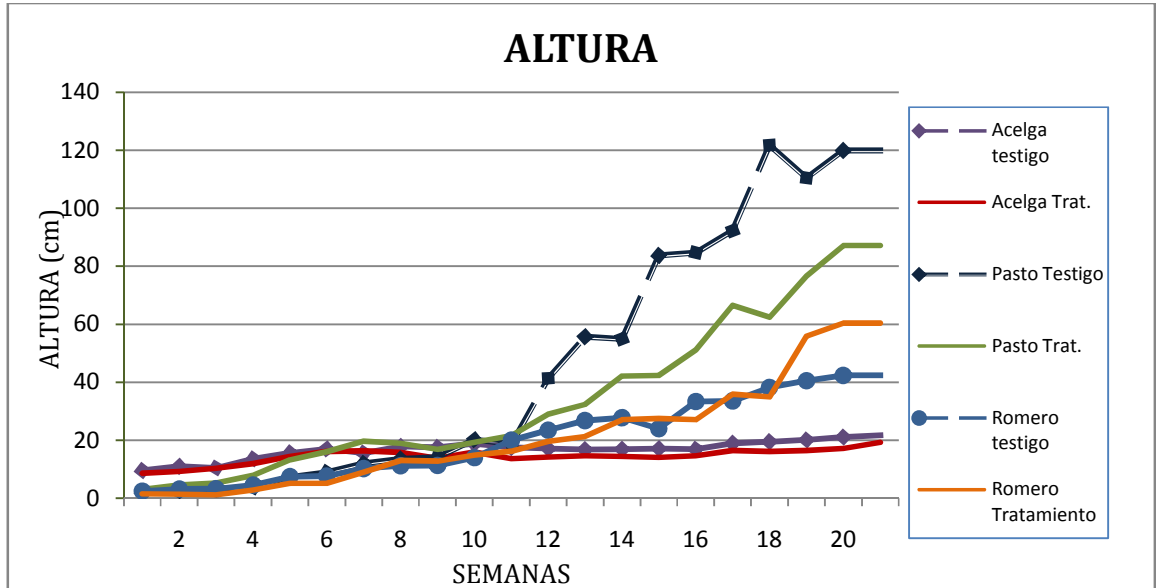


Figura 14. Altura de tres especies (romero, acelga, pasto).

En la Figura 14 se observa la altura del romero, acelga y pasto en testigos y tratamientos el crecimiento fue muy similar en las primeras once semanas, a partir de ahí hay un cambio radical, el pasto testigo es más alto que el pasto tratamiento (120 y 87 cm, respectivamente) (Figura 14); esto también se observa en la acelga testigo y tratamiento (21 y 19 cm, respectivamente) debiéndose a que en el suelo hay una reacción alcalina, resultado del efecto del sodio intercambiable que tiene un efecto negativo en el crecimiento de la planta (Ramos *et al.*, 2001); para el romero el tratamiento es más alto que el testigo (60-42 cm, respectivamente).

*Cynodon dactylon* y *Beta vulgaris* tienen una buena tolerancia a la salinidad, pero muestran un lento crecimiento (Figuras 14 y 15) en suelos salinos (Hameed y Ashraf, 2007); aunque en salinidades moderadas puede aumentar su rendimiento, y es capaz de resistir salinidades relativamente altas (Grattan *et al.*, 2004; Grieve *et al.*, 2004). La salinidad es uno de los principales factores de estrés responsable de la reducción del crecimiento (Wakeel, 2011).



Figura 15. *Cynodon dactylon* y *Beta vulgaris* después de la cosecha.

En el romero el tratamiento tiene una altura de 60 cm es mayor que el testigo de 42 cm (Figura 16) a diferencia de lo encontrado en *Suaeda salsa*, donde la alta salinidad disminuyó la longitud del tallo y provoca que el crecimiento sea lento (Song *et al.*, 2008).



Figura 16. *Suaeda torreyana* después de la cosecha.

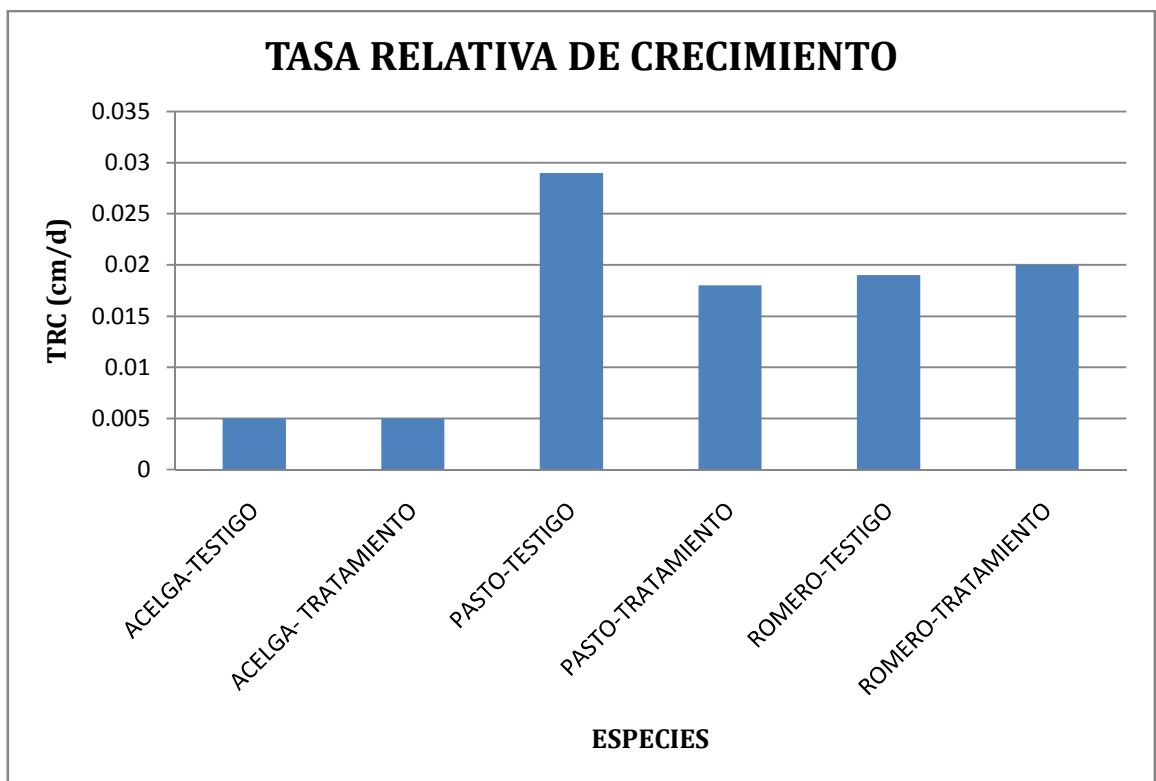


Figura 17. Tasa relativa de crecimiento de las tres especies.

CUADRO 3. TASA RELATIVA DE CRECIMIENTO (cm/día)

<b>ACELGA (<i>Beta vulgaris</i>)</b>	TESTIGO	0.006
	TRATAMIENTO	0.006
<b>PASTO (<i>Cynodon dactylon</i>)</b>	TESTIGO	0.03
	TRATAMIENTO	0.02
<b>ROMERO (<i>Suaeda torreyana</i>)</b>	TESTIGO	0.02
	TRATAMIENTO	0.02

En la tasa relativa de crecimiento (cuadro 3 y Figura 17) se observa que el pasto testigo es la especie que muestra una mayor tasa (0.03 cm/ día) comparado con su tratamiento (0.02 cm/día); en el romero tratamiento y testigo se presenta el mismo valor (0.02 cm/día) y en la acelga sucede lo mismo que el caso anterior se presenta una relativa de crecimiento de 0.006 cm/día en el tratamiento y en el testigo.

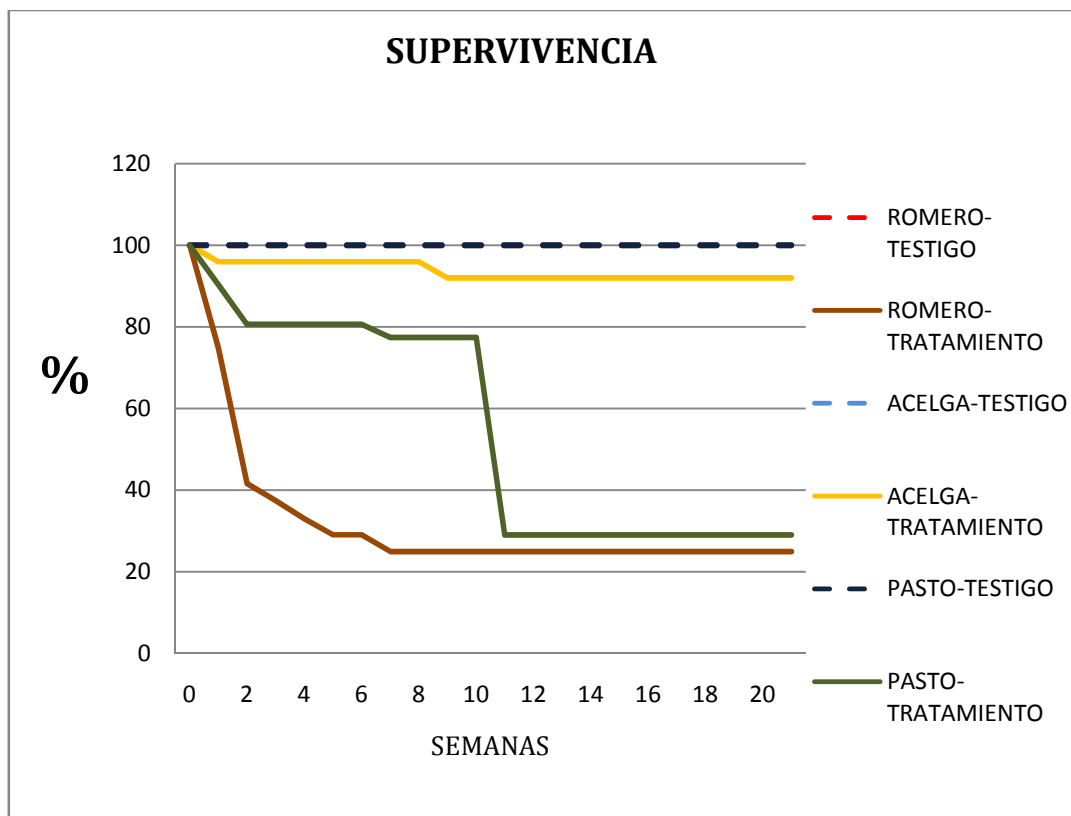


Figura 18. Porcentaje de supervivencia de las tres especies.



Las plantas testigo de las tres especies (romero, acelga y pasto) presentan un 100% de supervivencia (Figura 18). En la acelga tratamiento en las primeras once semanas tiene una supervivencia del 96%, después de dicho tiempo disminuye al 92% manteniéndose así hasta las 21 semanas de trabajo. Para el pasto tratamiento en las tres primeras semanas disminuye la supervivencia a un 80%, a partir de la semana once y hasta la cosecha solo se obtuvo un 29 % de supervivencia. Para el romero tratamiento en las tres primeras semanas la supervivencia es de 41% en la semana 7 disminuye al 25% y hasta terminar el experimento.

CUADRO 4. DETERMINACIÓN DE SODIO Y POTASIO EN SUELO

	Na total (g.kg <sup>-1</sup> )	Na disponible (g.kg <sup>-1</sup> )	K total ( g.kg <sup>-1</sup> )	K disponible ( g.kg <sup>-1</sup> )
<b>SUELO ORIGINAL</b>	22.6	18.8	11.9	1.6
<b>SUELO-ACELGA</b>	18.1	16.5	9.5	1.1
<b>SUELO-ROMERO</b>	18.9	23.5	10.5	1.3
<b>SUELO-PASTO</b>	16.0	21.2	9.9	1.3

Nota: (g/kg de suelo seco)

En el (cuadro 4) se observan que las cantidades de sodio total para el suelo original (22.6 g.Kg<sup>-1</sup>), son mayores que el sodio disponibles (18.8 g.Kg<sup>-1</sup>), la cantidad de sodio disponible es alta, por lo que su movilidad va a estar determinada por los componentes del suelo, los factores físicos, químicos y biológicos y la reactividad del sodio (He *et al.*, 1998; García *et al.*, 2005; Diez, 2008). En el caso de romero el sodio total (18.9 g.Kg<sup>-1</sup>) es menor al sodio disponibles (23.5 g.Kg<sup>-1</sup>) lo mismo sucede en el pasto el sodio total (16.0 g.Kg<sup>-1</sup>) es menor que el sodio disponible (21.2 g.Kg<sup>-1</sup>) lo que indica que esta planta tiene una capacidad natural para absorber y concentrar sodio sin desarrollar síntomas de toxicidad y no se altera su crecimiento (Diez, 2008).

En el caso del potasio, el total es mayor que el disponible para los cuatro tipos de suelo, suelo original (11.9 y 1.6 g.Kg<sup>-1</sup>, respectivamente), de acelga (9.5 y 1.1 g.Kg<sup>-1</sup>, respectivamente), de romero (10.5 y 1.3 g.Kg<sup>-1</sup>, respectivamente) y de pasto (9.9 y 1.3 g.Kg<sup>-1</sup>, respectivamente). En el análisis estadístico realizado se encontró que en la prueba de chi cuadrada es menor que 0.05, por lo que las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95% (Anexo).

La raíz juega un papel fundamental en la entrada de nutrientes a las plantas y el exceso de sodio en el suelo puede limitarla. En la raíz existen una serie de canales selectivos de K, que permite la entrada de Na y al entrar en exceso, el calcio ayuda a reducir la pérdida de K por medio de la inhibición por lo que el Ca reduce la magnitud del efecto negativo de la salinidad en el crecimiento (Leidi y Pardo, 2002).

CUADRO 5. CONCENTRACIÓN DE SODIO Y POTASIO EN PLANTA (g.kg<sup>-1</sup>)

		SODIO		POTASIO	
		TESTIGO	TRATAMIENTO	TESTIGO	TRATAMIENTO
<b>ACELGA</b>	HOJA	0.97	60.03	247.30	46.70
	TALLO	0.27	17.96	107.94	21.83
	PECIOLO	0.43	82.85	174.43	48.51
	RAIZ	2.57	14.51	60.90	97.49
<b>PASTO</b>	HOJA	0.92	3.20	76.04	31.04
	TALLO	1.00	2.08	72.68	18.64
	RAIZ	3.15	10.60	18.67	35.85
<b>ROMERO</b>	HOJA	10.64	89.88	162.99	20.26
	TALLO	2.08	45.07	107.94	21.83
	RAIZ	4.27	47.41	60.90	48.51

Nota: (g/kg de peso seco)

CUADRO 6. SECUENCIAS DE ACUMULACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE NA Y K

	Na		K	
	TESTIGO	TRATAMIENTO	TESTIGO	TRATAMIENTO
<b>Acelga</b>	R>H>P>T	P>H>T>R	P>H>T>R	R>P>H>T
<b>Pasto</b>	R>T>H	R>H>T	H>T>R	R>H>T
<b>Romero</b>	H>R>T	H>R>T	H>T>R	R>T>H

Nota 2: R= raíz, T= tallo, H= hoja, P= peciolo

Para el sodio (Cuadros 5 y 6) se observa que en el romero testigo y tratamiento, la mayor acumulación se da en hoja, después en raíz y por último en tallo, esto nos indica que la planta lo extrae y acumula, capacidad que presentan algunas plantas con potencial fitoextractor (López *et al.*, 2005); se debe considerar que el estrés salino aumenta la succulencia de algunas hojas para reducir la pérdida de agua y mantener la actividad fotosintética (Leidi y Pardo, 2002). En el análisis estadístico realizado se encontró que en la prueba de chi cuadrada es menor que 0.05, por lo que las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95% (Anexo).

Al igual que en este trabajo, Zhao *et al.*, (2003) encontraron que las hojas de *Suaeda*, son de color verde durante todo su periodo de crecimiento, acumulan grandes cantidades de Na, separando estos iones en la vacuola, para tener un menor potencial osmótico bajo condiciones de salinidad; Song *et al.*, 2008 encontraron altas concentraciones de Na y K en brotes de plántulas a los 20 días después de la siembra, debido a la adaptación en hojas y tallos, que son suculentos.

En el caso del pasto testigo y tratamiento (Cuadros 5 y 6) el órgano que más acumula sodio es la raíz, ya que su absorción se realiza a través de las raíces y las hojas mediante los estomas y la cutícula de la epidermis (Watt y Evans, 1999); ésta absorción ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis (Harvey *et al.*, 2002; López *et al.*, 2005). En el testigo el segundo órgano de acumulación fue el tallo y por último la hoja muy al contrario

del tratamiento donde el segundo órgano es la hoja y por último el tallo. Existen plantas que presentan una acumulación extrema de sodio en sus tejidos aéreos, y se les conocen como plantas hiperacumuladoras (Diez, 2008).

En el caso de la acelga testigo (Cuadros 5 y 6) se observa que la raíz acumula más sodio, le sigue la hoja, peciolo y tallo, a diferencia del tratamiento, que es el peciolo el que acumula mayor concentración de sodio y al final la raíz. Los mecanismos de tolerancia varían entre las distintas especies de plantas y están determinados por el tipo de elemento, eficiencia de absorción, traslocación y secuestro (Navarro-Aviñó, 2007).

En el caso del potasio tratamiento (Cuadros 5 y 6) en las tres especies se observa que es la raíz el órgano que más acumula potasio, ya que las plantas tienen canales selectivos de potasio, pero permiten la entrada de Na a largo plazo, induciendo deficiencias o presentando alto grado de toxicidad (Leidi y Pardo, 2002). En la acelga y el pasto el último órgano de acumulación de potasio es el tallo.

En el caso de romero y pasto testigo (Cuadros 5 y 6) se observa que la hoja tiene la mayor concentración de potasio después el tallo y por último la raíz. En pasto se ha encontrado que tiene una serie de atributos fisiológicos que restringe la absorción de Na en raíz y brotes e incrementa la absorción de K por las raíces y brotes llevado a cabo por los aminoácidos libres, proteínas solubles y prolina (Hameed y Ashraf, 2008).

Para el caso de potasio, se observa (Anexo) que existen diferencias estadísticamente significativas, ya que la chi-cuadrada es menor que 0.005 con un nivel de confianza del 95 %.

En la acelga testigo (Cuadros 5 y 6) el órgano que más acumula es el peciolo después la hoja, tallo y raíz, por lo que la raíz pasa el potasio a las hojas

rápidamente, a diferencia del tratamiento, ya que el órgano que más lo acumula es la raíz, siguiendo peciolo, hoja y tallo. La tolerancia a la salinidad mantiene una relación alta de Na/K en el citosol para permitir la entrada de aniones en la absorción de nutrientes e inducir una deficiencia (Leidi y Pardo, 2002).

Cuadro 7. PESO HÚMEDO Y SECO DE LAS TRES ESPECIES (g)

	<b>ROMERO</b>	<b>ROMERO</b>	<b>PASTO</b>	<b>PASTO</b>	<b>ACELGA</b>	<b>ACELGA</b>
	Control	Tratamiento	Control	Tratamiento	Control	Tratamiento
<b>PESO HÚMEDO</b>	46.25	55.65	57.98	94.03	74.38	50.00
<b>PESO SECO</b>	5.05	6.24	8.69	19.33	8.13	6.18

En cuanto al cuadro 7 se observa una variación entre el peso seco y el peso húmedo, de las tres especies, en el control se pierde más que en el tratamiento; en el caso del romero hay un 90% de disminución en el peso húmedo del testigo y solo 88% en el tratamiento; en el pasto testigo la disminución es de 85% y en el tratamiento del 80% y en la acelga, el testigo disminuye un 89% y el tratamiento un 88% de su peso.

Cuadro 8. FACTOR DE TRASLOCACIÓN E INDICE DE TOLERANCIA

	<b>ROMERO</b> <i>Suaeda torreyana</i>	<b>ACELGA</b> <i>Beta vulgaris</i>	<b>PASTO</b> <i>Cynodon dactylon</i>
<b>SODIO</b>	0.95	1.23	0.196
<b>POTASIO</b>	2.22	1.19	2.02
<b>INDICE DE TOLERANCIA</b>	82.2 %	78.0 %	23.0 %

Nota: Se consideran que las plantas son tolerantes si el Índice de Traslocación va de 0 a 0.5, acumuladoras de 0.51 a 1.0 e hiperacumuladoras si es mayor de 1.

En cuanto al factor de Traslocación (cuadro 8) se observa que el romero es acumulador de sodio (0.95) e hiperacumulador de potasio (2.2) con un índice de tolerancia de 82.2%. Esta especie desarrolla una serie de proteínas que ayudan a evitar el estrés salino (Wakeel *et al.*, 2011).

La acelga es hiperacumulador (Cuadro 8) en sodio y potasio pues sus valores son de 1.23 y 1.19 respectivamente, teniendo un índice de tolerancia del 78.0 %, lo anterior es de gran importancia, ya que es una planta que soporta la salinidad, debido a que produce una proteína, la cual le proporciona una estabilidad ante el estrés salino, es decir, una adaptación a nivel de la membrana plasmática, por lo cual reduce el crecimiento de los brotes y raíces (Wakeel *et al.*, 2011).

El pasto (Cuadro 8) es poco tolerante al sodio (0.196) de acuerdo al factor de traslocación, pero hiperacumulador en potasio (2.02) con un índice de tolerancia del 23.0 %, por lo que tiene la capacidad de reducir al mínimo los efectos perjudiciales mediante una serie de adaptaciones anatómicas, morfológicas y fisiológicas como la capacidad de aumentar su raíz, desarrollar brotes en condiciones altamente salinas (Hameed y Ashraf., 2008), presencia de glándulas secretoras de sal en la superficie de la hoja (Marcum *et al.*, 1998) para restringir la absorción de iones tóxicos ( Ashraf y Harris, 2004). La variación genética que posee este pasto se ve principalmente en caracteres de crecimiento, incluyendo erguir tallos postrados, mejor penetración de las raíces en el suelo y la tolerancia a temperaturas del suelo extremas, salinidad y sequía (Grattan *et al.*, 2004 ; Wu *et al.*, 2006), por lo que *Cynodon dactylon* ha sido categorizado como altamente tolerante al estrés salino.

## 8. CONCLUSIONES

*Beta vulgaris* es la especie con el mayor porcentaje de supervivencia (92%), *Cynodon dactylon* solo el 29% y *Suaeda torreyana* 26%.

En base a la altura, en *Suaeda torreyana* el tratamiento fue más alto que el testigo por 13 cm; en *Cynodon dactylon* y *Beta vulgaris* el testigo creció más que el tratamiento (33 cm y 2 cm, respectivamente).

La tasa relativa de crecimiento en *Cynodon dactylon* es la más alta (0.03 cm/ día para el testigo), en *Suaeda torreyana* es de 0.02 cm/día para el tratamiento y en *Beta vulgaris* es la que más baja (0.006 cm/día) para el tratamiento y testigo.

Las tres especies redujeron la concentración de sodio y potasio en el suelo, para el sodio *Cynodon dactylon*, lo redujo en un 27%, *Suaeda torreyana* y *Beta vulgaris* solo en 18%; para potasio *Beta vulgaris* redujo un 21%, *Cynodon dactylon* en 17% y *Suaeda torreyana* en 16%; la más eficiente de las tres fue la acelga.

*Beta vulgaris* es hiperacumuladora de sodio y potasio, *Suaeda torreyana* y *Cynodon dactylon* son tolerantes al sodio e hiperacumuladores de potasio, por lo anterior las tres especies son remediadoras del suelo, pues reducen la concentración de sodio y potasio por lo que el uso de estas ayudarán a la recuperación de suelos salinos sódicos en Cuemanco.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acharya, S.N., Darroch, B.A., Hermesh, R. y Woosaree, J. (1992). Salt stress tolerance in native Alberta populations of slender wheatgrass and alpine bluegrass. *Canadian Journal of Plant Science*. 72: 785–792.
- Aguilar, O.E.A. (2011). *La cultura del uso del agua en la zona metropolitana del valle de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Políticas y sociales. UNAM. 92p.
- Almansouri, M., Kinet, J.M. y Lutts, S. (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* desf). *Plant and Soil* 231, 243–254.
- Aranda, M. (2004). Zona lacustre “Ejidios de San Gregorio Atlapulco”. Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). México. 13 p.
- Ashraf, M. y Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166: 3-16.
- Barceló, J. y Poschenrieder, C. (2003). Phytoremediación: principios and perspectives. *Contributions to Science*. 2(3) 233-244.
- Bárceñas, P., Tijerina, L., Martínez, A., Becerril, E., Larqué, A. y Colinas, T. (2007). Respuesta de tres materiales del género *Hylocereus* a la salinidad sulfático-clorhídrica. *Terra* 20 (2)123-127.
- Bautista, C.A., Etchevers, B.J., Del Castillo, R.F. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2) 90-97.
- Bayer, C. D. y Gardner, H. W. (1973). *Física de Suelos*. Unión Tipográfica. Editorial Hispano-Americana. 429 p.
- Bazzigalupi, O., Pistorale, M. y Andres, A. (2008). Salinity tolerance during seed germination from naturalized populations of tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum*). *Ciencia e Investigación Agraria*. 35 (3) 277-285.
- Chávez, M.A. (2000). *Caracterización física y química de algunas calicatas de San Nicolas Tetelco de la delegación de Tláhuac y Xochimilco, D.F.* Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 69 p.



- Chávez, S.L. y Alvarez, F. A. (2011). Selección de variedades una alternativa para la rehabilitación de suelos afectados por la salinidad. Cuba. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Gamma Ciencia*. 15 (3) 1-10.
- Darwich, N. (1998). *Manual de fertilidad de suelo y uso de fertilizantes*. Talleres de Gráfica Armedenho 106. Buenos Aires. 182p.
- De la Rosa, J.B. (2006). *Contaminación del lago de Xochimilco por aguas negras y su influencia en la agricultura local*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 71p.
- Díez, L.F.J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización mediante prácticas agronómicas*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Edafología y Química agrícola. 344 p.
- Escobedo, M.R. (1987). *Estudio edafológico de chinampas de Xochimilco San Gregorio Atlapulco*. Facultad de ciencias. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Espinosa, F.J. y Sarukhán, J. (1997). *Manual de malezas del Valle de México*. Ediciones Científicas Universitarias. México. 407p.
- Etchevers, J. D., Goijberg de Etchevers, G., López, R. R.M., Padilla, C.J., Alvarado, L. J., Hidalgo, M. C., Cruz, H. M. L., Guerrero, P. A., Gutiérrez, B. y Miranda, C. E. (2001). Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del Laboratorio de fertilidad de suelo. *IRENAT. SMCS*. México. 35 p.
- Ferrera, C. R., Alarcón, A., Mendoza, L. M. R., Trejo, A. W. S., Cruz, S. S., López, O. C. y Delgadillo, M. J. (2007). Fitorremediación de un suelo contaminado con combustóleo utilizando *Phaseolus coccineus* y fertilización orgánica e inorgánica. México. *Agrociencia*. 41(8) 817-826.
- Flores, R. G. A. (2009). *Análisis preliminar de algunos factores físico-químicos Indicadores de la calidad del agua en Xochimilco*. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 92 p.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. 11 enero (2006). Órgano de Gobierno del Distrito Federal. 16ª Edición. No. 5. Gobierno del Distrito Federal. 164 p.

- Gallegos, G. E., Hernández, A. E., García, N.E. y Acevedo, S.O. (2011). Contenido y traslocación de plomo en avena (*Avena sativa*, L) de un suelo contaminado. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente, 17 (1) 19-29.
- García, E. (2003). *Modificaciones al sistema de clasificación de climas de Köppen*. UNAM. México.
- García, G., Zanuzzi, A.L. y Faz, A. (2005). Evaluation of heavy metal availability prior to an *in situ* soil phytoremediation program. *Biodegradation*, 16: 187–194
- González, L. M., González, M.C. y Ramírez, R. (2002). Reseña bibliográfica aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. Habana. *Cultivos Tropicales*. 23 (2) 1-10.
- Grattan, S. R., Grieve, C. M., Poss, J. A., Robinson, P. H., Suarez, D. L. y Benes, S. E. (2004). Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems, biomass production. *Agricultural Water Manage.* 70: 109–120.
- Grieve, C.M., Poss, J.A., Grattan, S.R., Suarez, D.L., Benes, S. E. y Robinson, P. H. (2004). Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems, plant – ion relations. *Agricultural Water Manage.* 70; 121–135.
- Hameed, M. y Ashraf, M. (2008). Physiological and biochemical adaptations of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. from the Salt Range (Pakistan) to salinity stress. *Flora* 203: 683-694.
- Harvey, P., Campanela, B., Castro, P., Harms, H., Lichtfouse, E., Schäffner, A., Smrcek, S., y Werck, D. (2002). Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols. *Environmental Science and Pollution Res. Int.* 9: 29-47.
- Jaramillo, J.D. (2002). *Ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Medellín.
- Leidi, E.O. y Pardo, J.M. (2002). Tolerancia de los cultivos al estrés salino que hay de nuevo. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias* 2 (2) 70-91.
- López, M. S., Gallegos, M. M., Pérez, F. L. y Gutiérrez, R. M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 21 (2) 91-100.
- Manahan, S. (2006). *Introducción a la bioquímica ambiental*. Reverte. México. D.F. 166-168 p.

- Marcum, K. B., Anderson, S. J. y Engelke, M. C. (1998). Salt gland ion secretion: a salinity tolerance mechanism among five zoysia grass species. *Crop Science*.38: 806–810.
- Medina, J. (1993). *Estudio edafológico de una chinampa en San Luis Tlaxialtemalco Xochimilco y terrenos colindantes con la delegación Tláhuac*. Facultad de Ciencias. Tesis de Licenciatura, UNAM.
- Medina, J. (2004). *Determinación de las propiedades físicas y químicas de suelos de chinampa del área de San Luis Tlaxialtemalco-Xochimilco utilizando sistemas de información geográfica*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. 105 p.
- Navarro-Aviñó, J. P., Aguilar- Alonso, I., y López M, J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16:10-25.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000. *Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis*. Norlex Internacional S.A. de C.V.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2001. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio*. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial. 6 de Marzo de 2002.
- Olvera, Y.B. (2004). Aspectos poblacionales de *Chirostoma Jordani* (woolman) (PISCES: Atherinidae) en el sistema lacustre de Xochimilco, México. D.F. Tesis de Maestría Facultad de Ciencias. UNAM. 115 p.
- Otero, L., Francisco, A., Galvez, V., Morales, R., Sanchez, A., Labaut, M., Vento, M., Cintra, M. y Rivera, L. (2007). Caracterización y evaluación de la salinidad. *Instituto de suelos CENSA*. 1689:1-11.
- Radojevic, M. y Bashkin, N. V. (1999). *Practical Environmental Analysis*. Royal Society of Chemistry and Thomas Graham House, Cambridge, 466 p.
- Ramos, B. R., Lenom, J. C., Flores, D.R. y García, N. C. (2001). Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia*. 35: 385-395.

- Ramos, R. B., Calderón, G.N. y Ortega, E. (2011). Artificial Chinampas soils of México City: Their properties and salinización. *Hazards Spanish Journal of soil Science* Vol. 1 (105) 1-16.
- Ríos, G. R. (1990). *Manual de Práctica del Módulo de Suelo de séptimo semestre LIB. IV*. F.E.S. Zaragoza. UNAM.127p.
- Ross, S. (1994). *Toxic metals in soil-plant systems*. Chichester, West Sussex. England. J. Wiley, 459p.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Facultad de Agronomía. Montevideo-Uruguay.
- Rzedowski, C., y Rzedowski, J. (2001). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2da. Ed. México.
- Sánchez, B., Ortega, M., González, V., Ruelas, A., Kohashi, S. y García, N. (2003). Tolerancia de tubérculos de papa cv. Alpha en etapa de brotación a condiciones de salinidad. *Terra* 21:481-491.
- Seoanez, G. C. (1999). *Contaminación de suelo: Estudios y tratamientos y gestión*. Ediciones Mundi-Prensa, España. 352p.
- Serrano, G.A. (2008). Posibles controles hidrogeológicos de impacto ambiental por la extracción de agua subterránea en Xochimilco, México. *Journal of Latin American Geography*. Vol. 7(1) 39-59.
- Song, J., Fan, H., Zhao, Y., Jia, Y., Du, X. y Wang, B. (2008). Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte *Suaeda salsa* in an intertidal zone and on saline inland. *Aquatic Botany* : 88:331-337.
- Tester, M. y Davenport, R. (2003). Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*. 91:503-527.
- Torres, R.D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas* 2003/2. Revisado en (<http://www.aeet.org/ecosistemas/032/informe1.htm>) el día 19 de octubre de 2013.
- Vanegas, P.S. y Ospina, A.L. (2012). Plan nacional de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de aguas disturbadas. Colombia Bogotá, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible 1-92.

- Villa, C. M., Catalán, V.E. e Inzunza, I.M. (2006). Absorción y traslocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Revista Fitotecnia México* 29 (1) 79-88.
- Villaseñor, J. L. y Magaña, P. (2006). Plantas introducidas en México. *Ciencias*. 82: 38-40.
- Wakeel, A., Abdul, R., Asif, B., Pitanna, B. y Schuberta S. (2011). Proteome analysis of sugar *Suaeda beet* (*Beta vulgaris* L.) elucidates constitutive during the first phase of salt stress. *Journal of Plant Physiology* 168: 519-526.
- Watt, M. y Evans, J. (1999). Proteoid roots physiology and development. *Plant Physiology*. 121: 317-323.
- White, P. J. y Broadley, M.R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany*. 88:967-988.
- Wu, Y.Q., Taliaferro, C.M., Martin, D.L., Goad, C.L. y Anderson, J. A. (2006). Genetic variability and relationships for seed yield and its components in Chinese *Cynodon* accessions. *Field Crops Research*. 9: 245–252.
- Zhao, K.F., Fan, H., Zhou, S. y Song, J. (2003). Study on the salt and drought tolerance of *Suaeda salsa* and *Kalanchoe daigre montiana* under iso-osmotic salt and water stress. *Plant Science*. 165: 837–844.

## ANEXO

### ANOVA Simple - Col\_2 por Col\_1

Variable dependiente: Col\_2 (Na tallo)

Factor: Col\_1 (muestras)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_2 por Col\_1**

Total n = 18

Gran mediana = 2088.25

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	3	0	3	17967.2		
pasto	3	3	0	2087.8		
romero	3	0	3	45078.2		
test-acel	3	3	0	269.8		
test-past	3	3	0	1002.0		
test-rom	3	0	3	2088.7		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.00294643

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 6 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 2088.25. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col\_3 por Col\_1

Variable dependiente: Col\_3 (Nareíz)

Factor: Col\_1 (muestras)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_3 por Col\_1**

Total n = 18

Gran mediana = 7443.1

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	3	0	3	14511.9		
pasto	3	0	3	10608.5		
romero	3	0	3	47419.3		
test-acel	3	3	0	2572.2		
test-past	3	3	0	3150.9		
test-rom	3	3	0	4277.7		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.00294643

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 6 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 7443.1. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col 4 por Col 1

Variable dependiente: Col\_4 (Na hoja)

Factor: Col\_1 (muestras)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_4 por Col\_1**

Total n = 18

Gran mediana = 6924.05

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	3	0	3	60033.8		
pasto	3	3	0	3202.1		
romero	3	0	3	89888.5		
test-acel	3	3	0	975.8		
test-past	3	3	0	929.8		
test-rom	3	0	3	10646.0		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.00294643

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 6 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 6924.05. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra

### ANOVA Simple - Col 5 por Col 1

Variable dependiente: Col\_5 (Ktallo)

Factor: Col\_1 (muestras)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_5 por Col\_1**

Total n = 18

Gran mediana = 47260.8

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	3	3	0	21836.7		
pasto	3	3	0	18649.1		
romero	3	3	0	21836.7		
test-acel	3	0	3	107948.		
test-past	3	0	3	72685.0		
test-rom	3	0	3	107948.		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.00294643

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 6 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 47260.8. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col 6 por Col 1

Variable dependiente: Col\_6 (Kraíz)

Factor: Col\_1 (muestras)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_6 por Col\_1**

Total n = 18

Gran mediana = 54708.4

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	3	0	3	97493.8		
pasto	3	3	0	35855.7		
romero	3	3	0	48515.7		
test-acel	3	0	3	60901.2		
test-past	3	3	0	18677.9		
test-rom	3	0	3	60901.2		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.00294643

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 6 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 54708.4. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col 7 por Col 1

Variable dependiente: Col\_7 (Khoja)

Factor: Col\_1 (muestras)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_7 por Col\_1**

Total n = 18

Gran mediana = 61372.8

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	3	3	0	46704.2		
pasto	3	3	0	31048.0		
romero	3	3	0	20261.4		
test-acel	3	0	3	247304.		
test-past	3	0	3	76041.4		
test-rom	3	0	3	162990.		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.00294643

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 6 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 61372.8. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.



### ANOVA Simple - Col 8 por Col 9

Variable dependiente: Col\_8 (trc)

Factor: Col\_9

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_8 por Col\_9**

Total n = 18

Gran mediana = 0.02

<i>Col_9</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
tespaso	1	0	1	0.03		
tessiromero	1	1	0	0.02		
testacel	3	3	0	0.006		
testpaso	1	0	1	0.03		
testpastp	1	0	1	0.03		
testromero	2	2	0	0.02		
tratacel	3	3	0	0.006		
tratpaso	3	3	0	0.02		
tratromero	3	3	0	0.02		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.0212265

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 9 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 0.02. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - A.Col 10 por A.Col 9

Variable dependiente: A.Col\_10 (trc)

Factor: A.Col\_9

#### **Prueba de la Mediana de Mood para A.Col\_10 por A.Col\_9**

Total n = 18

Gran mediana = 0.01924

<i>A.Col_9</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
tespaso	1	0	1	0.02905		
tessiromero	1	0	1	0.0196		
testacel	3	3	0	0.00577		
testpaso	1	0	1	0.02905		
testpastp	1	0	1	0.02905		
testromero	2	0	2	0.0196		
tratacel	3	3	0	0.00574		
tratpaso	3	3	0	0.01888		
tratromero	3	0	3	0.02075		

Estadístico = 18.0 Valor-P = 0.0212265

### El StatAdvisor

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 9 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 0.01924. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col\_2 por Col\_1

Variable dependiente: Col\_2 (Na total en suelo)

Factor: Col\_1 (muestra)

### Prueba de la Mediana de Mood para Col\_2 por Col\_1

Total n = 13

Gran mediana = 18071.5

Col_1	Tamaño de Muestra	n<=	n>	Mediana	LC inferior 95.0%	LC superior 95.0%
acelga	4	4	0	18071.5		
pasto	3	3	0	16002.8		
romero	3	0	3	18887.7		
testigo	3	0	3	22588.8		

Estadístico = 13.0 Valor-P = 0.00463639

### El StatAdvisor

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 4 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 18071.5. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col\_4 por Col\_1

Variable dependiente: Col\_4 (Na disponible en suelo)

Factor: Col\_1 (muestra)

### Prueba de la Mediana de Mood para Col\_4 por Col\_1

Total n = 13

Gran mediana = 18762.6

Col_1	Tamaño de Muestra	n<=	n>	Mediana	LC inferior 95.0%	LC superior 95.0%
acelga	4	4	0	16472.3		
pasto	3	0	3	21180.4		
romero	3	0	3	23524.5		
testigo	3	3	0	18762.6		

Estadístico = 13.0 Valor-P = 0.00463639

### El StatAdvisor

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 4 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 18762.6. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col 3 por Col 1

Variable dependiente: Col\_3 (K total en suelo)

Factor: Col\_1 (muestra)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_3 por Col\_1**

Total n = 13

Gran mediana = 9950.1

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	4	4	0	9492.38		
pasto	3	3	0	9950.1		
romero	3	0	3	10451.9		
testigo	3	0	3	11913.2		

Estadístico = 13.0 Valor-P = 0.00463639

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 4 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 9950.1. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.

### ANOVA Simple - Col 5 por Col 1

Variable dependiente: Col\_5 (K disponible en suelo)

Factor: Col\_1 (muestra)

#### **Prueba de la Mediana de Mood para Col\_5 por Col\_1**

Total n = 13

Gran mediana = 1255.6

<i>Col_1</i>	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>n&lt;=</i>	<i>n&gt;</i>	<i>Mediana</i>	<i>LC inferior 95.0%</i>	<i>LC superior 95.0%</i>
acelga	4	4	0	1142.3		
pasto	3	0	3	1272.1		
romero	3	3	0	1255.6		
testigo	3	0	3	1642.8		

Estadístico = 13.0 Valor-P = 0.00463639

#### **El StatAdvisor**

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 4 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 1255.6. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra.