



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL DE LOS AHUEJOTES (*Salix bonplandiana*) EN UNA CHINAMPA TIPO EN XOCHIMILCO MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIOLOGA

P R E S E N T A:

DENISE TREJO VILLASEÑOR

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. CHRISTINA D. SIEBE GRABACH

2013





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.

1. Datos del alumno

Trejo

Villaseñor

Denise

Cel. 55 13 68 50 18

Universidad Nacional Autónoma de

México

Facultad de Ciencias

Biología

Número de cuenta 408115575

2. Datos del tutor

Dra.

Christina Désirée

Siebe

Grabach

3. Datos del sinodal 1

Dr.

Francisco Javier

Álvarez

Sánchez

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Amada Laura

Reyes

Ortigoza

5. Datos del sinodal 3

M. en C.

Manuel

Hernández

Quiroz

6. Datos del sinodal 4

Dra.

Lucy Natividad

Mora

Palomino

7. Datos del trabajo escrito.

Evaluación del estado nutricional de los ahuejotes (*Salix bonplandiana*) en una chinampa tipo en Xochimilco México.

104 p

Año 2013

A la Facultad de Ciencias, y a mi Universidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

Agradecimientos

A mi esposo Alessandro, gracias por la paciencia, el apoyo incondicional y la espera. Gracias por no dejarme rendir y por estar a mi lado cuando más te necesitaba a pesar de la distancia. Gracias por enseñarme las cosas importantes de la vida y a no darme por vencida.

A mi mamá, Mónica, a mi abuela, Margarita, a mi hermana y a mis tías por darme apoyo emocional y escucharme cuando las necesitaba. Grazie alla nonnina Alessandrina e a Lina, per essere state sempre attente. A Fausto.

Gracias a mi tutora, Dra. Christina Siebe, por guiarme por el camino recorrido y por brindarme siempre una sonrisa. La admiro mucho.

Al M. en C. Manuel Hernández por su amistad, por su apoyo y por su tiempo, siempre con la mejor actitud.

A la Dra. Lucy Mora, por compartir sus conocimientos, por hacerme reír, brindarme su tiempo y tenerme paciencia.

Al Instituto de Geología, sobre todo a la M. en C. Kumiko Shimada y al M. en C. Jaime Díaz.

A la Unidad de Análisis Ambiental y a su coordinadora; Dra. Claudia Ponce de León, por brindarme todo su apoyo.

A mis compañeros y amigos del Taller, de la Unidad y del Instituto, sobre todo a Horacio, Omar y Mario.

A mis sínodos Dr. Javier Álvarez y Dra. Amada Laura Reyes, por sus valiosos comentarios y por su tiempo, disposición y ayuda.

A la Dra. Edith Estrada Venegas, del Colegio de Postgraduados, por su valiosa aportación a mi trabajo.

Al laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Química dirigido por el Dr. Ciro Márquez, por ayudarme a realizar mis muestras.

Evaluación del estado nutricional de los ahuejotes (*Salix bonplandiana*) en una chinampa tipo en Xochimilco México

Índice	Pág.
1. Resumen	5
2. Introducción	6
3. Marco teórico	8
3.1 Ubicación y características de Xochimilco	8
3.2 La zona chinampera de Xochimilco	11
3.3 Problemática ambiental de Xochimilco	12
3.4 Caracterización de la especie <i>Salix bonplandiana</i>	14
3.5 Agentes de daño para los ahuejotes	16
3.6 Salud de un árbol	17
3.6.1 Nutrición	19
3.6.2 Nutrición, salud y afectación por plagas	24
3.7 Evaluación de las concentraciones de nutrimentos (umbrales de deficiencia, suficiencia, consumo de lujo y de toxicidad)	24
3.7.1 Síntomas de toxicidad para los nutrientes	25
3.8 Producción de biomasa, senescencia y nutrientes en la hojarasca	26
4. Objetivos	29
4.1 Objetivo general	29
4.2 Objetivos específicos	29
5. Hipótesis	29
6. Justificación	30
7. Materiales y métodos	31
7.1 Selección y descripción de la parcela de estudio	31
7.2 Observaciones y mediciones a los ejemplares de <i>Salix bonplandiana</i>	33
7.3 Muestreo de hojas para el análisis de nutrimentos	37
7.4 Cuantificación de la hojarasca	37
7.5 Transporte y preparación de muestras	37
7.6 Medición de área foliar	38
7.7 Cuantificación de nutrimentos	39
7.8 Límites de detección y control de calidad	39
7.9 Cálculos de variables	40
7.10 Análisis de datos	40
8. Resultados	41
8.1 Indicadores de crecimiento	41
8.2 Afectaciones observadas en los árboles	44
8.3 Contenido de humedad en las hojas frescas	45
8.4 Concentraciones de elementos	45
8.5 Correlaciones	59
8.5.1 Correlaciones simples	59
8.5.2 Correlaciones múltiples	64
8.6 Trampas de hojarasca	66
8.6.1 Relación de nutrientes entre temporada de secas y lluvias	71
8.6.2 Diferencia entre concentración de hojas frescas y hojarasca	71

9. Discusión	Pág. 73
9.1 Comportamiento de nutrientes y elementos contaminantes	73
9.2 Toxicidad de elementos contaminantes	80
9.3 Relación entre concentraciones de elementos en muestras foliares y los Indicadores de crecimiento	80
9.4 Relación entre concentraciones de elementos en muestras foliares y las afectaciones por plagas	81
9.5 Aportación de biomasa y reciclaje de nutrientes	82
10. Conclusiones	84
10.1 Perspectivas	84
11. Anexo	86
12. Referencias	95
Índice de Figuras	
Figura 1. Ubicación de la Delegación Xochimilco en el Distrito Federal	8
Figura 2. Vista panorámica de la zona de Xochimilco en el sur de la cuenca de México	9
Figura 3. Climograma del área de Xochimilco	10
Figura 4. Ejemplar de <i>S.bonplandiana</i> ubicado en la chinampa tipo	15
Figura 5. Acercamiento a hojas e inflorescencias de <i>S.bonplandiana</i>	15
Figura 6. Relación entre concentración del nutriente y el rendimiento de la planta	24
Figura 7. Ubicación de la chinampa tipo en Xochimilco	31
Figura 8. Acercamiento de la vista satelital de la chinampa	32
Figura 9. Croquis de la chinampa, sus medidas y la ubicación árboles muestreados	33
Figura 10. Medición de la altura de los árboles de la chinampa tipo	34
Figura 11. <i>A.tetanothrix1</i>	34
Figura 12. <i>A.tetanothrix2</i>	34
Figura 13. <i>M.incurvum</i> huevos	35
Figura 14. <i>M.incurvum</i> larvas	35
Figura 15. Escala utilizada en el programa ImagePro para medir el área foliar	38
Figura 16. Índice entre el diámetro a la altura del pecho y la altura de los árboles muestreados	41
Figura 17. Promedio del área foliar de los árboles muestreados a orillas de los cuatro canales que rodean la chinampa	42
Figura 18. Afectaciones observadas en los ahuejotes	44
Figura 19. Porcentaje de humedad en las hojas de los árboles muestreados a orillas de los cuatro canales que rodean la chinampa	45
Figura 20. Porcentaje de N en las muestras foliares	46
Figura 21. Porcentaje de P en las muestras foliares	47
Figura 22. Porcentaje de K en las muestras foliares	48
Figura 23. Porcentaje de S en las muestras foliares	49
Figura 24. Porcentaje de Ca en las muestras foliares	50

	Pág.
Figura 25. Porcentaje de Mg en las muestras foliares	51
Figura 26. Concentración de Fe (mg/kg) en las muestras foliares	52
Figura 27. Concentración de Mn (mg/kg) en las muestras foliares	53
Figura 28. Concentración de Cu (mg/kg) en las muestras foliares	54
Figura 29. Concentración de Zn (mg/kg) en las muestras foliares	55
Figura 30. Concentración de Mo (mg/kg) en las muestras foliares	56
Figura 31. Concentración de Ni (mg/kg) en las muestras foliares	57
Figura 32. Concentración de Na (mg/kg) en las muestras foliares	58
Figura 33. Biomasa introducida en gramos al sistema por semana por metro cuadrado en la temporada de secas	66
Figura 34. Biomasa introducida en gramos al sistema por semana por metro cuadrado en la temporada de lluvias	66
Figura 35. Biomasa introducida al sistema en gramos por día y m ²	67
Figura 36. Promedio en porcentaje de macronutrientes en muestras de hojarasca colectadas en la época seca y de lluvias	68
Figura 37. Promedio en porcentaje de Carbono en muestras de hojarasca Colectadas en la época de secas y en la de lluvias	68
Figura 38. Promedio en mg/kg de micronutrientes en muestras de hojarasca colectadas en la época de secas y de lluvias	69
Figura 39. Promedio en mg/kg de elementos contaminantes en muestras de hojarasca colectadas en la época de secas y la de lluvias	70
Figura 40. Promedio en mg/kg de Na en muestras de hojarasca colectas en la época de secas y de lluvias	70
Figura 41. Concentraciones foliares de nutrientes, movilidad de elementos en la planta y diferencias en las concentraciones de nutrientes entre temporadas en la hojarasca	83
 Índice de tablas	
Tabla 1. Macronutrientes y su función y deficiencia en la planta	20
Tabla 2. Micronutrientes y su función y deficiencia en la planta	21
Tabla 3. Elementos considerados como nocivos para las plantas, su posible función y el efecto de su toxicidad en la planta	23
Tabla 4. Criterios usados para la calificación de la incidencia de plagas	36
Tabla 5. Resultados prueba t de Student entre las áreas foliares de los ahuejotes	43
Tabla 6. Concentraciones obtenidas para Li, Cd, Cr, Co y Pb	59
Tabla 7. Correlaciones simples entre nutrientes	60
Tabla 8. Correlaciones simples entre nutrientes, afectaciones por plagas e indicadores de crecimiento	61
Tabla 9. Correlación simple entre afectaciones por plagas e indicadores de crecimiento	62
Tabla 10. Análisis de correlación múltiple	65
Tabla 11. Índice entre hojas y hojarasca para macronutrientes	71
Tabla 12. Índice entre hojas y hojarasca para micronutrientes	71
Tabla 13. Índice entre hojas y hojarasca para elementos considerados contaminantes	72

	Pág.
Tabla 14. Umbrales de concentración de elementos en las muestras de ahuejote	73
Tabla 15. Concentraciones de iones disueltos, pH y conductividad en las muestras de agua de los canales circundantes de la chinampa tipo	76
Tabla 16. Etiquetas de las muestras foliares y su ubicación en los canales de la chinampa tipo	86
Tabla 17. Posición, altura de la ubicación del árbol, altura del árbol, diámetro a la altura del pecho y circunferencia del tronco	87
Tabla 18. Observaciones realizadas a los árboles	87
Tabla 19. Concentración de macronutrientes en las muestras foliares	88
Tabla 20. Concentración de micronutrientes en muestras foliares	88
Tabla 21. Concentración de elementos contaminantes en las muestras foliares	89
Tabla 22. Concentraciones obtenidas por duplicado sin corrección para macronutrientes en las muestras foliares	90
Tabla 23. Concentraciones obtenidas para micronutrientes por duplicado sin corrección en las muestras foliares	91
Tabla 24. Concentraciones obtenidas por duplicado sin corrección para los elementos contaminantes en las muestras foliares	92
Tabla 25. Límite de detección macronutrientes	93
Tabla 26. Límite de detección micronutrientes	93
Tabla 27. Límite de detección de elementos nocivos	93
Tabla 28. Indicadores de crecimiento y porcentaje de humedad en las muestras foliares	94
Tabla 28. Afectaciones observadas en los árboles	94

1. Resumen

Este trabajo se realizó en la zona chinampera del lago de Xochimilco, con el objetivo de evaluar si el estado hipereutrófico y el incremento de sales solubles en el agua de los canales afecta el estado nutricional de árboles de ahuejote (*Salix bonplandiana*) que crecen en los bordes de las chinampas. Para ello se cuantificaron el contenido de nutrimentos (N, C, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn y Mo) y algunos elementos nocivos (Co, Cr, Ni, Cd, Li, Pb y Na) en muestras foliares y éstos se relacionaron con indicadores de crecimiento de los mismos árboles y con la incidencia de insectos dañinos o plagas. Así mismo se cuantificó la cantidad de hojarasca dispuesta en el sistema por parte de los ahuejotes (que es uniespecífica en la chinampa tipo), la cual, al igual que las muestras foliares fue analizada para obtener información y realizar inferencias acerca del papel que tienen estos árboles en el ciclaje de nutrientes en una chinampa.

Los resultados muestran que N, Mg, Mn, Zn y Mo se encuentran en intervalos considerados como consumo de lujo (su concentración se encuentra por encima de lo óptimo para el crecimiento), mientras que K, S, Fe y Cu y probablemente P se encuentran en concentraciones por debajo de lo óptimo para el crecimiento de las plantas. Por su parte los elementos que podrían considerarse nocivos para las plantas se encuentran en concentraciones dentro de los límites considerados normales excepto por Li y probablemente Na, los cuales mostraron concentraciones elevadas que pudieran estar causando toxicidad.

No se encontraron correlaciones negativas entre la presencia de nutrimentos en intervalos de consumo de lujo y los indicadores de crecimiento o de incidencia de plagas en los árboles. Sólo se encontró una correlación positiva entre el contenido de Mg en las hojas y el área foliar. Los contenidos de P y S en las hojas se relacionan positivamente con la incidencia de afectaciones por insectos. También la concentración de Li y Pb predispone a los árboles a ser invadidos por plagas.

Los ahuejotes aportan al sistema aproximadamente $3.8 \text{ g m}^2 \text{ día}^{-1}$ de hojarasca en la temporada de secas y $9.14 \text{ g m}^2 \text{ día}^{-1}$ en la temporada de lluvias. Los nutrientes que mayoritariamente reciclan los ahuejotes en el sistema son S, Fe y Mn.

2. Introducción

La vegetación que caracteriza a las zonas de humedal es la riparia o también llamada bosque de galería.

Un humedal es un sistema complejo que actúa como interfase entre los hábitats terrestres y los acuáticos. Los humedales son ricos en biodiversidad y altos en productividad. Así mismo fungen como zonas de desove, zonas de anidación para aves, zonas de desarrollo y reclutamiento de invertebrados y peces (Buenfil, 2009).

La vegetación riparia se caracteriza por ser agrupaciones arbóreas que se presentan a lo largo de corrientes de agua o que se encuentra en los bordes de un cuerpo de agua (Villarauz, 2009). Este tipo de vegetación cumple con importantes funciones ecológicas, como son, favorecer la infiltración del agua pluvial y con ello retrasar o disminuir la caída del suelo hacia el cuerpo de agua, filtrar sedimentos y nutrientes, ser hábitat y aporte de energía de numerosos organismos, y estabilizar las orillas de cuerpos acuáticos (Soman *et al.*, 2007; RAMSAR, 2012).

El género *Salix* se distribuye mundialmente y es característico de ambientes riparios. Algunas de sus especies se encuentran bien estudiadas, mientras que otras, como es el caso de *Salix bonplandiana*, cuyo nombre común en México es ahuejote, no se han estudiado a profundidad y son escasos los estudios acerca de su nutrición y en general de su ciclo biológico.

Esta especie es característica del sistema lacustre-chinampero de Xochimilco. El sistema chinampero es un ecosistema agrícola construido por el hombre; es uno de los más antiguos, diversos, productivos y sustentables en el mundo (Von Bertrab y Zambrano, 2010). Los ahuejotes forman parte fundamental de este sistema, ya que cumplen diversos roles como la conservación del suelo chinampero mediante el control de la erosión y son una cerca viviente de este agrohábitat (CONABIO, 2011). Como muchas otras especies de *Salix* y de vegetación riparia en general, contribuyen al ciclaje de nutrientes, secuestro del C, además de servir de refugio y alimento para muchas especies y así dar soporte a una extensa cadena trófica (Wani, *et al.*, 2011).

Actualmente, el sistema de chinampas en Xochimilco se encuentra eutrofizado, e incluso hipereutrofizado a causa de las múltiples descargas de aguas residuales domésticas (Arcos *et al.*, 2004). Esto último implica la presencia de una mayor concentración de nutrimentos en el agua, en particular de nitrógeno y de fósforo. Lo anterior podría aumentar el crecimiento de los ahuejotes. Sin embargo, si los nutrimentos se encuentran en exceso en el agua, también podrían afectar el desarrollo de los árboles, dado que podrían inducir desbalances nutricionales. Un exceso en la absorción de algunos nutrimentos, como el nitrógeno, pueden a su vez volver a los árboles más propensos a ser atacados por parásitos (Marschner, 1990).

En algunas zonas del sistema lacustre-chinampero se ha registrado en las últimas décadas un incremento de salinidad, dado que los aportes de aguas pluviales y de manantiales han disminuido (Ramos-Bello *et al.*, 2001 y Arcos *et al.*, 2004). Un exceso de salinidad podría provocar toxicidad por Na y Cl en muchas plantas al igual que desbalances nutricionales sobre todo de Ca y K (Marschner, 1990).

En este estudio se evaluó y comparó el estado nutricional de varios ejemplares de ahuejote (*Salix bonplandiana*) localizados en cuatro canales que rodean una chinampa en Xochimilco. Se realizaron observaciones acerca de la afectación de los árboles por parásitos y se midieron altura, diámetro a la altura del pecho y el área foliar como indicadores de crecimiento. El contenido de nutrimentos en las hojas se correlacionó con la afectación por parásitos y con los indicadores de crecimiento para evaluar si la eutrofización o hipereutrofización de los canales afecta o beneficia a los árboles. Finalmente se cuantificó la caída de hojarasca y se determinaron los contenidos de nutrimentos en ésta, para conocer la contribución de los ahuejotes al ciclaje de nutrientes.

3. Marco teórico

3.1 Ubicación y características de Xochimilco

Xochimilco es una delegación que se encuentra ubicada al sur del Distrito Federal y tiene una superficie de 125.17 km² (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2005). Limita hacia el norte con Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac, hacia el sur con Milpa Alta, hacia el este y oeste con Tláhuac y Tlalpan, respectivamente. La posición geográfica de la Delegación es entre los 19° 09' y los 19° 19' Latitud norte y los 98° 10' 99° 58' Longitud oeste, en la Figura 1 se muestran su ubicación en el Distrito Federal y en la Figura 2 se muestra una vista panorámica de las zonas de la Delegación de Xochimilco.

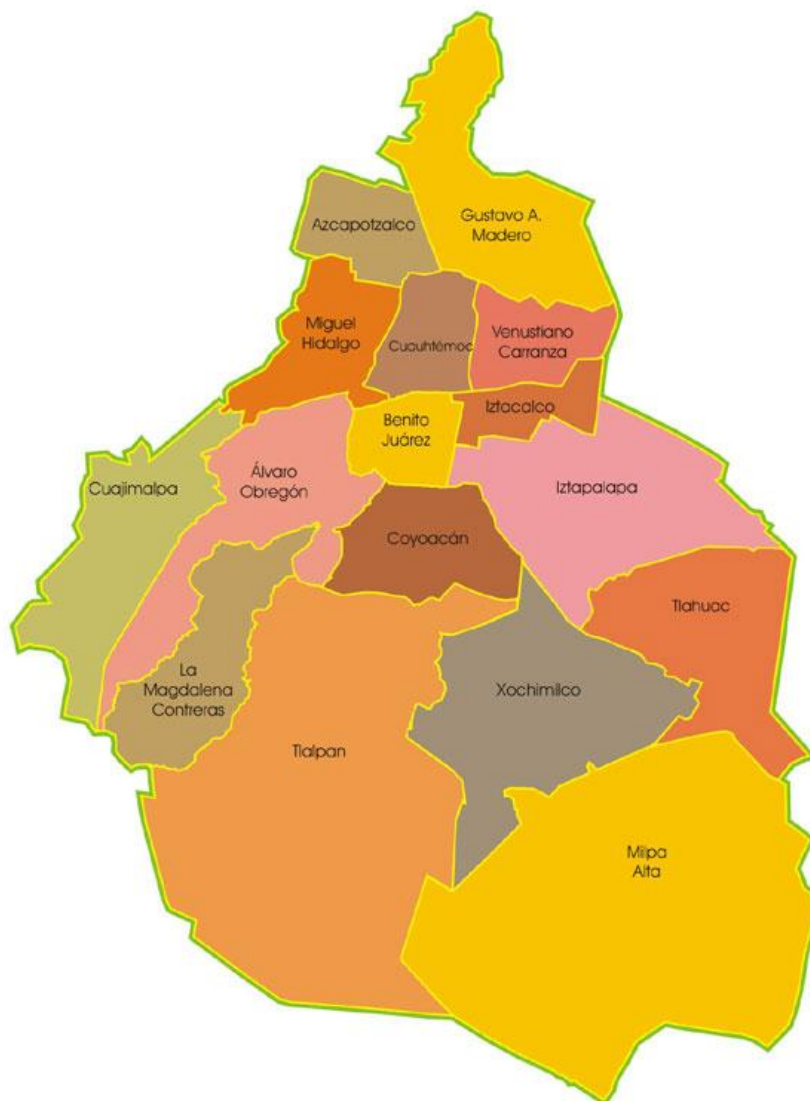


Figura 1. Ubicación de la Delegación Xochimilco en el Distrito Federal (Imagen tomada de <http://www10.df.gob.mx>).

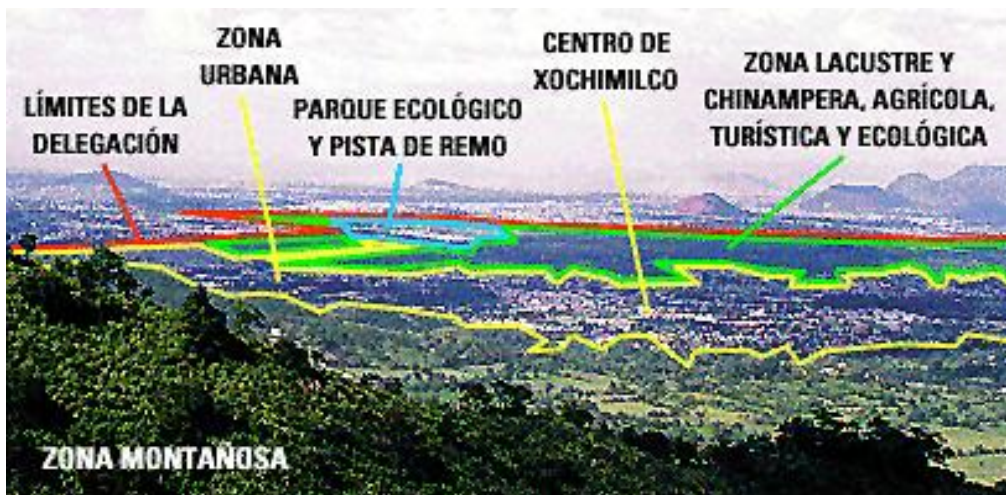


Figura 2. Vista panorámica de la zona de Xochimilco en el sur de la cuenca de México (Fotografía tomada del Manual de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2001-2005).

Según el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Xochimilco (2007) la cobertura vegetal del sitio se basa en agricultura de temporal y sus áreas verdes suman una superficie aproximada de 101.08 km² repartidas en extensas zonas de chinampas, parques, jardines y camellones.

Las características geológicas del sitio se dividen en tres tipos de zonas (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2005):

- Zona de lomas, conformada por gravas, arenas, bloques, basaltos y otras rocas piroclásticas.
- Zona de transición, conformada por arcilla; arena y grava.
- Zona plana lacustre, conformada por tobas, limos, arcillas y arenas finas.

En la zona plana o lacustre predominan sedimentos de tipo arcilloso intercalados con arenas de grano fino; en esta zona se formó el sistema de canales de Xochimilco ubicados en la parte norte de la delegación, en donde se presentan además basaltos fracturados de gran permeabilidad.

La zona de transición está localizada entre las regiones altas y bajas, se compone de gravas y arenas gruesas intercaladas con arcillas y pequeñas coladas de basalto (derrames producidos por erupciones volcánicas).

Por último, en la zona de lomas existen intercalaciones de basaltos, tobas y cenizas volcánicas. Esta zona es muy permeable, debido a las fracturas y vesículas que se formaron en estos materiales, ocasionados por el rápido enfriamiento de lava original.

El suelo de las chinampas se caracteriza por ser rico en materia orgánica, con altas concentraciones de nitrógeno que según los reportes internos de la UNAAMB (2011) son de 0.45%, además posee textura limosa, lo cual es muy favorable para la agricultura de chinampa (Quintero y Villa 1991).

En la Figura 3 se observa el climograma del área de Xochimilco entre los años 2000 y 2012, en éste se observa que los meses más calurosos son Abril y Mayo y los meses con mayores lluvias son Noviembre, Diciembre y Mayo.

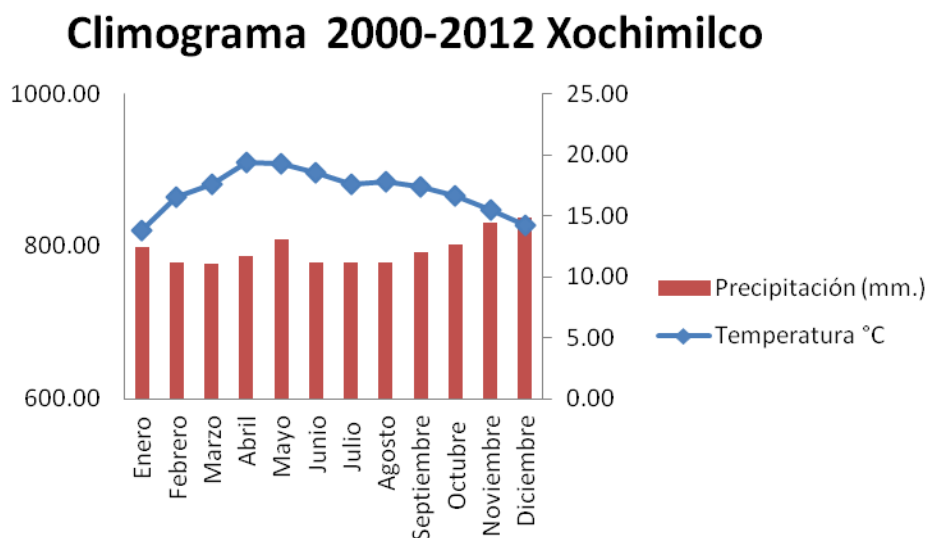


Figura 3. Climograma del área de Xochimilco. Datos tomados de www.pembu.atmosfcu.unam.mx de la estación ENP1. Años 2007,2008 y 2010 faltantes.

El Programa Delegacional de Xochimilco (2007) dice que los usos de suelo reportados para Xochimilco son los siguientes:

- Conservación ecológica con una superficie de 100.12 km²
- Habitacional con una superficie de 19.64
- Mixtos con una superficie de 3.10 2.48 km²
- Espacios abiertos con una superficie de 0.96 km²
- Industrial con una superficie de 1.10 km²
- Equipamiento urbano con una superficie de 0.25 km²

Del total de la superficie de la delegación menos del 10 por ciento corresponde a la zona urbana, el 20 por ciento al antiguo vaso del lago ya contraído por la extracción de agua, y el resto a la parte montañosa (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2005). Más de la mitad del suelo urbano está ocupado por viviendas que forman 76 colonias, un 15 por ciento por industrias y el resto por comercios y servicios (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2005).

3.2 La zona chinampera de Xochimilco

Xochimilco tiene gran valor para los mexicanos por su riqueza cultural y biológica y por las actividades recreativas que se realizan ahí. Sin embargo, en el último siglo la superficie lacustre ha disminuido a causa del crecimiento urbano. Esto ha creado una serie de problemas que afectan directamente a la biota que ahí habita (INECOL, 2004). En Xochimilco podemos encontrar un gran número de especies nativas y endémicas que son de gran importancia ecológica y cultural. Además se cultivan algunas especies que son de importancia económica. Sin embargo, la introducción de especies exóticas sumada a la pérdida de hábitat ha reducido las poblaciones de las especies nativas (INECOL, 2004).

La zona lacustre de Xochimilco fue un centro agrícola prehispánico muy productivo en la cuenca sur-oriental del Valle de México. El sistema de chinampas es una forma de cultivo única en el mundo, por su alto grado de integración ambiental al antiguo funcionamiento hidrológico de esta cuenca (INECOL, 2004).

El sistema tradicional de chinampas surgió probablemente hace más de dos mil años y permanece hasta la fecha; su auge se dio entre los siglos XIV y XV. La palabra chinampa proviene del náhuatl "chinamitl" que significa seto de cañas. Se basa en el principio de construir balsas que se cubrían con limo extraído del lago en las cuales se cultivaba. Actualmente estas balsas son parcelas rodeadas por al menos 3 canales de agua y cuyos bordes están definidos por ahuejotes (INECOL, 2004; Espinosa y Mazari, 2007).

Este sistema agrícola buscaba resolver el problema del espacio y la producción de alimentos bajo condiciones ambientales difíciles. Aún se utiliza lodo, plantas como el tule (*Typha latifolia*), y restos animales para su realización (Espinosa y Mazari, 2007). Como se menciona anteriormente los ahuejotes juegan un papel fundamental en la chinampa, ya que sus raíces estabilizan a la parcela y evitan que la tierra de las orillas caiga al lago. Además favorecen la retención de humedad, brindan sombra a las parcelas y sirven como refugio y alimento a múltiples especies (Quintero y Villa 1991).

Hoy en día debido a los múltiples problemas de la zona y para aumentar su productividad algunos chinamperos trabajan en forma más tecnificada usando pesticidas, fertilizantes e incluso maquinaria (INECOL, 2004).

La zona agrícola de Xochimilco posee características culturales y ecológicas únicas en el ámbito mundial por las cuales el 11 de diciembre de 1987, fue inscrita en el Catálogo del Patrimonio de la Humanidad, por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), con la finalidad de consagrar el valor universal excepcional de sus bienes, que deberán ser protegidos en beneficio de toda la humanidad (INECOL, 2004).

3.3 Problemática ambiental de Xochimilco

Xochimilco empezó a sufrir escasez de agua potable desde 1883, dado que empezó a proveer de agua a la capital. Lo anterior, aunado al desecamiento de la cuenca de México, ha sido determinante en la decadencia de sus lagos (INECOL, 2004). Entre 1905 y 1913 se construyó un acueducto por medio del cual los manantiales de Xochimilco empezaron a aportar agua para la Ciudad de México, en cantidades crecientes hasta que los ricos manantiales se agotaron. La creciente necesidad de agua de la capital trajo como consecuencia la construcción de pozos profundos en el subsuelo de Xochimilco (INECOL, 2004).

La desecación del lago de Xochimilco hizo que disminuyeran en 30% las lluvias del sur del valle de México, y que se hundiera el terreno tanto en las partes lacustres como en las montañas cercanas. En 1953 se empezó a mantener artificialmente el nivel del lago mediante la recepción de aguas negras tratadas, provenientes de la capital. Así mismo, la construcción del drenaje en dos etapas, una de 1937 a 1940 y otra de 1966 a 1975, contribuyó lamentablemente a la contaminación de los canales (INECOL, 2004).

La falta de agua limpia y su reemplazo por aguas tratadas a partir de 1953, además de dañar a la biota, alejar a la fauna y poner en peligro la salud de los pobladores, causó una descontrolada acumulación de sales solubles en el suelo (INECOL, 2004). Es por ello que muchas chinampas de la región agrícola sufrieron una notable baja en su productividad. De los 70 kilómetros cuadrados de chinampas productivas que alguna vez tuvo Xochimilco, hoy día queda apenas una cuarta parte. Por otro lado, las aguas tratadas no bastaron para detener los hundimientos, que todavía entre 1985 y 1987 alcanzaron hasta 45 centímetros en partes de los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (INECOL, 2004).

La delegación de Xochimilco cuenta con dos plantas de tratamiento: San Luis Tlaxialtemalco y Reclusorio Sur, con capacidad de operación de 110 y 13 l/s, respectivamente (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2005). La primera recibe agua del colector Madrina Xochimilco y cuenta con un proceso de tratamiento de nivel terciario con filtros de grava y arena y tratamiento de lodos; la segunda con aportaciones del mismo reclusorio presenta un tipo de proceso secundario. El agua tratada es utilizada en el riego de sus áreas verdes mismas que

abarcan una superficie de 13.76 km², así como para la recarga del acuífero. El llenado de canales y lagos recreativos deben de mantener los niveles constantes de los mismos, también la primer planta abastece a un distrito de riego localizado al sur de Canal Nacional-Canal de Chalco, además la planta de tratamiento Cerro de La Estrella (delegación Iztapalapa) aporta parte de su gasto al llenado de los canales y lagos (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2005).

En Xochimilco las áreas de cultivo bajo riego son muy escasas comparadas con el área total cultivable, esto es, el área de riego representa el 8.98 % del área total. De acuerdo con los cálculos, se requiere un volumen mensual de agua para riego de 216,208.84 m³ mientras que la disponibilidad actual de agua residual tratada es de 919,800.00 m³. De aquí se desprendería que existe agua suficiente para el riego de productos agrícolas (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 2005).

Según la INECOL (2004), la problemática de Xochimilco se resume en los siguientes puntos:

- Sobre-explotación del manto acuífero.
- Disminución de agua en la zona chinampera.
- Contaminación del agua y manto freático por aguas negras y residuales.
- Ocupación de zonas agrícolas y forestales por asentamientos irregulares.
- Plagas en la zona chinampera.
- Riesgos sanitarios como epidemias en las zonas chinamperas y en asentamientos irregulares, por la contaminación del agua en canales y la falta de servicios sanitarios.
- Hundimientos diferenciales del terreno.

Aunado a lo antes mencionado las aguas de los canales de Xochimilco presentan hipereutroficación a lo largo del año, menos en agosto cuando se considera eutrófico (Arcos *et al.*, 2004; Tavera y Diez, 2009; Flores, 2009; Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

La eutrofización sucede cuando un cuerpo de agua se enriquece de nutrimentos (sobre todo P y N) a ritmo acelerado y por lo general sucede en pocas décadas o años (Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

Este enriquecimiento acelerado de los cuerpos de agua es provocado por diferentes factores, algunos naturales, y otros, producto de actividades antropogénicas (Arcos *et al.*, 2004; Tavera y Diez, 2009; Flores, 2009; Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

Algunas de las causas que han llevado a la hipereutroficación del lago son el aporte de aguas semitratadas provenientes de las plantas de tratamiento, además de las actividades humanas como el turismo, la falta de infraestructura sanitaria adecuada (Arcos *et al.*, 2004) y las descargas domésticas que no son reguladas (que muchas

veces traen consigo detergentes fosfatados). Todas éstas, además de introducir fuertes cantidades de materia orgánica al sistema, aportan metales provenientes de residuos peligrosos como baterías y partes automotrices (Flores, 2009).

El aporte de fertilizantes ricos en compuestos orgánicos y desechos de sistemas sépticos pobres en oxígeno y ricos en fósforo también han contribuido al estado hipereutrófico de las aguas de los canales de Xochimilco (Flores, 2009).

Esto ha resultado en la pérdida de la salud del ecosistema de este cuerpo de agua, pérdida de biodiversidad y de recursos acuáticos, además de problemas sanitarios como mal olor, lo que han vuelto a las aguas de Xochimilco un foco de infección (Flores, 2009; Tavera y Diez, 2009).

3.4 Caracterización de la especie *Salix bonplandiana*

Los ahuejotes (Figuras 4 y 5) son árboles monoicos considerados tanto perennifolios como caducifolios. Pertenecen a la Familia Salicaceae y miden entre 6 y 10 metros de altura, y pueden llegar a medir 15 m. Pueden vivir hasta 30 años y el diámetro promedio del tronco es de 80 cm. Tienen una corteza café o negruzca, rugosa y fisurada en bordes escamosos o aplanados. Su sistema radicular es superficial y extendido. Los ahuejotes o sauces habitan típicamente en el paisaje lacustre de la ciudad de México y se distribuyen desde Sonora, Chihuahua y Colima hasta Oaxaca. La especie es nativa del valle de México y se encuentra en ambientes riparios (CONABIO, 2011).

Fonseca (1996) afirma que para los ejemplares de *S. bonplandiana* encontrados en el estado de Guerrero, México, la altura promedio es de 20 metros; el diámetro del tronco es de entre 40 y 50 centímetros; la corteza tiene fisuras irregulares; las ramas son extendidas, hojas deciduas o subpersistentes, verdes en el haz y glaucas en el envés y son lineares o lanceoladas; las inflorescencias son en ametos terminales sobre brotes cortos y los frutos son verdes en la madurez.



Figura 4. Ejemplar de *S.bonplandiana* ubicado en la chinampa tipo



Figura 5. Acercamiento a hojas e inflorescencias de *S.bonplandiana*

A pesar de que la bibliografía indica que los suelos ácidos y húmedos de tipo regosol eútrico, litosol, somero pedregoso favorecen su crecimiento (CONABIO, 2011; Rodríguez, 2003), en el área chinampera de Xochimilco se ha observado que el suelo es más bien alcalino (Ramos-Bello *et al.* 2001). Florecen y fructifican casi todo el año. Esta especie ayuda a la conservación del suelo y evita su erosión, además de formar una barrera natural en contra de los vientos. Son árboles demandantes de luz e intolerantes a la sombra y a los suelos secos (CONABIO, 2011).

Según González y Del Amo (1999) los ahuejotes tienen otras funciones además de retener el suelo y servir como una barrera rompe vientos, también aportan materia orgánica al sistema y sirven de refugio a especies enemigas de las plagas como las aves, pero además de esto, concentran en sus hojas una gran cantidad de insectos que los invaden y permanecen en sus hojas en vez de atacar a los cultivos.

Según Quintero y Villa (1991), las etapas fenológicas del ahuejote se resumen de la siguiente manera:

- La aparición de brotes foliares ocurre en primavera, entre marzo y junio y las inflorescencias se presentan durante el verano, de julio a septiembre.
- La defoliación natural y maduración de semillas se realiza de forma casi simultánea durante el otoño, de octubre a diciembre.
- La dispersión de semillas también tiene lugar durante el otoño aunque con mayor frecuencia al final de la estación.
- El amarillamiento del follaje ocurre a finales de otoño y a principios del invierno, en noviembre y diciembre, y en algunos casos hasta marzo.

3.5 Agentes de daño para los ahuejotes

Estrada *et al.* (2011) afirman que *S. bonplandiana* presenta un gran número de organismos asociados, de los cuales algunos, al causar un daño significativo, son considerados plagas, mientras que otros son especies que lo visitan en busca de alimento o resguardo. Así mismo afirman que la mayor parte de las especies se encuentran en el follaje del árbol.

Los agentes que causan mayor daño a los ahuejotes son principalmente insectos, los cuales pueden ser chupadores, perforadores de la madera y formadores de agallas (Quintero y Villa, 1991). También inciden sobre esta especie hongos que provocan la pudrición de madera y raíces, lo cual posiblemente cause el secado de la punta del árbol (Quintero y Villa, 1991).

Para Estrada *et al.* (2011), el muérdago *Cladocolea loniceroides*, el gusano de bolsa *Malacosoma incurvum* (Orden: Lepidoptera, Clase Lasiocampidae) y los ácaros *Aculus tetanothrix* (Familia Eriophyidae) son las especies que se encuentran causando daños significativos a los ahuejotes.

El ácaro *Aculus tetanothrix* afecta a varias especies de *Salix*, induce agallas en el follaje las cuales miden aproximadamente 2-3 mm de diámetro y son irregularmente redondas, varían de coloración entre verde, amarillo y rojo o rojo-café, como todos los representantes de la Familia Eriophyidae se alimentan exclusivamente de plantas (Keifer *et al.*, 1982).

Quintero y Villa (1991) concuerdan con Estrada *et al.* (2011) en que una de las plagas que afecta de mayor manera a los ahuejotes de Xochimilco es el malacosoma o gusano de bolsa (*Malacosoma incurvum var. aztecum* Neumogen), cuyas larvas provocan defoliación, ya que se alimentan del parénquima de las hojas.

Los resultados encontrados por Estrada *et al.* (2011) indican que la biota asociada al ahuejote *S. bonplandiana* se encuentra representada por los reinos Fungi, Plantae y Animalia, los hongos y plantas representados por una familia, un género y una especie cada una y los animales artrópodos (arañas, ácaros e insectos) representados por 18 familias, 20 géneros y 21 especies.

3.6 Salud de un árbol

Para Boa (2008) la salud del árbol como disciplina, se refiere al estudio de todos los factores (bióticos y abióticos) que afectan el vigor y la productividad de un árbol, manifestados por diferentes síntomas y tipos de daño. La salud de un árbol puede expresarse cualitativamente mediante la descripción de los síntomas o daño, o cuantitativamente mediante evaluaciones de la condición de la copa.

Los insectos plaga y las enfermedades afectan la salud de los árboles y desempeñan un papel importante en la dinámica de los bosques. Ocasionalmente, poblaciones de insectos crecen rápidamente hasta alcanzar proporciones dañinas y ocurren grandes brotes de enfermedades. Estos eventos pueden tener impactos catastróficos que conducen a la destrucción total de grandes áreas de bosques naturales y/o forestales plantados, a la pérdida o reducción de funciones vitales del ecosistema arbóreo y a pérdidas económicas considerables (Boa, 2008).

Las muchas razones para la interrupción del crecimiento saludable de un árbol pueden dividirse en dos categorías principales: factores vivos (bióticos) y no vivos (abióticos). En cualquier momento, más de un factor puede afectar la salud de un árbol (Boa, 2008).

Entre los factores abióticos que pueden afectar un árbol se encuentran (Boa, 2008):

- Factores químicos: plaguicidas, herbicidas, desechos industriales y desechos misceláneos.
- Agentes mecánicos: maquinaria y descuidos humanos.
- Condiciones del suelo: disponibilidad de nutrientes y estructura física.
- Agua: insuficiencia o exceso.
- Clima: temperatura o condiciones atmosféricas.

Entre los factores bióticos podemos encontrar (Boa, 2008):

- Hongos
- Bacterias
- Virus
- Fitoplasmas
- Insectos
- Ácaros
- Plantas parásitas
- Malezas
- Animales grandes

Según Boa (2008) la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define el término plaga como cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales.

Existen plagas primarias, que primordial y principalmente afectan la salud del árbol, y las plagas secundarias que tienen una influencia menos importante y que usualmente afectan árboles ya debilitados por un factor predisponente. El impacto de los insectos plaga a menudo se ve incrementado por un debilitamiento previo del vigor del árbol y un descenso de su resistencia natural a la infestación, por ejemplo por deficiencias y excesos de nutrientes.

Cuando un árbol presenta las siguientes características se pueden interpretar como síntomas de mala salud (Boa, 2008):

- Cambio de color en la copa.
- Cambio de forma.
- Alteración del crecimiento.
- Pérdida o desarrollo prematuros.
- Muerte descendente.
- Marchites y colapso.
- Manchas y lesiones.
- Cancro.
- Podredumbres y descomposiciones.
- Daño por alimentación de animales e insectos.
- Infestación de plagas.
- Daños generales.
- Otros crecimientos vegetales en el árbol.

3.6.1 Nutrición

Salix bonplandiana es un excelente ejemplo de vegetación riparia, la cual en principio tiene requerimientos nutricionales elementales para su óptimo desempeño estructural y fisiológico. Desafortunadamente para este tipo de vegetación estos requerimientos no han sido estudiados a profundidad y solo se conoce el rol del N (Naiman *et al.* 2005).

Según Marschner (1990) los nutrientes tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas, y de acuerdo con Taiz (2003) estos nutrientes se encuentran en un ciclo entre los organismos y el ambiente, y la asimilación de los nutrientes por las plantas es la clave para la incorporación de los nutrientes al ciclo y así a la biosfera.

Solo algunos de los elementos encontrados en el suelo se consideran esenciales para las plantas (Taiz, 2003); si la planta sufre de carencia de algún elemento esencial, entonces demostrará síntomas de deficiencia y morirá sin cumplir su ciclo vital.

Los nutrientes esenciales se pueden clasificar en macronutrientes y micronutrientes. Entre los macronutrientes se encuentran azufre, fósforo, magnesio, calcio, potasio, nitrógeno, oxígeno, carbono, hidrógeno; y entre los micronutrientes están el cloro, molibdeno, cobre, cinc, hierro, manganeso y boro (Taiz, 2003).

Los macronutrientes que nos interesan para este trabajo y sus funciones según Taiz (2003) se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1. Macronutrientes y su función y deficiencia en la planta.

Nutriente	Función	Afectación de la deficiencia	Síntomas de la deficiencia	Apreciable en
N	Constituye aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos y coenzimas entre otras cosas.	Crecimiento retrasado, además de troncos más delgados y leñosos.	Clorosis o un tono visible amarillo en hojas	Sobre todo en hojas maduras
P	Compone ácidos nucleicos, fosfatos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, ácido fólico, entre otros. Elemento básico para las reacciones que involucran ATP	Crecimiento retrasado en plantas jóvenes	Coloración verde oscuro de las hojas, estas, pueden estar malformadas e incluso presentar una coloración púrpura, puede presentarse tejido necrótico	
K	Cofactor para más de 40 enzimas, tiene funciones relacionadas con los movimientos estomáticos y mantiene la electroneutralidad en las células vegetales		Clorosis marginal que puede volverse necrosis, se presenta en las puntas de las hojas, en los bordes y entre las venaciones	
S	Compone la cisteína, cistina, metionina y otras proteínas, constituye el ácido lipoico, la coenzima A, entre otras cosas	Crecimiento retrasado, además de troncos más delgados y leñosos.	Clorosis o un tono visible amarillo en hojas	Hojas jóvenes
Ca	Constituye la lamela media de las paredes de las células vegetales, es cofactor para varias enzimas involucradas en la hidrólisis de ATP y fosfolípidos.		Necrosis de la punta y los bordes de hojas jóvenes y de capullos, malformación de hojas jóvenes, raíces cortas y cuarteadas	Partes jóvenes y meristemáticas
Mg	Constituye a la molécula de la clorofila, es requerido por una gran número de enzimas involucradas en la transferencia de fosfatos		Clorosis entre las venaciones de las hojas maduras y si la deficiencia es bastante las hojas pueden llegar a ser amarillas o blancas.	Hojas maduras

Los micronutrientes de interés para este trabajo y sus funciones según Taiz (2003) se observan en la Tabla2:

Tabla 2. Micronutrientes y su función y deficiencia en la planta.

Nutriente	Función	Afectación de la deficiencia	Síntomas de la deficiencia	Apreciable en
Fe	Constituyente de citocromos y de proteínas de hierro involucradas en la fotosíntesis, fijación de N ₂ y respiración		Clorosis entre las venaciones, si la deficiencia es grande y duradera las hojas pueden llegar a tener un color blanco	Hojas jóvenes
Mn	Requerido para la actividad de las deshidrogenasas, descarboxilasas, kinasas, oxidasas y peroxidasas, también es requerida para la evolución fotosintética del O ₂		Clorosis entre las venaciones además de puntos de tejido necrótico	Hojas jóvenes y maduras
Cu	Componente esencial del ácido ascórbico oxidasa, tirosinasa, oxidasa monoamina, oxidasa citocromo, entre otras cosas		Hojas de color verde oscuro con puntos de tejido necrótico, si la deficiencia de este nutriente persiste, la planta perderá hojas prematuramente	
Zn	Constituyente esencial del alcohol deshidrogenasa, anhidrasa carbónica y otras enzimas	Reducción del crecimiento, hojas crecen pequeñas y distorsionadas	crecimiento en forma de roseta, bordes de las hojas pueden estar fruncidos	
Mo	Auxiliar en los cambios de valencia a los que se somete como un componente metálico de enzimas	Cambios en constituyentes orgánicos y en la actividad de algunas enzimas		

A continuación se presentan los elementos considerados como posibles contaminantes para los ejemplares de *S. bonplandiana* muestreados.

Es pertinente mencionar que en el presente trabajo se consideran Ni, Co y Na como potencialmente nocivos para los ahuejotes.

El Ni, a pesar de ser un microelemento esencial para las plantas es requerido en concentraciones muy bajas y puede llegar a ser tóxico cuando los suelos son ricos en este micronutriente, como es el caso de las tierras regadas con aguas tratadas (Marschner, 1990), por esto es que para los efectos del presente trabajo es considerado como potencialmente nocivo. Sus posibles beneficios y los efectos de su exceso según Marschner (1990) se presentan en la Tabla 3.

Tanto el Na como el Co son elementos benéficos para las plantas y pueden estimular su crecimiento, inclusive son esenciales para algunas especies (Marschner, 1990), pero para *S. bonplandiana* es escasa o no existe la literatura que sostenga su esencialidad o tolerabilidad en el caso del Na.

Los efectos de estos elementos nocivos en las plantas según Kabata-Pendias y Pendias (2001) y Blumwald *et al.* (1999) son los siguientes (Tabla3):

Tabla 3. Elementos considerados como nocivos para las plantas, su posible función y el efecto de su toxicidad en la planta.

Elemento	Posible función	Efecto de la toxicidad	Apreciable en
Cd		Hojas con coloración café , clorosis, venaciones rojizas, hojas curvadas, reducción en crecimiento de raíces	
Co	Auxiliar en la fijación de N ₂ sobre todo en legumbres, forma parte de la enzima cobalamina B ₁₂	Clorosis entre las venaciones, clorosis inducida por Fe en hojas jóvenes, márgenes y puntas foliares blanquecinas y puntas dañadas de raíces dañadas.	Hojas jóvenes
Cr		Clorosis en hojas nuevas, puntos necróticos, tejidos de coloración morada y crecimiento dañado de la raíz	Hojas jóvenes
Li		Clorosis y necrosis en las hojas y crecimiento dañado de la raíz	
Ni	Componente metálico de la ureasa	Clorosis entre las venaciones de las hojas jóvenes, hojas verde-grisáceas y crecimiento retrasado de raíces	Hojas jóvenes
Pb		Hojas con coloración verde oscuro y marchites de hojas maduras, follaje con crecimiento retrasado y raíces cortas y marrones	
Na		Disminución del crecimiento y daño foliar	

3.6.2 Nutrición, salud y afectación por plagas

De acuerdo con Marschner (1990) la nutrición mineral puede influenciar y provocar cambios en el patrón de crecimiento, la morfología de la planta, su anatomía y su composición química. También los nutrientes minerales pueden aumentar o disminuir la resistencia de las plantas hacia patógenos y plagas. La resistencia puede aumentar gracias a cambios en la anatomía como por ejemplo células epidérmicas más gruesas, o gracias a cambios fisiológicos y en la composición química de la planta como por ejemplo una producción elevada de sustancias inhibitorias o repelentes.

La resistencia es controlada genéticamente pero es altamente influenciada por factores ambientales y la nutrición mineral es un factor ambiental (Marschner, 1990). Usualmente un suministro balanceado de nutrientes asegura un crecimiento vegetal óptimo y también una adecuada resistencia en contra de las plagas.

3.7 Evaluación de las concentraciones de nutrimentos (umbrales de deficiencia, suficiencia, consumo de lujo y de toxicidad)

Se habla de la deficiencia de un nutriente cuando su concentración en un tejido se encuentra por debajo de la concentración crítica para el crecimiento, se identifica cuando el crecimiento o la productividad de la planta responde bruscamente al aumentarse la concentración de ese elemento en el suelo o en la solución de crecimiento, además la planta muestra claros síntomas de deficiencia (Figura 6).

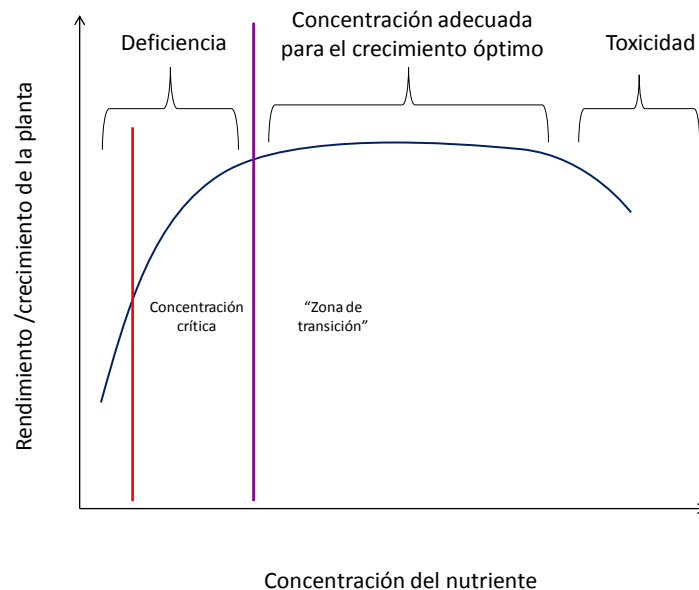


Figura 6. Relación entre concentración del nutriente y el rendimiento de la planta (Epstein, 2005).

Cuando aumenta la concentración del nutriente en la solución nutritiva o en el suelo se alcanza la concentración crítica, que es aquella que se encuentra por debajo de la concentración que brinda a la planta crecimiento óptimo y es la zona de transición entre la concentración deficiente y la concentración adecuada de nutrimentos. Aunque la planta ya no muestre signos de deficiencia todavía es apreciable una respuesta en el crecimiento o productividad de la planta.

Una vez que la planta alcanza una concentración donde a pesar de que se aumenten las concentraciones de nutrientes ya no se observa aumento en el crecimiento o productividad, es cuando la planta ha alcanzado la concentración adecuada u óptima para el crecimiento. Más allá de esta concentración la planta alcanza el consumo de lujo, donde los nutrientes se encuentran en mayor concentración pero no se aprecia aumento ni disminución en el crecimiento ni en la productividad. Sobrepasando la concentración adecuada para el crecimiento óptimo y la concentración de consumo de lujo, el crecimiento y productividad comienzan a disminuir debido a una concentración tóxica del nutriente en la planta (Marschner, 1990; Taiz 1991 y Epstein, 2005).

3.7.1 Síntomas de toxicidad para los nutrientes:

Según Jones (1998) los síntomas visibles de toxicidad no siempre son el efecto de algún elemento en exceso en la planta, sino del efecto de ese exceso en uno o varios elementos diferentes. Además así como las deficiencias de nutrientes, el exceso de algún nutriente puede provocar que la planta se vuelva más sensible al estrés climático o a ataques por insectos o enfermedades. Por ejemplo un alto nivel de N puede provocar sensibilidad a la humedad.

Los síntomas provocados por el exceso de algún nutriente se enlistan a continuación (Jones, 1998):

- N: Las plantas serán de color verde oscuro y los brotes nuevos serán suculentos, las plantas se vuelven sensibles a la sequía, podrían incluso presentarse aborto de la flor y disminuirse la producción de frutos. Es importante mencionar que Marschner (1990) propone que cuando existe nitrógeno en abundancia o en exceso, provoca un crecimiento tanto del tallo como foliar excesivo pero limita el crecimiento de las raíces. El mayor crecimiento vegetal está relacionado con mayor contenido de nitrógeno orgánico soluble y esto podría provocar mayor ataque por plagas, aunque varía entre cultivos y árboles silvestres.
- P: No tiene un efecto directo en la planta, pero podría provocar deficiencias de Zn, Fe y Mn. Además el exceso de P podría interferir con las funciones normales de Ca y producir síntomas visibles de deficiencia de este nutriente.

- K: Las plantas exhibirán síntomas típicos de deficiencia de Mg y posiblemente de Ca.
- Ca: Provoca en las plantas síntomas de deficiencia de Mg y cuando la concentración es muy elevada podría aparecer deficiencia de K también.
- Mg: Este nutriente en exceso resulta en un desbalance catiónico y las plantas muestran síntomas de deficiencia de Ca o de K.
- S: Podría producir una senescencia prematura de las hojas.
- Cu: Induce deficiencia de Fe, crecimiento lento y las raíces podrían ser pequeñas.
- Fe: Las hojas se vuelven color bronce con pequeños puntos de color café.
- Mn: Las hojas maduras presentan manchas cafés rodeadas por tejido necrótico.
- Zn: Provoca deficiencia de Fe.
- Mo: Es raro encontrar exceso de Mo en las plantas, pero si éste llegara a presentarse los síntomas podrían ser hojas marrones o amarillentas así como crecimiento deprimido de las raíces, vástagos y semillas.

3.8 Producción de biomasa, senescencia y nutrientes en la hojarasca

La senescencia de las hojas es un proceso de degeneración programada del desarrollo que constituye el paso final del desarrollo de las hojas y es controlado por factores ambientales y del desarrollo (Piung *et al.*, 2003).

El proceso de la senescencia foliar puede ser dividido en dos etapas (Guiamet, 2005):

1. Un período inicial de removilización de nutrientes que implica principalmente la degradación de los cloroplastos y la exportación del N y otros nutrientes liberados hacia otros órganos.
2. Un proceso final de muerte celular una vez que la redistribución de nutrientes ha sido completada.

La removilización (también es conocida como retranslocación o reabsorción) de nutrientes durante la ontogénesis es importante sobre todo en algunas etapas, como por ejemplo antes de la caída de las hojas (Marschner, 1990).

Cuando el suministro de nutrientes es escaso la removilización de nutrientes de hojas maduras a partes en crecimiento es esencial para completar el ciclo de vida de las plantas. Los síntomas de deficiencia en hojas maduras reflejan altas tasas de removilización de nutrientes. La removilización es altamente selectiva para los nutrientes, existe selectividad y discriminación hacia nutrientes que no son esenciales o aquellos que son requeridos en muy bajas concentraciones (Marschner, 1990).

Los nutrientes se pueden clasificar por su movilidad en la planta (Jones 1998) como:

- Muy móviles: Mg, N, P, K
- Móviles: S
- Inmóviles: Cu, Fe, Mo, Zn.
- Muy inmóviles: B, Ca

Cuando la planta madura, la absorción de nutrientes se reduce y la redistribución de los mismos resulta en grandes cambios en la concentración de los elementos tanto en las partes jóvenes como en las maduras. La absorción, la distribución y la redistribución de los elementos están gobernadas por el tiempo y el estadio de desarrollo de la planta.

Con la madurez la concentración de N, P y K en las hojas disminuye mientras que la concentración de Ca y Mg aumenta (Jones, 1998).

En cuanto al Na, Hasewaga *et al.* (2000) afirman que las plantas tienen la estrategia de acumular grandes cantidades de Na en las hojas maduras para proteger a las partes jóvenes y en crecimiento de este elemento.

En especies perennes como los bosques, la removilización de nutrientes es extremadamente importante para la supervivencia tanto de un individuo en particular como para la estabilidad del ecosistema. Tanto en las perennifolias como caducifolias, existe una removilización importante de N, P y K de las hojas antes de que las hojas caigan (Glass *et al.*, 1989).

Por su parte, los humedales se encuentran entre los ecosistemas más productivos y se caracterizan por tener grandes aportes de detritus al sistema. Para *Salix humboldtiana* se ha encontrado que el porcentaje de N presente en la hojarasca es de 1.81% y la cantidad de P presente 0.19%; esto fue reportado en el Río Paraná en Argentina (Poi de Neiff *et al.*, 2006).

La producción de hojarasca y el ciclaje de nutrientes tanto en los bosques naturales como en los cultivos, son aspectos muy importantes de los ciclos de nutrientes, ya que una cantidad considerable de nutrientes son regresados por medio de la hojarasca, ramas, troncos, flores etc. y así están disponibles para reabsorberse. El proceso secuencial de la caída de hojarasca, su descomposición y mineralización son esenciales para mantener un ecosistema dinámico (Ahsaf-Aziz, 2005).

La cantidad de hojarasca producida anualmente proveniente de la vegetación riparia es influenciada por el tipo de vegetación, etapa sucesional, tamaño del canal, la productividad del sitio y su latitud y estos factores se interrelacionan (Naiman *et al.*, 2005).

La tasa más alta de producción de hojarasca se relaciona con bosques ecuatoriales ($10.7 \text{ Mg. ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) seguido por zonas montañosas tropicales ($6.3 \text{ Mg. ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) y bosques templados ($5.0 \text{ Mg. ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). Los ecosistemas que registran una producción más baja de hojarasca son los bosques de clima frío (1.0 a $3.4 \text{ Mg. ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). Los bosques en etapa sucesional joven tendrán casi la mitad de la tasa de hojarasca que disponen en el sistema que aquellos bosques en etapa sucesional madura (Naiman *et al.*, 2005).

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar el estado nutricional de los ahuejotes en una chinampa y evaluar con base en éste, si la eutrofización o hipereutrofización de los canales impacta en esta especie.

4.2 Objetivos específicos :

- Analizar el estado nutricional de los ahuejotes en una chinampa y compararlo con niveles nutricionales establecidos para especies de la misma Familia y que habitan ambientes ribereños.
- Determinar indicadores de crecimiento en los árboles.
- Determinar si existe una correlación entre la concentración de nutrientes, los indicadores de crecimiento y las afectaciones por plagas.
- Cuantificar la hojarasca que entra al sistema por parte de los ahuejotes y los nutrientes contenidos en ésta para evaluar la participación de los ahuejotes en el reciclaje de nutrientes en una chinampa.

5. Hipótesis

a) Si existe un exceso de nitrógeno en el sistema entonces esto lleva a:

- Ahuejotes con mayor área foliar y una relación diámetro a la altura del pecho (DAP)/altura más pequeña
- Ahuejotes más propensos a ser invadidos por plagas.
- Si existen nutrimentos en concentraciones deficientes, esto llevará a disminuir el área foliar y se presentarán síntomas de deficiencia en las hojas.

b) Si existe un exceso de Na en el sistema, esto lleva a desbalances nutricionales de Ca y K principalmente, y a necrosis en las hojas más viejas.

c) Si existe un exceso de P esto llevará a concentraciones bajas de Zn, Fe, Mn y Ca en las hojas.

d) Los ahuejotes contribuyen al reciclaje de los nutrientes Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mo que se concentran en la hojarasca y son redepositados en el suelo con ésta.

e) Si existe deficiencia de nutrientes o exceso de elementos considerados nocivos, esto provocara mayor incidencia por plagas y una disminución en los indicadores de crecimiento.

6. Justificación

La zona chinampera de Xochimilco tiene características únicas en el mundo y es de gran valor para los mexicanos, es considerado patrimonio de la humanidad por la UNESCO y se considera uno de los agrohabitats más productivos del mundo. Así mismo la zona chinampera alberga a especies tanto nativas como endémicas. Actualmente esta zona se encuentra amenazada por la contaminación de sus canales y la alta concentración de sales en las aguas de los canales, entre otras cosas.

Los ahuejotes son importantes integrantes de una chinampa, dado que la estabilizan evitando que la tierra caiga al canal. Además contribuyen al reciclaje de nutrientes y son hábitat de muchos organismos. También son árboles nativos y tienen una importancia cultural, inclusive podrían ser protectores de los cultivos.

La relevancia de realizar un estudio acerca del estado nutricional de *S. bonplandiana* radica en que con base en éste se puede inferir el estado de salud de los ahuejotes, los cuales son un elemento importante del ecosistema chinampero. Además con este trabajo se proporcionan datos sobre el ciclaje de nutrientes promovido por esta especie, que hasta ahora se desconocen.

Con ayuda de este tipo de investigaciones se puede llegar a conocer a profundidad los ciclos de nutrientes y entender la dinámica de los mismos dentro de una chinampa.

7. Materiales y métodos

7.1 Selección y descripción de la parcela de estudio

La chinampa tipo en donde se realizó el estudio se ubica sobre el Canal de la Asunción con el Canal de Almoloya, en las cercanías del embarcadero del Canal de Cuemanco.

Sus coordenadas son $19^{\circ} 16' 34.83'' N$ y $99^{\circ} 5' 50.22'' O$ y su ubicación se observa en la Figura 7. En la Figura 8 se observa en un acercamiento de la chinampa delimitada en un recuadro rojo.



Figura 7. Ubicación de la chinampa tipo en Xochimilco. Imagen del Distrito Federal tomada de <http://www10.df.gob.mx> e Imagen de la vista satelital tomada de Google Earth.



Figura 8. Acercamiento de la vista satelital de la chinampa (Imagen tomada de Google Earth).

| 1.25 cm |
| 10 m |

La Figura 9 muestra las dimensiones de la chinampa donde se llevó a cabo el proyecto y la ubicación de los árboles en ella.

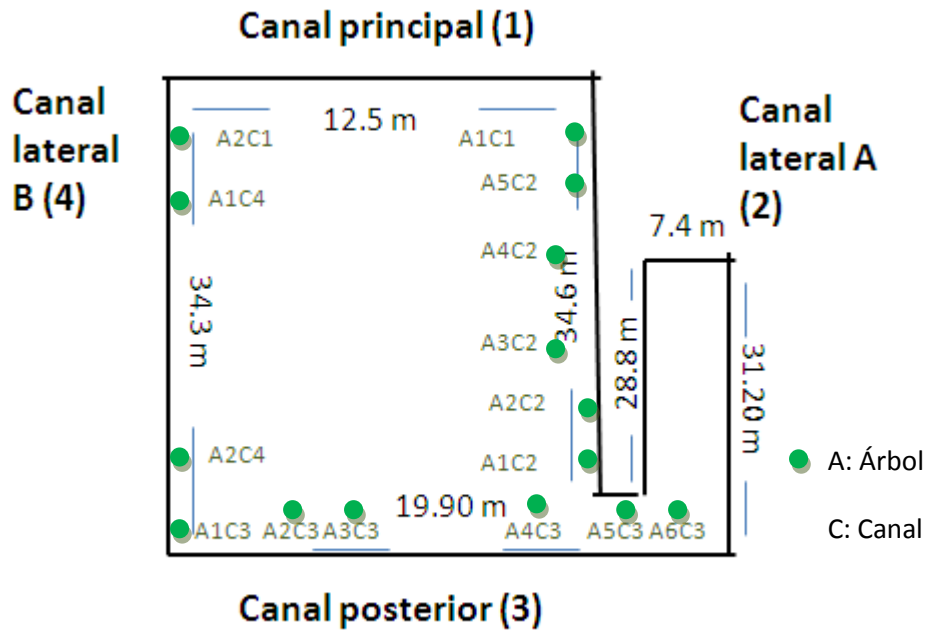


Figura 9. Croquis de la chinampa, sus medidas y la ubicación de los árboles muestreados.

7.2 Observaciones y mediciones a los ejemplares de *S. bonplandiana*

En la chinampa tipo al inicio del proyecto se encontraban 50 ahuejotes (de los que fueron muestreados 15), a los cuales se les asignó un número y se les determinó su posición geográfica. Se estimó su altura midiendo a una distancia de 20 m de cada árbol el ángulo de la altura de los ojos hasta la punta del árbol (con una brújula de Brunton), y sumándole la distancia del suelo a la altura de los ojos, la siguiente ecuación expresa el cálculo realizado (Figura 10):

$$X = 20(\tan\alpha) + m$$

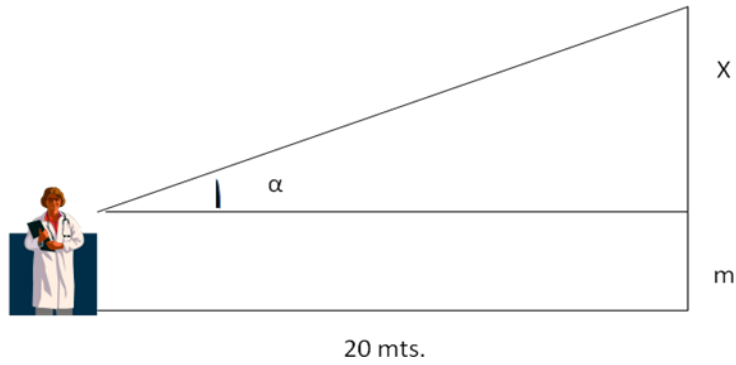


Figura 10. Medición de la altura de los árboles de la chinampa tipo.

También se midió el diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) con una cinta.

A cada árbol se le realizó una evaluación visual del estado de salud con una escala cualitativa relativa, donde el valor 0 significa ausencia del síntoma y 5 corresponde la máxima expresión encontrada, de los siguientes síntomas:

- Presencia de *A. tetanothrix* estadio 1 (Figura 11).
- Presencia de *A. tetanothrix* estadio 2 (Figura 12).
- Presencia de nidos de *Malacosoma incurvum* (larvas) (Figura 14).
- Presencia de huevos de *M. incurvum* (huevos) (Figura 13).
- Hojas afectadas por herbivoría.
- Presencia de hojas manchadas.

Siendo *A. tetanothrix* estadio 1 de color verde y *A. tetanothrix* estadio 2 de color rojo.



Figura 11. *A. tetanothrix* estadio 1. Figura 12. *A. tetanothrix* estadio 2.



Figura 13. *M. incurvum* huevos



Figura 14. *M. incurvum* larvas (Fotografía tomada de internet, <http://www.forestpests.org/subject.html?SUB=173>).

A continuación se detallan los criterios usados para la asignación de calificaciones para cada uno de los síntomas:

Para la escala del 0 al 5 para cada característica de los árboles se tomó en cuenta lo siguiente (Tabla 4):

Tabla 4. Criterios usados para la calificación de la incidencia de plagas.

Calificación	A. <i>tetanothrix</i> x estadio 1	A. <i>tetanothrix</i> x estadio 2	M. <i>incurvum</i> huevos	M. <i>incurvum</i> Larvas	Hojas con manchas	Hojas afectadas por herviboría
Se calificó por	Cantidad de hojas afectadas y cantidad de afectación en la hoja	Cantidad de hojas afectadas y cantidad de afectación en la hoja			Cantidad de hojas visiblemente manchadas	Cantidad de hojas visiblemente afectadas por herviboría
0	Sin A. <i>tetanothrix</i> estadio 1	Sin A. <i>tetanothrix</i> estadio 2	0 Agallas	0 Nidos	Sin manchas	Sin afectación visible
1	Muy pocos A. <i>tetanothrix</i> estadio 1	muy poca A. <i>tetanothrix</i> estadio 2	1-10 Agallas	1 Nido	Muy pocas manchas visibles	Muy poca afectación visible
2	Pocos A. <i>tetanothrix</i> estadio 1	Poca A. <i>tetanothrix</i> estadio 2	11-20 Agallas	2 Nidos	Pocas manchas visibles	Poca afectación visible
3	Algo de A. <i>tetanothrix</i> estadio 1	Algo de A. <i>tetanothrix</i> estadio 2	21-30 Agallas	3 Nidos	Algo de manchas visibles	Algo de afectación visible
4	Bastantes A. <i>tetanothrix</i> estadio 1	Bastantes A. <i>tetanothrix</i> estadio 2	31-40 Agallas	4 Nidos	Bastantes manchas visibles	Bastante afectación visible
5	Casi todas las hojas visibles con A. <i>tetanothrix</i> estadio 1	Casi todas las hojas visibles con A. <i>tetanothrix</i> estadio 2	41≤ Agallas	5 ó más Nidos	Casi todas las hojas visibles con manchas	Casi todas las hojas visibles con afectación visible

7.3 Muestreo de hojas para el análisis de nutrimentos

Se muestrearon las hojas de 15 de los 50 árboles presentes en la chinampa, de los cuales, 3 eran pequeños, 3 grandes y los otros 9 se seleccionaron al azar. Se colectaron las hojas (todas aquellas hojas que cumplían con las características a muestrear fueron colectadas) del segundo brote a la altura de los brazos en dirección sur-norte de cada árbol. Se escogió al brote con la apariencia más saludable, es decir que no estuvieran afectadas visiblemente por plagas, o con la menor afectación posible.

7.4 Cuantificación de la hojarasca

Para cuantificar la biomasa que se dispone en el sistema se colocaron 4 trampas de hojarasca debajo de árboles seleccionados al azar. Las trampas cubrían un área de 75 x 75 cm según el método usado por Gueye (2008). Se recogieron las hojas caídas en ellas semanalmente durante un mes en la estación seca en el periodo del 17 de mayo del 2011 al 7 de junio del 2011. Además se colectó la hojarasca caída en 4 trampas en el periodo del 1 de septiembre al 4 de octubre (época de lluvia) del 2011 en dos ocasiones.

7.5 Transporte y preparación de muestras

Las muestras foliares y de hojarasca se colectaban en bolsas de papel estraza y se transportaban en una hielera con hielo al laboratorio. Ahí fueron pesadas con una balanza granataria. Las muestras foliares y de hojarasca se lavaron con agua acidulada al 2.8%, y se enjuagaron en 3 baños con agua desionizada, para posteriormente ser secadas en una estufa regulable a 60° hasta que su consistencia fuera crujiente. Después del secado fueron pesadas nuevamente para así obtener el peso seco.

Después se les pulverizó en un molino Pulverisette 14 de la marca Fritsch en 5 minutos a la velocidad 10.

Las hojas recolectadas de las trampas se mezclaron en muestras compuestas, son 3 para el periodo de secas y 3 para el periodo de lluvias.

7.6 Medición de área foliar

Para medir el área foliar se realizó una colecta de hojas con las mismas características y con los mismos criterios previamente mencionados el 7 de septiembre del 2011. Estas hojas fueron dispuestas en una prensa hasta su análisis con el programa Image Pro Plus 5.1. El programa fue primero calibrado con una regla Vernier en una escala de 50 milímetros, y posteriormente las hojas fueron dispuestas en el scanner (hp scanjet 3570c) a una resolución de 150 dpi's una por una, diez por árbol, para así obtener el área foliar de cada una de ellas. Igualmente se obtuvo el área poligonal foliar promedio para cada árbol. En la Figura 15 se observa la escala utilizada.

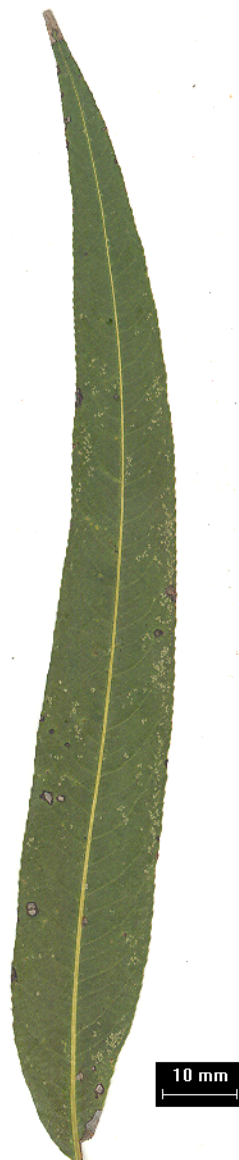


Figura 15. Escala utilizada en el programa ImagePro para medir el área foliar.

7.7 Cuantificación de nutrimentos

Se determinó el contenido de nutrimentos de las muestras foliares y de hojarasca, para ello se realizaron digestiones de las 22 muestras (15 árboles muestreados más muestras compuestas de 6 trampas). Las digestiones se realizaron por duplicado, además se corrieron 5 blancos y 5 muestras de material certificado de referencia (Spinach 1570 NIST). Se pesaron 0.3 gramos de cada muestra y se les añadió 1 ml de agua destilada, después se sometieron a una predigestión, con 5 ml de ácido nítrico al 70% agitando cada 15 minutos por una hora. Al finalizar la predigestión, las muestras, blancos y estándares se digirieron en 4 corridas en un horno de microondas de la marca Perkin Elmer Instruments. Terminando la digestión los extractos se aforaron a 10 ml con agua destilada. Posteriormente las muestras fueron filtradas a través de filtros de membrana de microcelulosa de tamaño 0.22 μm .

Para la cuantificación de las digestiones de los nutrimentos P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Co, Cr, Li, Mo, Ni y Pb se utilizó un espectrómetro de emisión óptica de la marca Perkin Elmer Instruments modelo Optima 4300 DV.

El análisis de Na se realizó en un flamómetro Corning.

Para cuantificar el contenido de Carbono y Nitrógeno se utilizaron 0.2 gramos de la muestra molida, las cuales se introdujeron al analizador elemental de CHNS/O Perkin Elmer 2400 serie II, en el modo CHN utilizando acetanilida para la calibración, helio como gas acarreador, y el detector de conductividad térmica, a una temperatura de combustión de 980°C y de reducción de 640°C. El material de referencia utilizado fue "soil calibration sample for CNS " LECO part No. 502-309 lot.No. 1002.

7.8 Límites de detección y control de calidad

En las Tablas 25, 26 y 27 se muestran los límites de detección de cada uno de los nutrimentos analizados así como los porcentajes de recuperación de los estándares. Como se observa, los porcentajes de recuperación fueron menores al 100% para varios nutrimentos. Por lo anterior se corrigieron las concentraciones leídas en las muestras, multiplicándolas por un factor de corrección, que se calculó con la siguiente ecuación:

Concentración corregida en la muestra= concentración determinada en la muestra problema x (concentración real de la muestra patrón/ concentración obtenida de la muestra patrón).

7.9 Cálculos de variables

Para calcular el índice entre el nitrógeno y el área foliar se dividieron los valores resultantes del nitrógeno total entre el área foliar del polígono para cada árbol.

El índice entre el diámetro a la altura del pecho y la altura del árbol se realizó dividiendo el valor del diámetro a la altura del pecho entre la altura del árbol. Ya que fue imposible contar con mediciones para todos los ejemplares solo se cuenta con 10 datos.

El porcentaje de humedad se obtuvo dividiendo el peso seco entre el peso húmedo y multiplicando este valor por cien.

Para evaluar la incidencia de plagas se realizó un promedio de los valores asignados a cada afectación por árbol.

7.10 Análisis de datos

Se utilizó el programa Excel 2007 para calcular correlaciones simples entre los elementos analizados y las variables de crecimiento así como las evaluaciones cualitativas de incidencia de plagas de los ahuejotes, tomando en cuenta como correlaciones altas aquellas con valores superiores a 0.5 o -0.5.

Se realizó un análisis de correlación múltiple para determinar cuáles de las variables cuantificadas contribuían a explicar las variables de crecimiento. Esto se hizo con el programa estadístico R, al igual que con las correlaciones simples se tomaron en cuenta aquellas superiores o inferiores a 0.5 o -0.5.

Para estimar el cambio en la concentración entre un nutriente en las hojas frescas y en la hojarasca, se realizó un índice dividiendo la concentración de los elementos en el peso seco de la hojarasca entre la concentración de elementos en el peso seco de las hojas (método modificado de Palma *et al.*, 1999).

Se utilizó el programa R para realizar una prueba de hipótesis t de Student entre las medias de las concentraciones de macronutrientes, micronutrientes y elementos contaminantes de las muestras de hojarasca de las temporadas de lluvias y secas.

De la misma manera se utilizó esta prueba para evaluar la diferencia entre el área foliar de las hojas de los ahuejotes.

8. RESULTADOS

8.1 Indicadores de crecimiento

Las Figuras 16 y 17 muestran el índice entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles y el área foliar, respectivamente, para cada uno de los árboles seleccionados y ordenados de acuerdo al canal junto al cual se ubican.

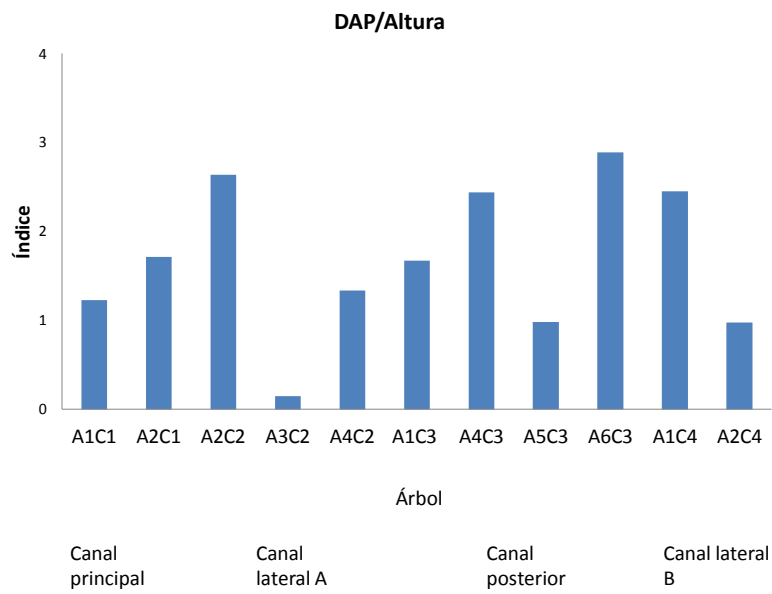


Figura 16. Índice entre el diámetro a la altura del pecho y la altura de los árboles muestreados a orillas de los cuatro canales que rodean la chinampa.

Se observa que el índice DAP/altura varía entre 0.15 y 2.9, los árboles A3C2, A5C3 y A2C4 tienen los índices más bajos mientras que A6C3, A1C4 y A2C2 tienen los índices más altos.

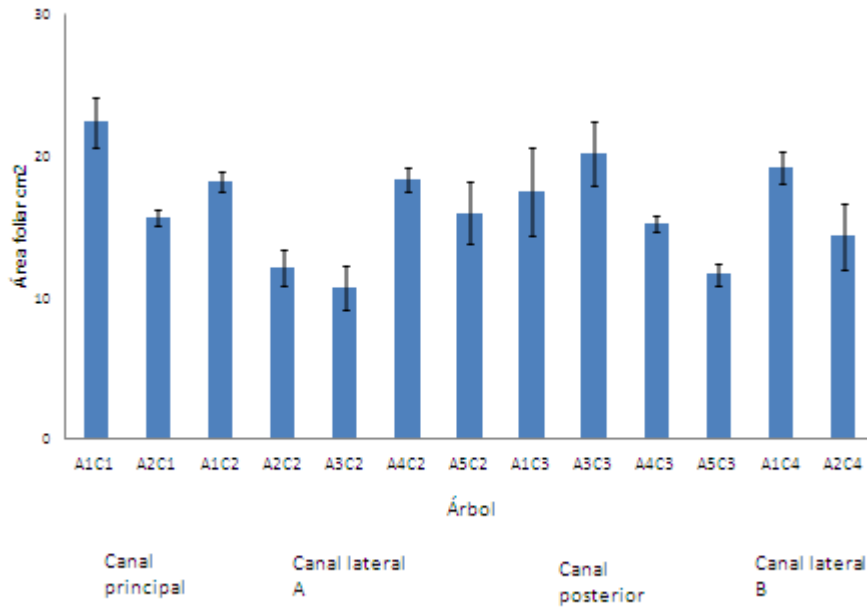


Figura 17. Promedio del área foliar (\pm error estándar) de los árboles muestreados a orillas de los cuatro canales que rodean la chinampa.

El área foliar de las hojas varía entre 10 y 22 cm^2 , así mismo se observa que los árboles 2 y 3 del canal 2 y el árbol A5C3 tienen el área foliar más pequeña, mientras que los árboles A1C1, A3C3 y A1C4 la más grande.

Los resultados de la prueba de t de Student aplicada para determinar si existen diferencias significativas entre el área foliar de los diferentes árboles se observa en la Tabla 5 .

Tabla 5. Resultados prueba t de Student entre las áreas foliares de los ahuejotes. $\alpha= 0.05$

	A1C1	A2C1	A1C2	A2C2	A3C2	A4C2	A5C2	A1C3	A3C3	A4C3	A5C3	A1C4	A2C4
A1C1	X	mayor	mayor	mayor	mayor	mayor	mayor	S.D.S.	S.D.S.	mayor	mayor	S.D.S.	S.D.S.
A2C1	x	X	inferior	mayor	mayor	inferior	S.D.S.	S.D.S.	S.D.S.	S.D.S.	mayor	inferior	S.D.S.
A1C2	x	x	X	mayor	mayor	S.D.S.	S.D.S.	S.D.S.	S.D.S.	mayor	mayor	S.D.S.	S.D.S.
A2C2	x	x	x	X	S.D.S.	inferior	S.D.S.	S.D.S.	inferior	inferior	S.D.S.	inferior	S.D.S.
A3C2	x	x	x	x	X	inferior	inferior	inferior	inferior	inferior	S.D.S.	inferior	S.D.S.
A4C2	x	x	x	x	x	X	S.D.S.	S.D.S.	S.D.S.	mayor	mayor	S.D.S.	S.D.S.
A5C2	x	x	x	x	x	x	X	S.D.S.	S.D.S.	S.D.S.	mayor	S.D.S.	S.D.S.
A1C3	x	x	x	x	x	x	x	X	S.D.S.	S.D.S.	mayor	S.D.S.	S.D.S.
A3C3	x	x	x	x	x	x	x	x	X	S.D.S.	mayor	S.D.S.	mayor
A4C3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	mayor	inferior	S.D.S.
A5C3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	inferior	S.D.S.
A1C4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X	mayor
A2C4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X

Evaluación del eje y vs. eje x.

S.D.S: sin diferencia significativa.

Se observa que el árbol A1C1 posee el área foliar mayor entre los demás árboles y el árbol A3C2 la menor.

8.2 Afectaciones observadas en los árboles

En la Figura 18 se muestran las afectaciones de menor a mayor dependiendo de su incidencia.

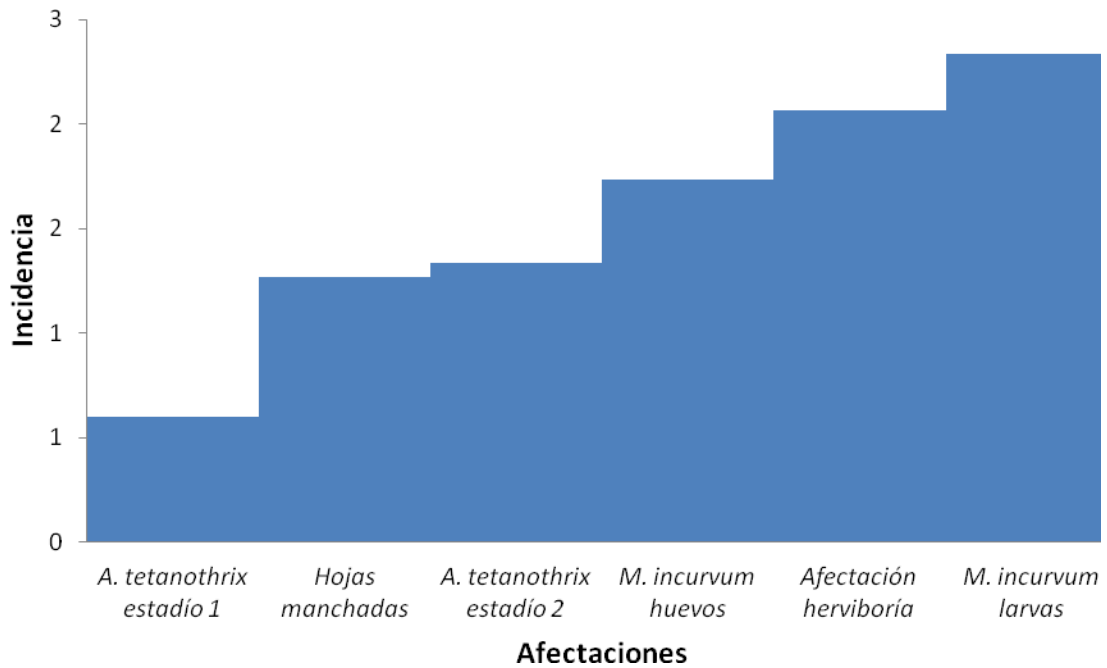


Figura 18. Afectaciones observadas en los ahuejotes.

Las larvas de *M.incurvum* son la plaga con mayor afectación a los ahuejotes y las afectaciones casi sin presencia son *A.tetanothrix* estadio 1. Es pertinente mencionar que el muérdago *C. loniceroides* se encontraba presente en un solo árbol, que no fue muestreado.

En la Tabla 28 (anexo) se pueden observar los resultados de las observaciones realizadas a los ahuejotes para determinar las afectaciones.

8.3 Contenido de humedad en las hojas frescas

El contenido de humedad en las hojas se muestra en la Figura 19.

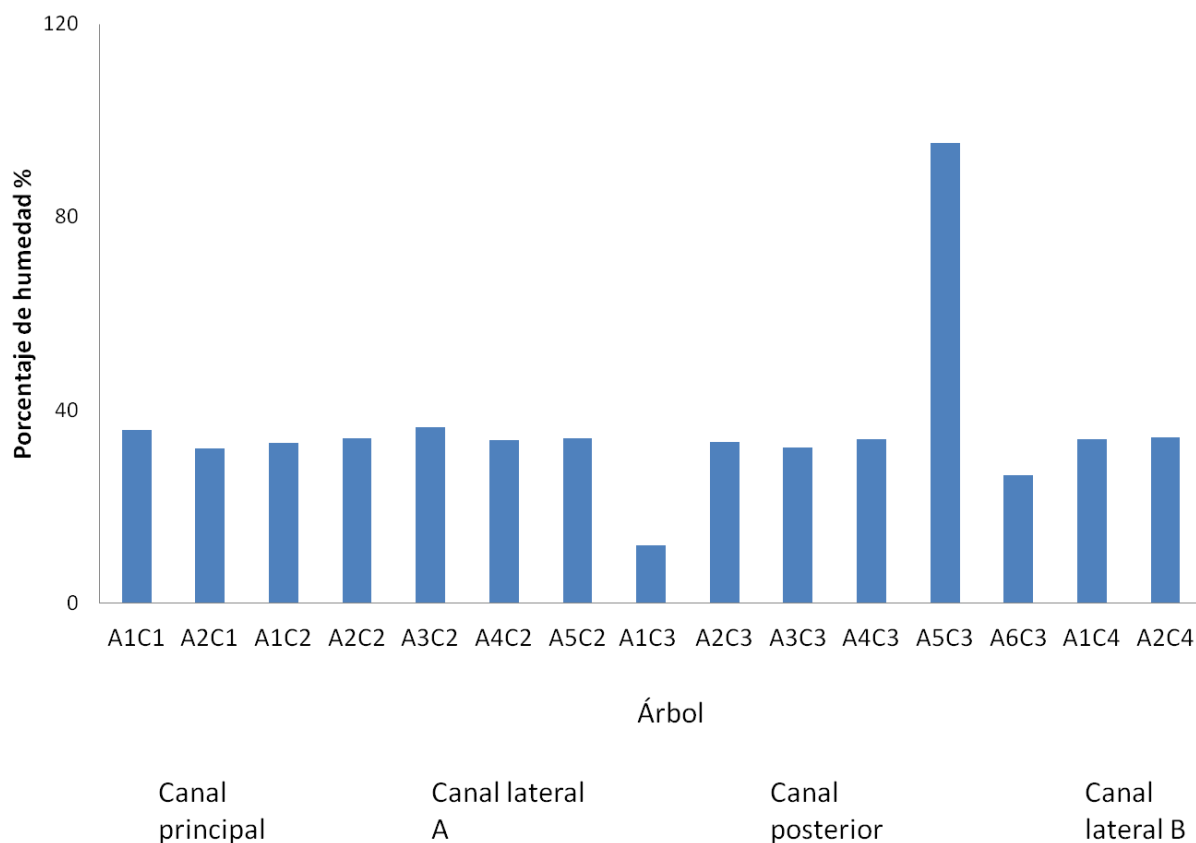


Figura 19. Porcentaje de humedad en las hojas de los árboles muestreados a orillas de los cuatro canales que rodean la chinampa.

Los porcentajes de humedad encontrados en las hojas son bastante homogéneos.

8.4 Concentraciones de elementos

Las Figuras 20 a la 32 muestran las concentraciones de nutrientes determinadas en las muestras foliares de los árboles de *S. bonplandiana*. Nuevamente se indica también la ubicación de cada árbol respecto al canal más cercano. Además, en cada figura las concentraciones medidas en cada árbol se comparan con las concentraciones reportadas como suficientes u óptimas para especies que crecen en ambientes similares:

1. Concentraciones consideradas como suficientes (esto implica que no se espera una respuesta en crecimiento ante un aumento de la concentración del nutrimento en la planta) para el género *Populus* (Familia Salicaceae) por Bergman *et al.* (1986).

2. Contenido promedio de nutrientes para el crecimiento óptimo de la planta reportado por Marschner (1990).

A pesar de que las concentraciones de C encontradas en las muestras foliares no se presentan en una figura, cabe mencionar que varían entre 45.81 % y 48.62 %, con un promedio de 47.83. Según Epstein y Bloom (2005), la concentración adecuada de C en el tejido vegetal es 45%, por lo que las muestras foliares de ahuejote se encuentran solo un poco elevadas, quizá en consumo de lujo.

El contenido de N en las hojas de los árboles muestreados se observa en la Figura 20.

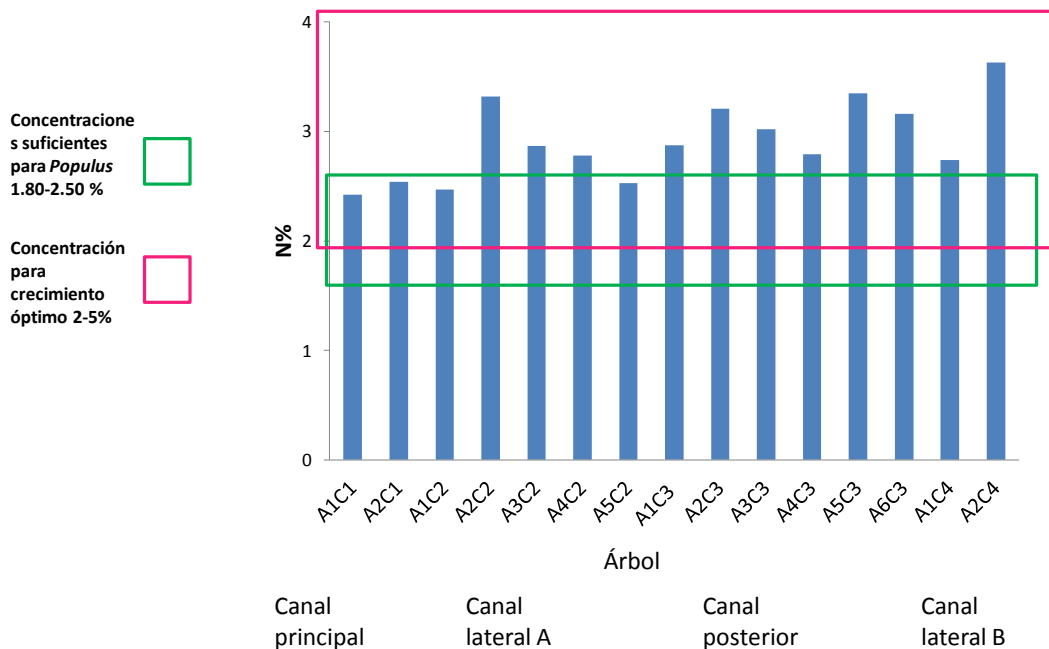


Figura 20. Porcentaje de N en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.* y para plantas en general reportados por Marschner (1990).

Se aprecia que 11 de los 15 árboles (73%), sobrepasan el rango aceptado como suficiente para *Populus* y 4 de los 15 (27%) se encuentran dentro del rango. También se observa que los 15 árboles se encuentran dentro de lo aceptado como ideal para el crecimiento óptimo. Lo anterior indica que la mayoría de los árboles se encuentran en el intervalo considerado como “consumo de lujo” de nitrógeno.

En la Figura 21 se observan las concentraciones obtenidas para P.

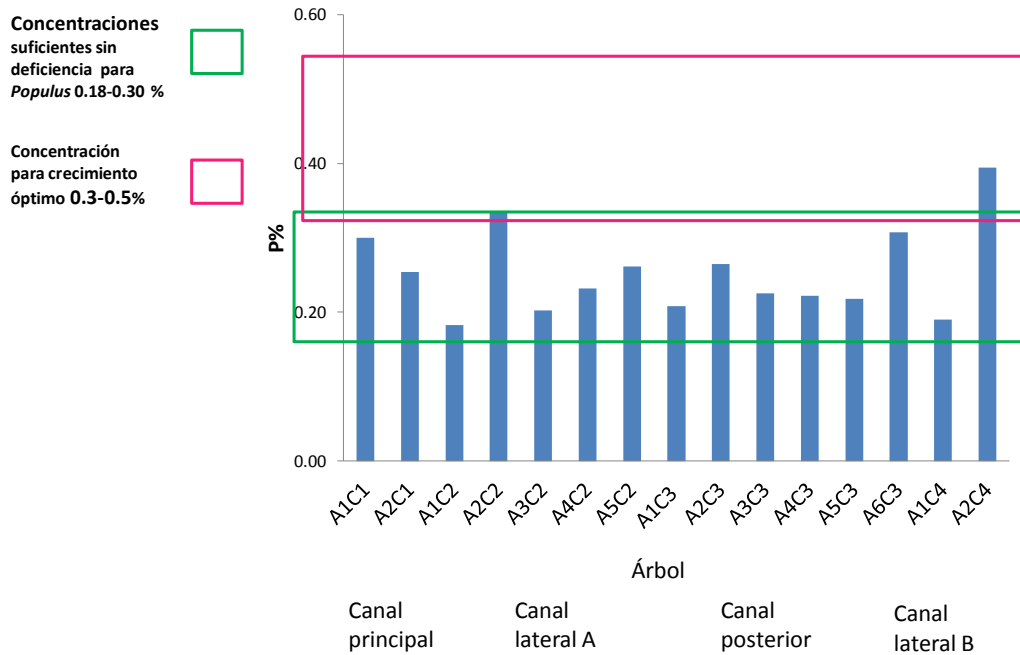


Figura 21. Porcentaje de P en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.* y para plantas en general reportados por Marschner (1990).

Se observa que los 15 árboles presentan concentraciones aceptadas como adecuadas para *Populus* pero solo 4 (27%) se encuentran dentro del rango establecido como concentración óptima para el crecimiento de plantas en general.

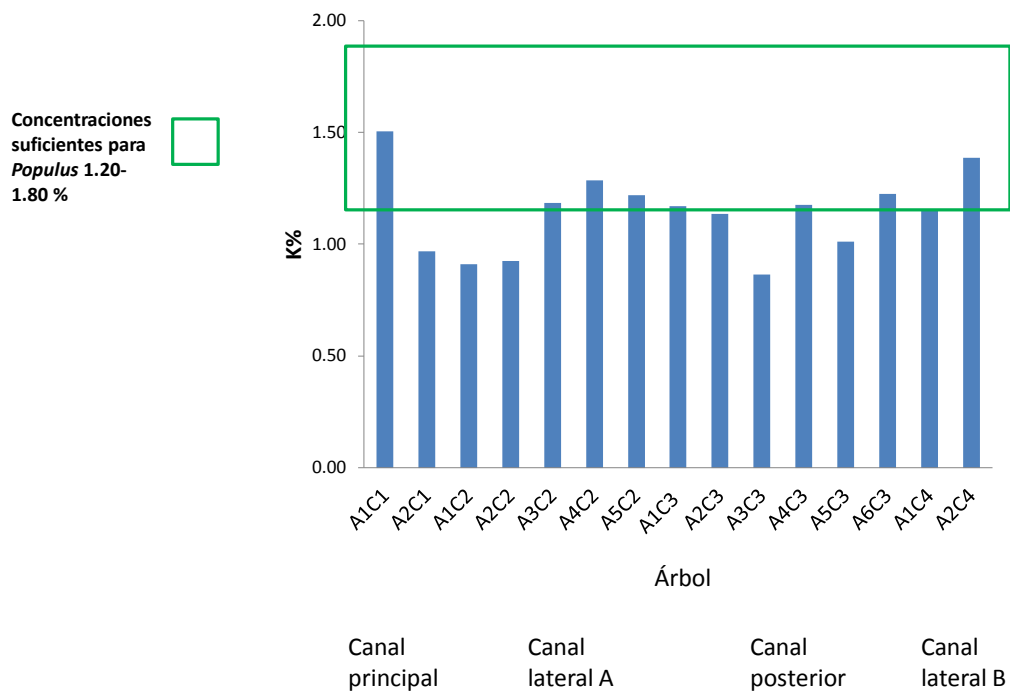


Figura 22. Porcentaje de K en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.*

De las concentraciones en los árboles obtenidas para K (Figura22), solo 5 (33%) se encuentran dentro de lo aceptado como concentraciones suficientes para *Populus*, así mismo las concentraciones óptimas generales reportadas por Marschner (1990) para el crecimiento de la planta se encuentran por arriba de lo obtenido (entre 2 y 5% del peso seco obtenido). Esto nos habla de deficiencia de K.

Las concentraciones de S (Figura 23) en 7 (46%) de las muestras, se encuentran dentro de lo aceptado como óptimo para el crecimiento y el resto están por debajo de este rango. Aún así los valores dentro de lo aceptado como óptimo para el crecimiento son bajos y esto podría denotar que existe una deficiencia.

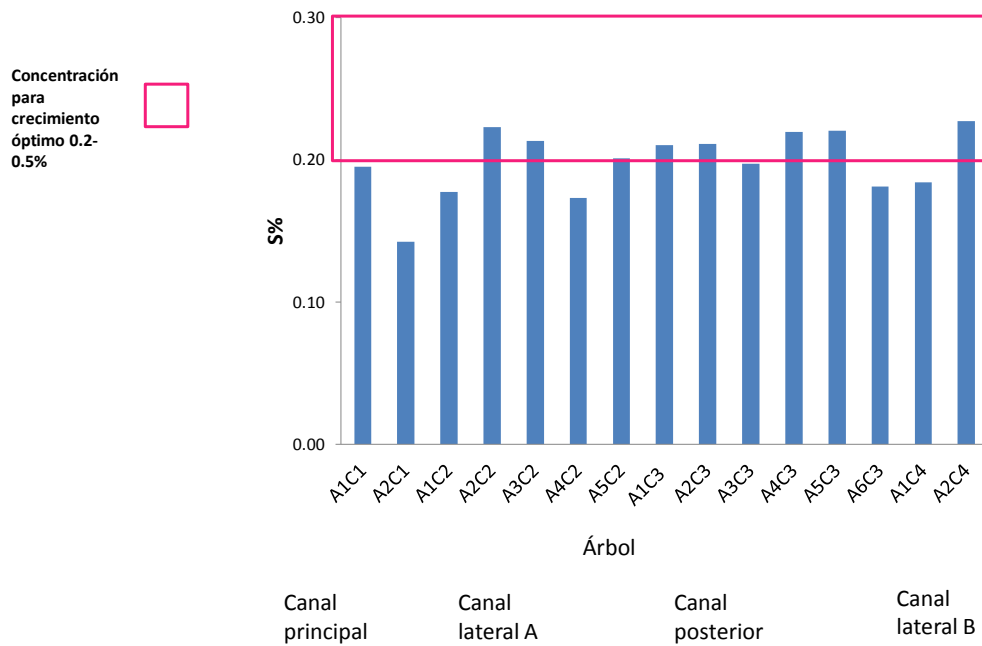


Figura 23. Porcentaje de S en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo para plantas en general reportada por Marschner (1990).

La Figura 24 presenta las concentraciones de Ca encontradas en las hojas. Se observa que de los 15 árboles solo 1 sobrepasa la concentración considerada como normal y todos se encuentran en intervalos de crecimiento óptimo.

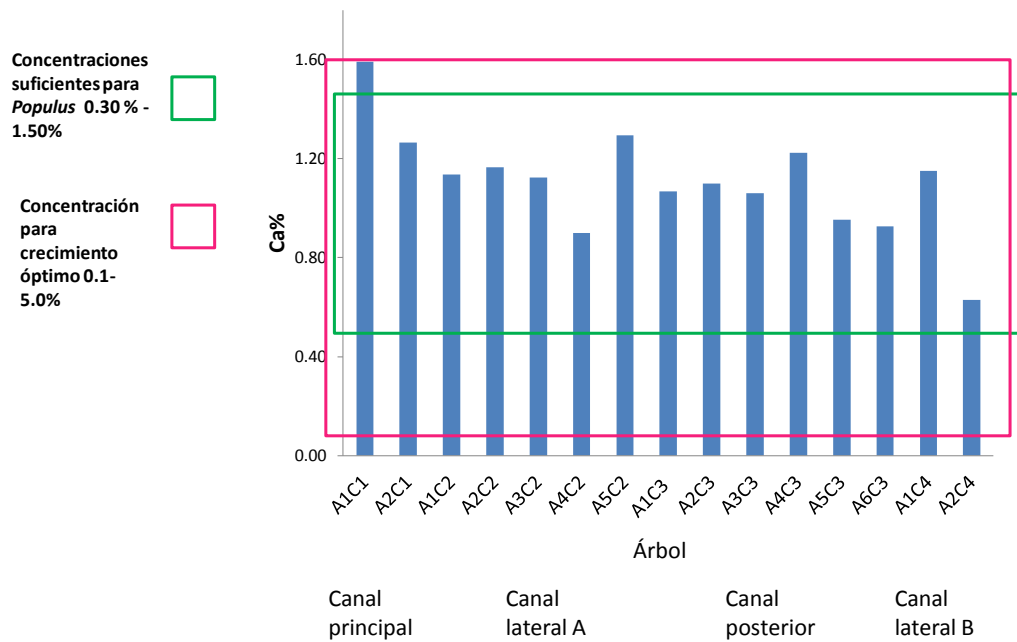


Figura 24. Porcentaje de Ca en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.* y para plantas en general reportados por Marschner (1990).

La Figura 25 presenta las concentraciones encontradas para Mg, y se observa que el 100% de los árboles sobrepasan la concentración suficiente, indicando un probable consumo de lujo, y 6 árboles (40%) sobrepasan lo aceptado como óptimo para el crecimiento de la planta.

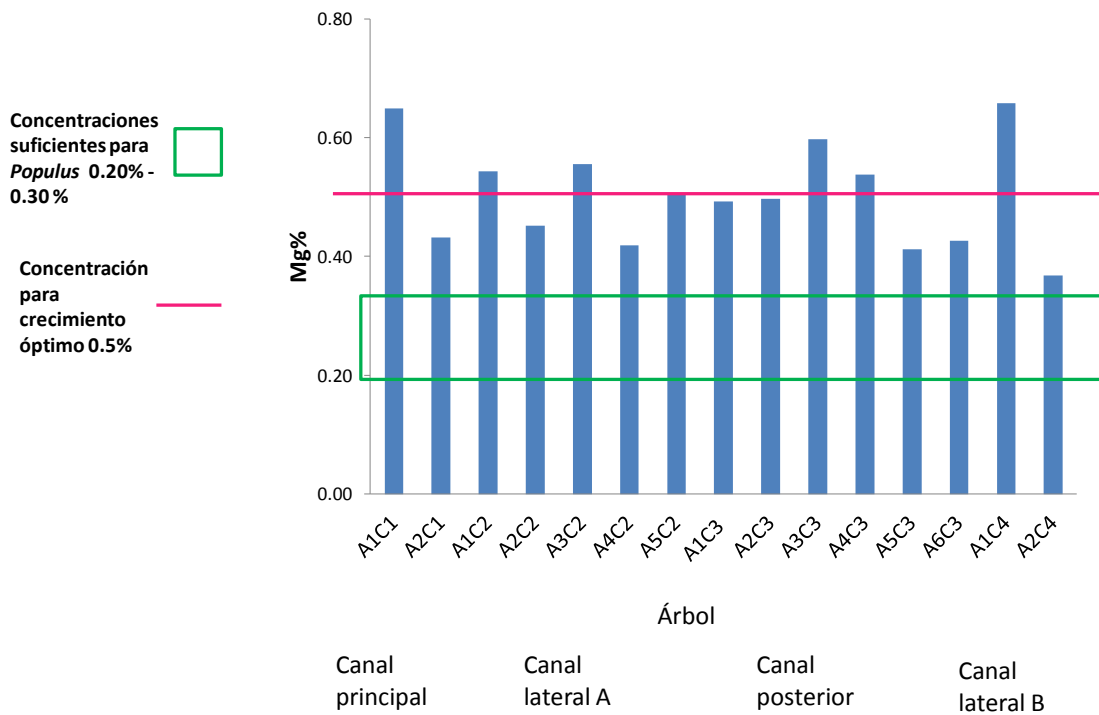


Figura 25. Porcentaje de Mg en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.* y para plantas en general reportados por Marschner (1990).

La Figura 26 muestra las concentraciones obtenidas para Fe y se puede observar que solo 4 de los 15 árboles (27%) llegan a la concentración aceptada como óptima para el crecimiento de las plantas, esto podría indicar deficiencia de este micronutriente.

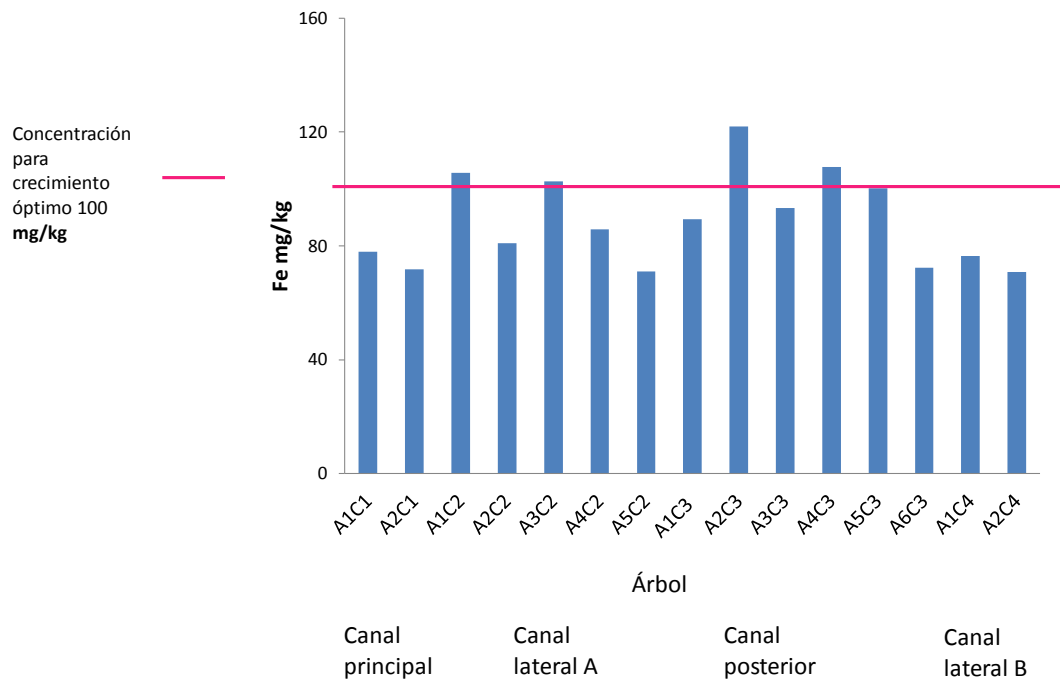


Figura 26. Concentración de Fe (mg/kg) en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo para plantas en general reportados por Marschner (1990).

La Figura 27 presenta las concentraciones obtenidas para Mn, donde 6 de los árboles (40%) están dentro de lo aceptado como suficiente para *Populus* y los 15 árboles superan la concentración aceptada para el crecimiento óptimo. Esto puede indicar consumo de lujo para este micronutriente.

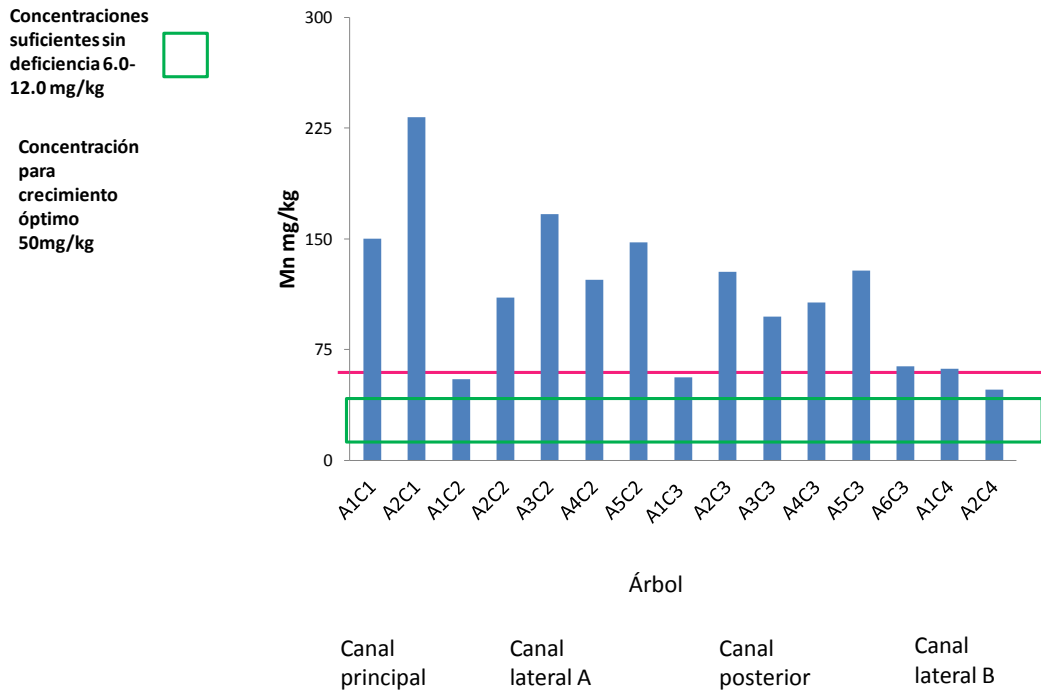


Figura 27. Concentración de Mn (mg/kg) en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.* y para plantas en general reportados por Marschner (1990).

Las concentraciones obtenidas para Cu (Figura 28) de los 15 árboles son inferiores a lo aceptado como suficiente para *Populus* o para el valor para crecimiento óptimo de la planta. Este resultado indica una posible deficiencia de Cu en los ahuejotes de Xochimilco.

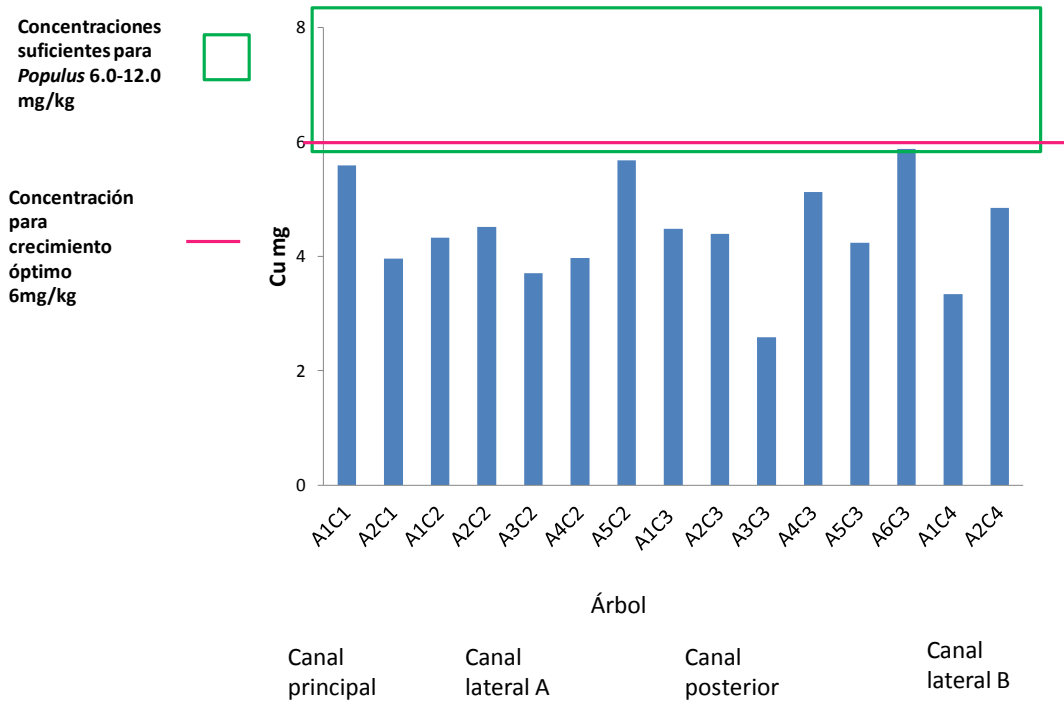


Figura 28. Concentración de Cu (mg/kg) en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.* y para plantas en general reportados por Marschner (1990).

La Figura 29 presenta las concentraciones obtenidas para Zn y se puede observar que 10 de los 15 árboles (67%) están dentro del rango considerado suficiente para *Populus*, 5 de ellos (33%) se encuentran por arriba.

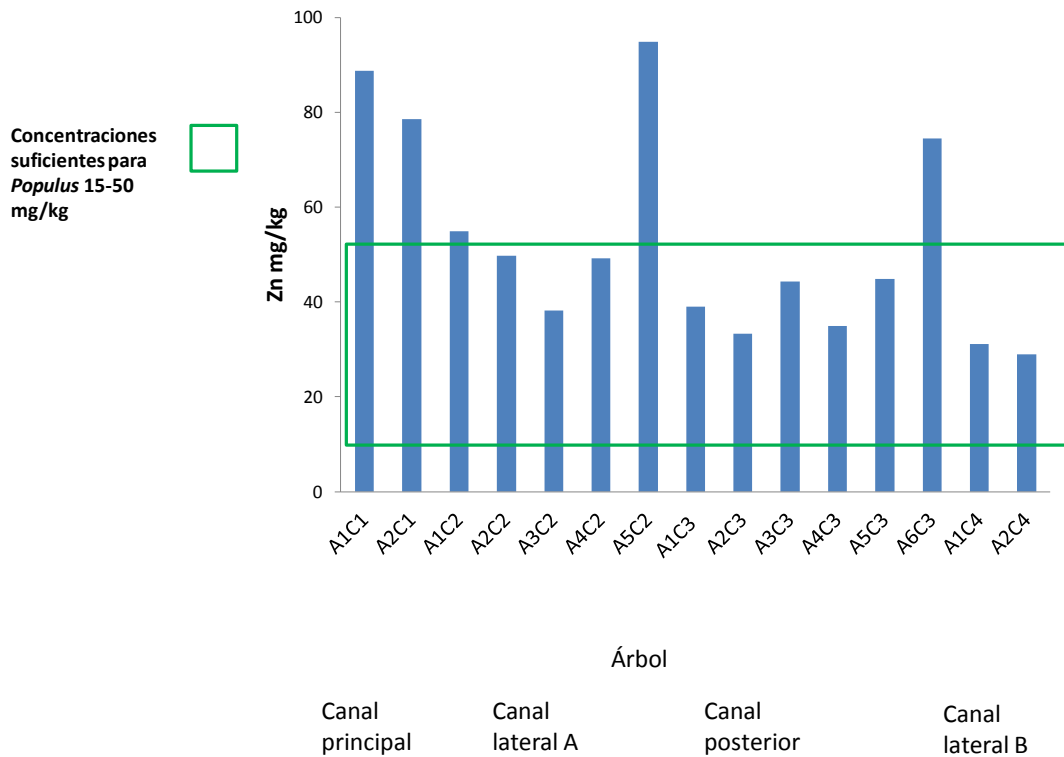


Figura 29. Concentración de Zn (mg/kg) en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.*

La Figura 30 presenta las concentraciones obtenidas para Mo. Se observa que todas las muestras están por arriba de lo considerado como suficiente y adecuado para el crecimiento óptimo. Esto podría indicar consumo de lujo o inclusive toxicidad.

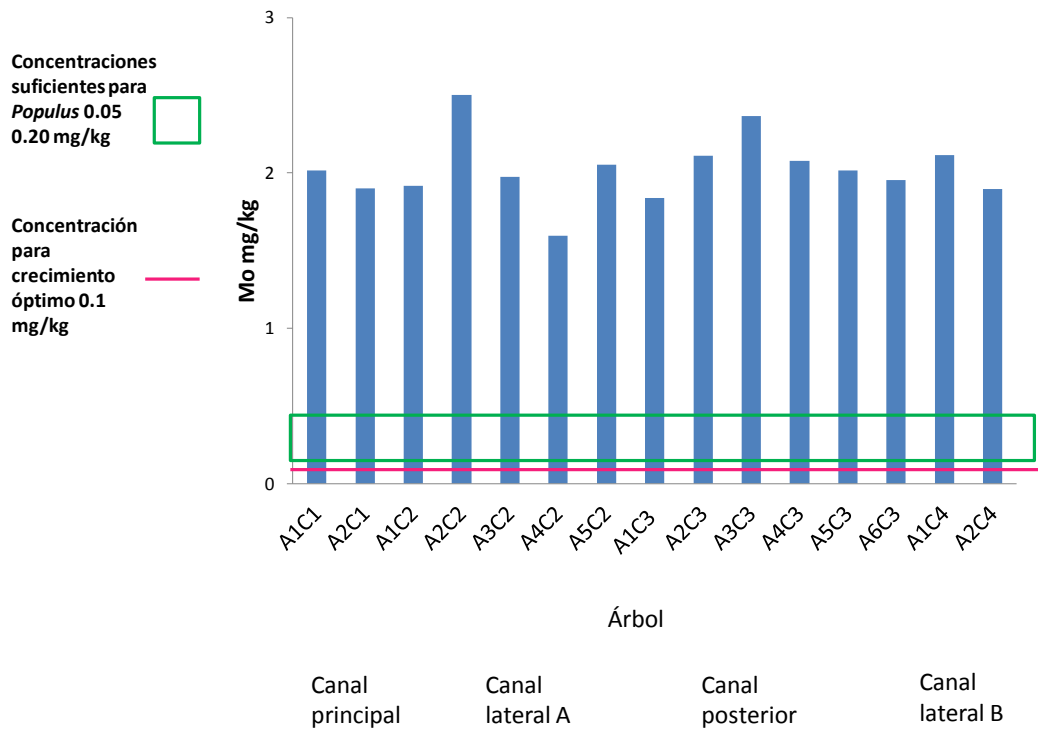


Figura 30. Concentración de Mo (mg/kg) en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo por Bergmann *et al.* (1986) para *Populus sp.* y para plantas en general reportados por Marschner (1990).

En la Figura 31 se observa la concentración de Ni determinada en las muestras. Se aprecia que 9 (60%) de los 15 árboles se encuentran dentro de lo aceptado como óptimo para el crecimiento, dos de los árboles del canal 2 muestran concentraciones excesivas.

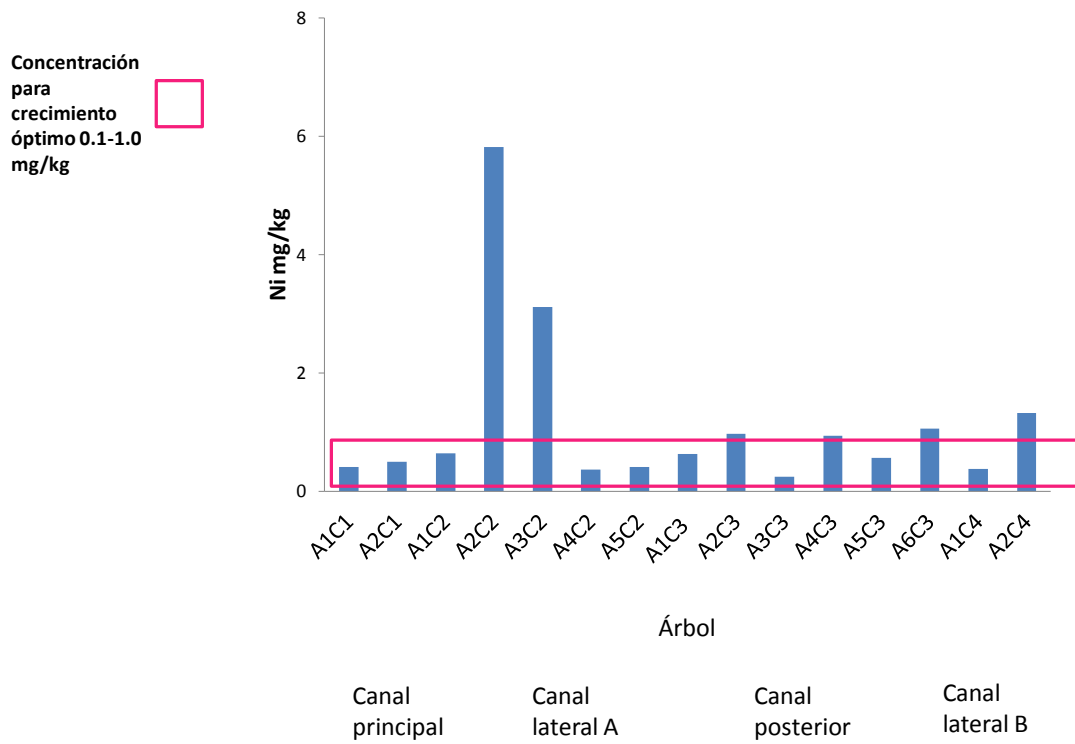


Figura 31. Concentración de Ni (mg/kg) en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados de abastecimiento óptimo para plantas en general reportados por Marschner (1990).

La Figura 32 presenta las concentraciones de Na obtenidas en las muestras foliares y lo reportado por Epstein *et al.* (2005) como la concentración adecuada de Na en tejido foliar (10 mg/kg).

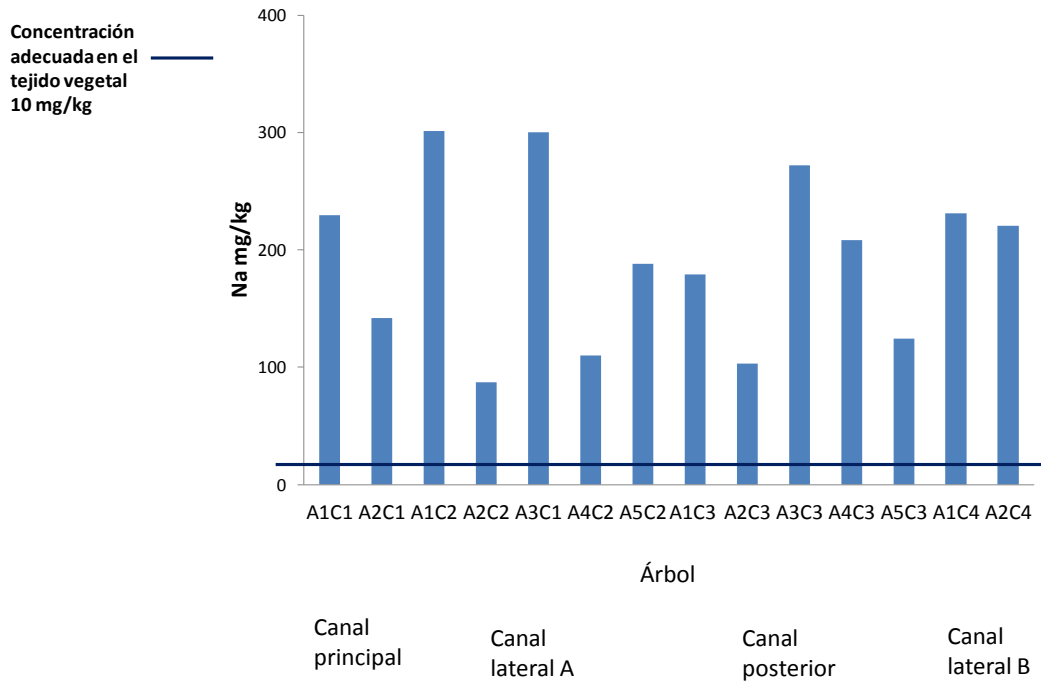


Figura 32. Concentración de Na (mg/kg) en las muestras foliares de los árboles muestreados y su comparación con rangos considerados adecuados por Epstein *et al.* (2005)

Se observa que lo obtenido de las muestras foliares se encuentra muy por encima de lo considerado normal para todos los árboles, esto puede indicar toxicidad por Na en los ahuejotes. Las concentraciones obtenidas en mg/kg para Li, Cd, Cr, Co y Pb se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Concentraciones obtenidas para Li, Cd, Cr, Co y Pb.

Árbol	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Li (mg/kg)	Co (mg/kg)
A1C1	0.5	0.8	0.3	2.8	0.7
A2C1	0.5	0.9	0.1	1.1	0.4
A1C2	0.5	0.7	0.2	6.0	0.7
A2C2	0.6	0.9		2.9	2.3
A3C2	0.4	0.9	1.2	6.4	0.3
A4C2	0.4	0.7	0.4	2.4	0.7
A5C2	0.5	0.8	0.2	4.5	0.4
A1C3	0.5	0.8	0.2	4.2	0.8
A2C3	0.5	0.9	0.6	2.9	1.3
A3C3	0.5	0.8	1.1	10.8	0.5
A4C3	0.4	0.8	0.2	2.0	1.0
A5C3	0.5	0.8	0.5	2.0	0.8
A6C3	0.4	0.6	0.4	2.9	0.8
A1C4	0.5	0.8	1.2	7.0	0.6
A2C4	0.4	0.5	0.2	3.0	1.0

Se observa que las concentraciones obtenidas para Cd y Cr son bastante homogéneas entre las muestras, mientras que las concentraciones de Pb y Li son bastante heterogéneas variando entre 0.1 y 1.2 mg/kg para Pb y 1.1 y 10.8 mg/kg para Li.

8.5 Correlaciones

En el presente trabajo se realizaron correlaciones simples y múltiples entre las concentraciones de los nutrimentos en muestras foliares y los indicadores de crecimiento y de afectación por plagas. También se calcularon correlaciones simples entre los diversos nutrimentos para detectar posibles antagonismos o sinergismos en su absorción.

8.5.1 Correlaciones simples

En las Tablas 7, 8 y 9 se muestra la matriz de correlaciones donde las correlaciones positivas se marcan en amarillo y las correlaciones negativas en color rosa.

Tabla 7. Correlaciones simples entre nutrientes (valor significativo $0.5 < a < -0.5 <$)

		%							mg/kg											
		Ca	Mg	P	K	S	C	N	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Co	Cr	Li	Mo	Ni	Pb	Na
%	Ca	1																		
	Mg	0.67	1																	
	P	-0.25	-0.47	1																
	K	0.03	0.03	0.40	1															
	S	-0.24	-0.07	0.28	0.16	1														
	C	-0.69	-0.69	0.14	-0.48	0.02	1													
	N	-0.75	-0.58	0.53	-0.05	0.62	0.61	1												
	Cu	0.18	-0.24	0.49	0.56	0.16	-0.24	-0.05	1											
mg/kg	Fe	0.01	0.16	-0.49	-0.31	0.32	0.19	0.07	-0.27	1										
	Mn	0.51	-0.02	-0.07	-0.06	-0.33	-0.21	-0.36	-0.05	-0.02	1									
	Zn	0.56	0.04	0.17	0.16	-0.48	-0.48	-0.55	0.53	-0.51	0.46	1								
	Cd	0.70	0.26	-0.08	-0.31	-0.19	-0.28	-0.41	0.07	-0.19	0.34	0.50	1							
	Co	-0.11	-0.29	0.50	-0.18	0.48	0.35	0.53	0.16	0.11	-0.22	-0.26	0.27	1						
	Cr	0.61	0.39	-0.53	-0.33	-0.17	-0.21	-0.40	-0.34	0.39	0.71	0.10	0.43	-0.21	1					
	Li	-0.01	0.60	-0.42	-0.32	0.00	-0.21	-0.13	-0.61	0.12	-0.30	-0.22	-0.12	-0.36	0.09	1				
	Mo	0.27	0.35	0.15	-0.47	0.38	-0.07	0.25	-0.19	0.10	-0.02	-0.08	0.37	0.50	0.22	0.35	1			
	Ni	-0.03	-0.18	0.36	-0.22	0.42	0.25	0.39	0.02	0.01	0.05	-0.18	0.28	0.74	-0.02	-0.14	0.49	1		
	Pb	-0.05	0.51	-0.41	-0.24	0.12	-0.12	0.12	-0.68	0.22	-0.03	-0.43	-0.21	-0.32	0.31	0.72	0.49	0.37	1	
	Na	0.11	0.59	-0.32	0.04	-0.04	-0.31	-0.35	-0.19	0.06	-0.26	-0.04	-0.26	-0.55	-0.11	0.69	0.01	-0.21	0.39	1

Tabla 8. Correlación simple entre nutrientes, afectaciones por plagas e indicadores de crecimiento (valor significativo $0.5 < a < -0.5$)

	%							mg/kg											
	Ca	Mg	P	K	S	C	N	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Co	Cr	Li	Mo	Ni	Pb	Na
Área foliar poligonal cm.	0.37	0.58	-0.15	0.24	-0.47	-0.49	-0.56	-0.04	-0.22	-0.20	0.30	0.14	-0.33	-0.07	0.33	-0.11	-0.61	-0.07	0.27
<i>A. tetanothrix</i> estadio 1	0.14	-0.07	-0.34	-0.10	-0.50	0.22	-0.36	-0.26	-0.15	0.40	-0.01	0.15	-0.31	0.43	-0.20	-0.39	-0.15	-0.11	-0.12
<i>M. incurvum</i> larvas	0.06	-0.28	0.24	-0.11	0.00	0.41	0.06	0.17	0.00	0.27	0.00	0.11	0.31	0.03	-0.40	0.00	0.62	-0.23	0.02
<i>A. tetanothrix</i> estadio 2	-0.05	-0.13	-0.42	-0.29	0.41	0.23	0.05	-0.01	0.56	-0.15	-0.35	0.06	0.26	0.09	-0.17	-0.02	0.10	-0.21	-0.21
Afectación herviboria	-0.16	-0.40	0.46	0.24	0.12	0.27	0.26	0.23	-0.07	0.24	-0.06	-0.30	0.14	-0.24	-0.55	-0.14	0.09	-0.39	-0.09
hojas manchadas	0.44	0.01	-0.17	-0.07	-0.57	-0.05	-0.49	-0.05	-0.24	0.76	0.42	0.36	-0.35	0.51	-0.27	-0.24	0.05	-0.08	0.02
<i>M. incurvum</i> huevos	-0.40	-0.63	0.32	-0.16	-0.36	0.64	0.21	0.07	-0.22	0.09	-0.01	-0.22	0.11	-0.33	-0.48	-0.30	0.08	-0.40	-0.17
DAP/Altura	0.11	0.05	0.11	-0.30	-0.19	0.17	-0.01	0.31	-0.30	-0.36	0.14	0.24	0.45	-0.20	-0.18	0.43	0.10	-0.19	-0.42
% de Humedad	-0.13	-0.21	-0.10	-0.17	0.24	0.02	0.29	-0.09	0.21	0.21	-0.06	-0.02	-0.01	0.10	-0.20	0.08	-0.04	0.07	-0.22

Tabla 9. Correlación simple entre afectaciones por plagas e indicadores de crecimiento (valor significativo $0.5 < -0.5 <$)

	Área foliar poligonal cm.	<i>A. tetanothrix</i> estadio 1	<i>M. incurvum</i> larvas	<i>A. tetanothrix</i> estadio 2	Afectación herbívora	Hojas con manchas	<i>M. incurvum</i> huevos	DAP/Altura	% de Humedad
Área foliar poligonal cm.	1								
<i>A. tetanothrix</i> estadio 1	-0.02	1							
<i>M. incurvum</i> larvas	-0.54	0.34	1						
<i>A. tetanothrix</i> estadio 2	-0.30	0.06	0.07	1					
Afectación herbívora	-0.30	0.11	0.55	0.06	1				
hojas manchadas	-0.17	0.71	0.57	-0.23	0.26	1			
<i>M. incurvum</i> huevos	-0.35	0.28	0.57	-0.17	0.62	0.37	1		
DAP/Altura	0.24	-0.03	-0.01	0.05	-0.17	-0.23	0.12	1	
% de Humedad	-0.42	-0.30	-0.16	0.24	0.26	-0.02	0.10	-0.32	1

En las matrices de correlación (Tablas 7, 8 y 9) se observan correlaciones positivas entre Ca y Mg, Mn, Zn, Cd y Cr, y negativas entre Ca y C y Ca y N. También se muestran correlaciones positivas entre Mg y el área foliar poligonal, Pb y Li, negativas entre Mg-C y Mg-N; existe una correlación positiva entre P y N y Co y negativa entre P y Cr. K mostró una correlación positiva con Cu y S con N, así mismo S muestra una correlación negativa con las hojas con manchas. El C muestra correlaciones positivas con N y Mn. A su vez N mantiene correlaciones positivas con Zn y Co y negativa con el área foliar poligonal.

Cu presenta una correlación positiva con Zn y negativas con Li y Pb, respectivamente, *M. incurvum* huevos tiene una correlación positiva con la afectación por herviboría y con *M. incurvum* larvas. Fe muestra una correlación positiva con *A.tetanothrix* estadio 2 y una correlación negativa con Zn.

Mn tiene una correlación positiva con Cr, Zn con Cd y Co con Ni y el diámetro a la altura del pecho de los árboles, Cr presenta correlación positiva con las hojas con manchas y Li presenta correlación positiva con Pb y negativa con la afectación por herviboría.

A su vez Mo presenta correlación positiva con el diámetro a la altura del pecho, Ni presenta correlaciones positivas con la altura de los árboles y con *M. incurvum* larvas, (que a su vez presentan una correlación positiva entre ellos) y una correlación negativa con el área foliar poligonal. El diámetro a la altura del pecho mantiene una correlación positiva con la altura del árbol, y las larvas de *M.incurvum* presentan correlaciones positivas con las hojas con manchas, con la afectación por herviboría y con la presencia de huevos de *M. incurvum* y una correlación negativa con el área foliar poligonal.

Na obtuvo correlaciones positivas con Mg y Li y correlación negativa con Co.

Por último las hojas con manchas mantienen una correlación positiva con *A.tetanothryx* estadio 1.

8.5.2 Correlaciones múltiples

La Tabla 10 presenta las correlaciones múltiples obtenidas al confrontar a las variables de crecimiento y de las afectaciones con la concentración de nutrientes. En la tabla se observan la variable o afectación, la fórmula que define a esa variable con los factores que la influyen, el coeficiente de determinación (R^2), y la importancia relativa de cada uno de los factores que influyen en la variable.

Tabla 10. Análisis de correlación múltiple

	<i>M. incurvum</i> larvas	<i>M. incurvum</i> huevos	<i>A. tetanothyx</i> estadio 1	<i>A. tetanothyx</i> estadio 2	Afectación por hervivoría	Hojas con manchas	Área foliar	DAP/Altura
Ecuación	0.70 Ni+0.62 Hojas con manchas +0.43 Afectación por hervivoría -0.16	-27.9 S+ 0.49 Afectación por hervivoría +0.95 C- 39.30	0.51 Hojas con manchas – 0.04	0.04 Fe- 1.86 Pb – 9.75 P +1.20	0.21 Li + 0.50 <i>M. incurvum</i> huevos + 2. 26	1.27 K + 0.42 <i>M. incurvum</i> larvas + 5. 06 Cr – 28. 18 S + 0. 52	- 6.0 N – 1.00 <i>M.</i> <i>incurvum</i> larvas + 36.1	0. 79 Co
Niveles de confianza	Ni: 99% Hojas con manchas: 99% Afectación por hervivoría: 95%	99%	99%	Fe: 95% Pb: 95% P: 90%	<i>M. incurvum</i> huevos : 90 %	<i>M. incurvum</i> larvas: 99.9%	N: 95% <i>M.</i> <i>incurvum</i> larvas: 90%	90%
R²	0.81	0.81	0.51	0.60	0.47	0.85	0.68	0.31
Importancias relativas	42% Ni+30% Hojas con manchas + 27% Afectación por hervivoría	18 % S + 40 % Afectación por hervivoría + 41% C		43% Fe+ 30% Pb + 27 % P	41% Li + 58% <i>M.</i> <i>incurvum</i> huevos	1% K+ 39% de <i>M.</i> <i>incurvum</i> larvas + 22% Cr + 37% S	59% N + 40 % <i>M.</i> <i>incurvum</i> larvas	

8.6 Trampas de hojarasca

En las Figuras 33 y 34 se observa la biomasa dispuesta en el sistema por semana, en gramos y por metro cuadrado para la temporada de secas y de lluvias.

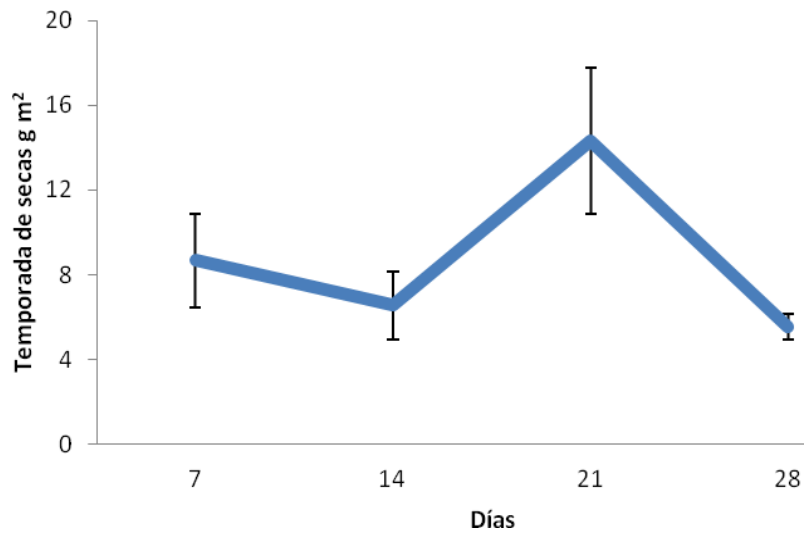


Figura 33. Biomasa introducida en gramos al sistema por semana por metro cuadrado en la temporada de secas (\pm error estándar).

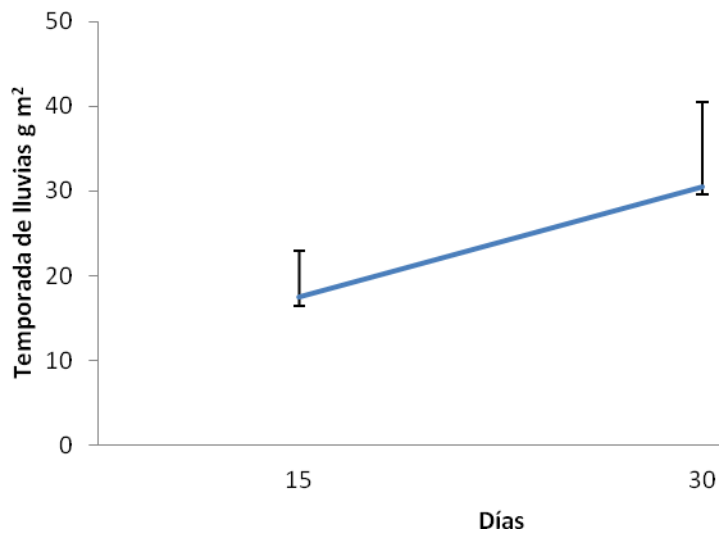


Figura 34. Biomasa introducida en gramos al sistema por semana por metro cuadrado en la temporada de lluvias (\pm error estándar).

Es notorio que la última colecta realizada en el mes de octubre en la temporada de lluvias fue en la que se registró mayor cantidad de hojarasca dispuesta en el sistema.

En la Figura 35 se observa la cantidad de biomasa introducida al sistema para la temporada de secas y lluvias en $\text{g m}^2 \text{ día}^{-1}$.

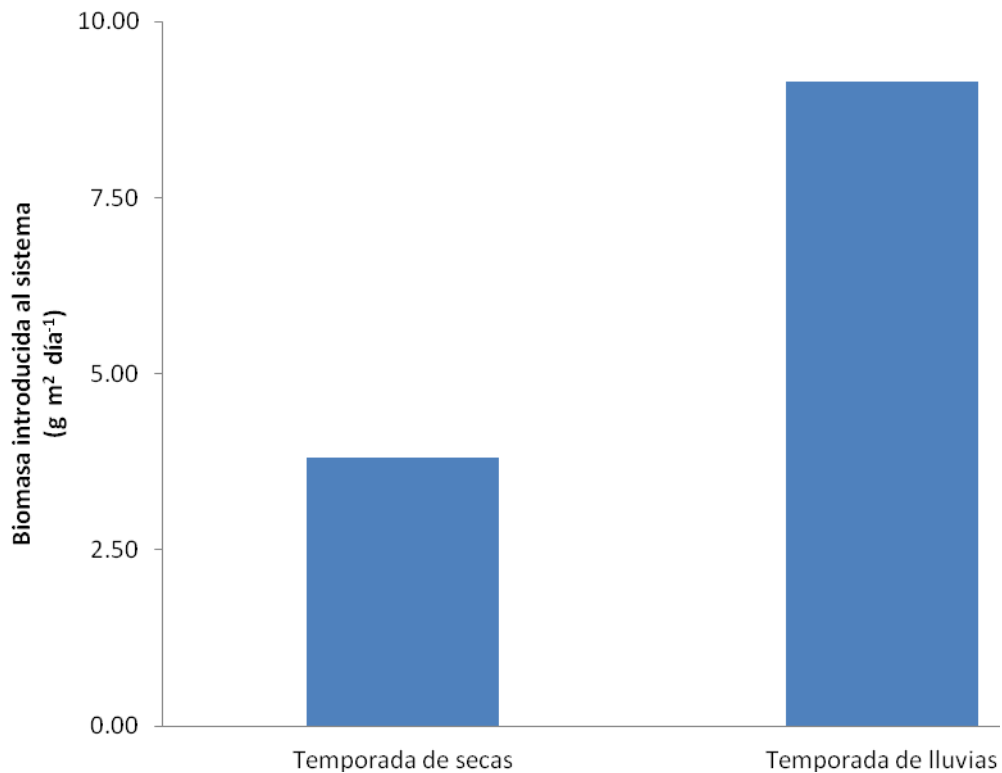


Figura 35. Biomasa introducida en gramos al sistema por día y m^2 .

Se observa que la cantidad de hojarasca recolectada en la temporada de secas es de $3.8 \text{ g m}^2 \text{ día}^{-1}$ y en la temporada de lluvias $9.14 \text{ g m}^2 \text{ día}^{-1}$. La hojarasca colectada en temporada de lluvias es más del doble que la colectada en temporada de secas.

En la Figura 36, 37, 38, 39 y 40 se indican los contenidos de macronutrientes, C, micronutrientes, elementos nocivos y Na contenidos en las muestras compuestas de hojarasca para los muestreos de secas y lluvias, respectivamente.

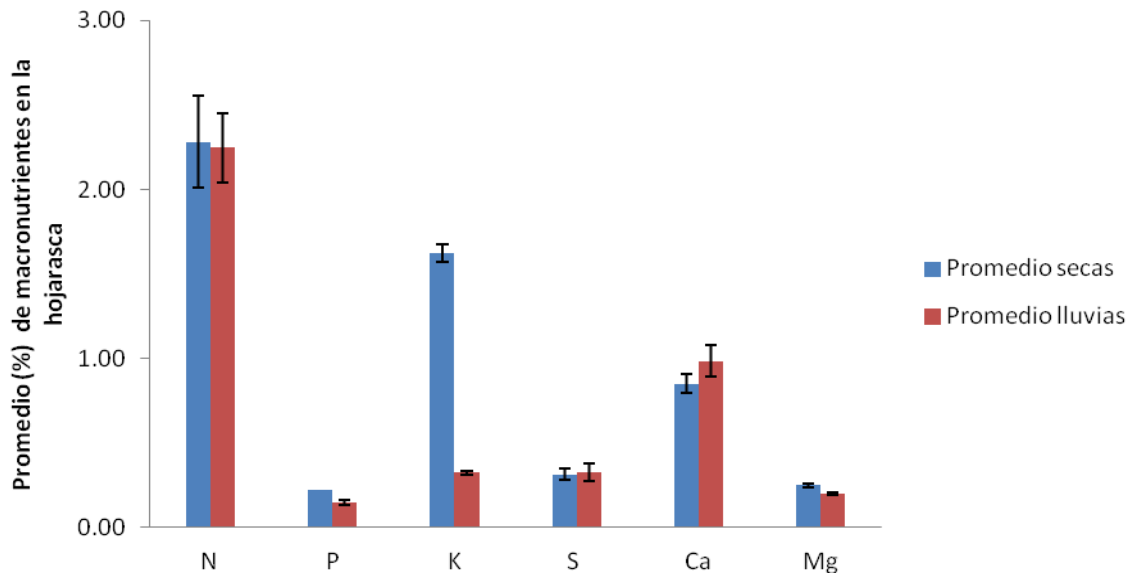


Figura 36. Promedio en porcentaje (\pm error estándar) de macronutrientes en muestras de hojarasca colectadas en la época seca y de lluvias.

Se observa que para casi todos los macronutrientes (excepto para K) las concentraciones casi no varían entre estas dos temporadas.

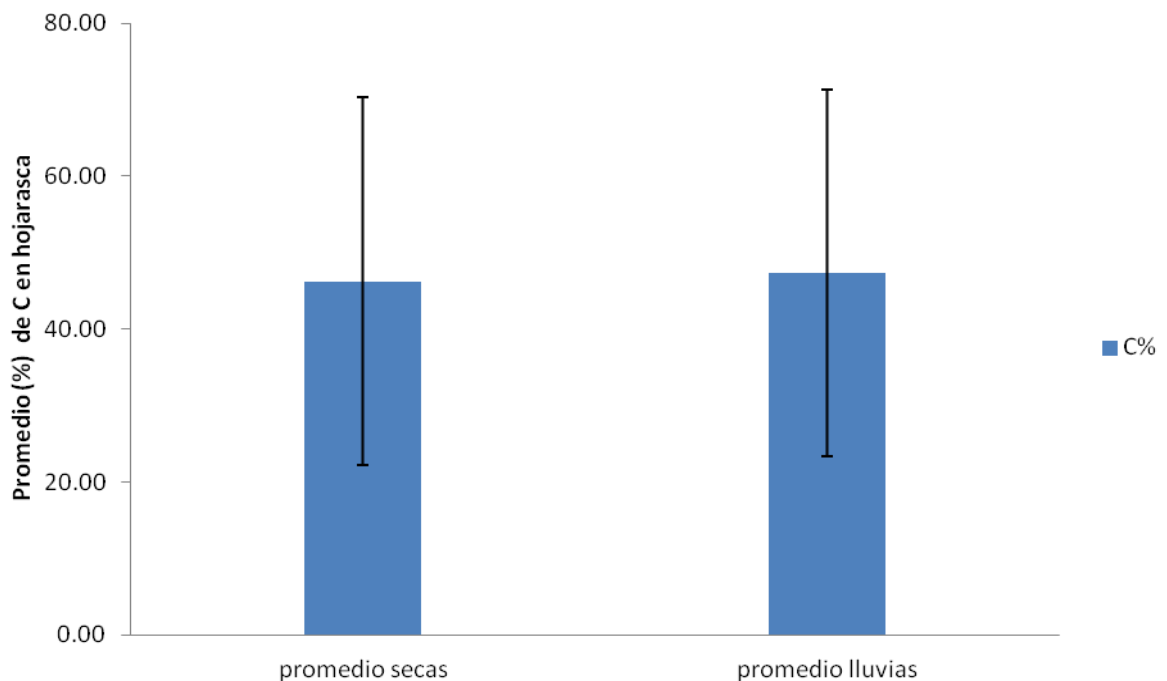


Figura 37. Promedio en porcentaje (\pm error estándar) de C en muestras de hojarasca colectadas en la época seca y de lluvias.

Se aprecia que la concentración de C en la hojarasca casi no varía entre temporadas.

En la Figura 38 se observan las concentraciones de micronutrientes obtenidas en las muestras de hojarasca.

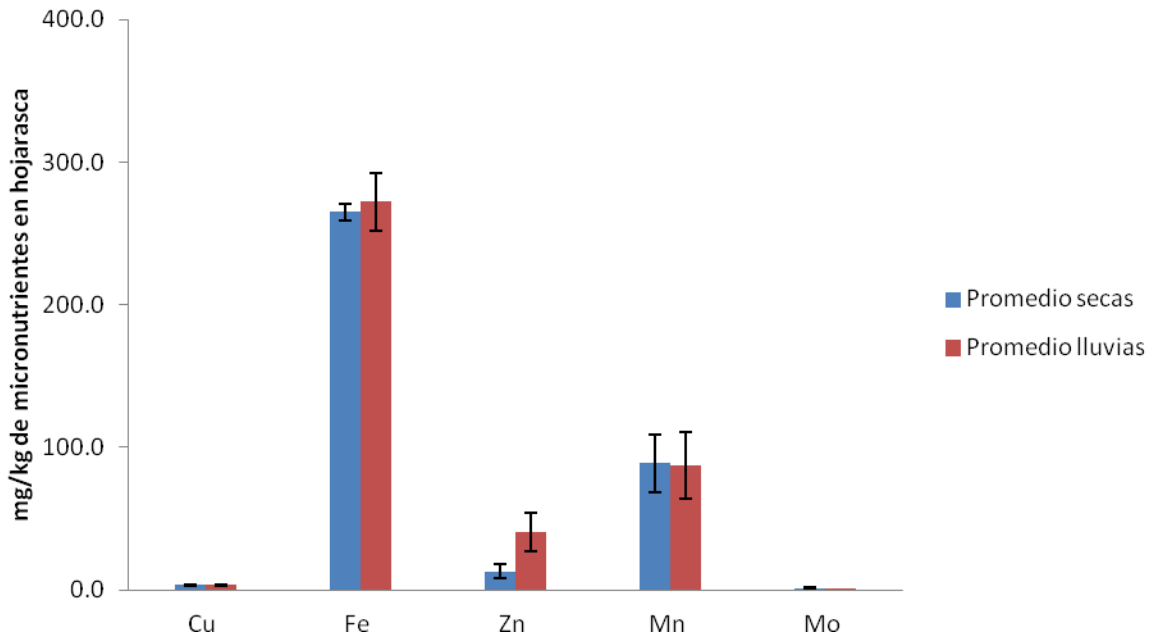


Figura 38 .Promedio en mg/kg (\pm error estándar) de micronutrientes en muestras de hojarasca colectadas en la época seca y de lluvias.

Al igual que en los macronutrientes no se aprecia una diferencia significativa entre temporadas.

El contenido de elementos considerados como nocivos en las muestras de hojarasca, se observa en la Figura 39.

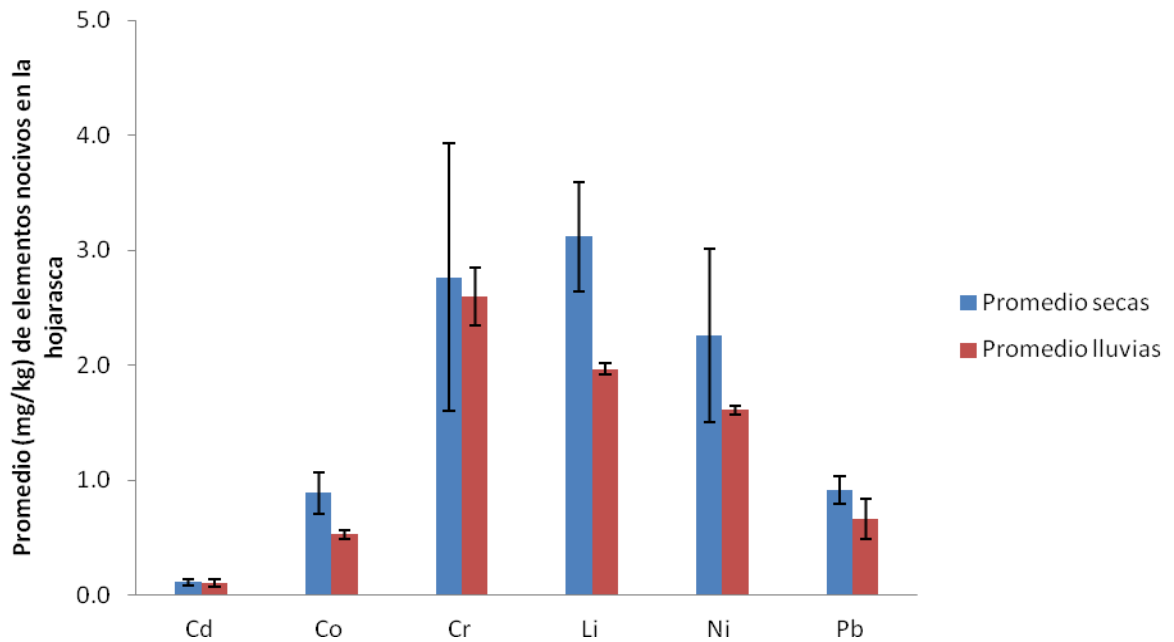


Figura 39. Promedio en mg/kg (\pm error estándar) de elementos nocivos en muestras de hojarasca colectadas en la época seca y de lluvias.

La concentración de elementos nocivos aparenta ser mayor en la temporada de secas.

La concentración de Na encontrado en la hojarasca colectada en cada época de muestreo se observa en la Figura 40.

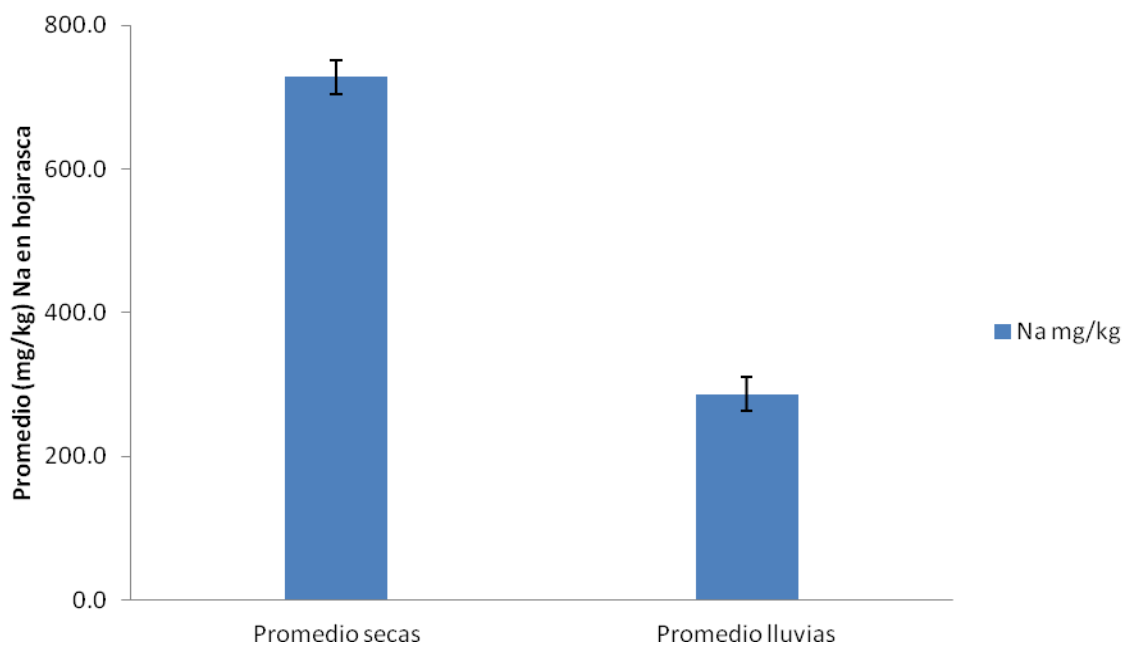


Figura 40. Promedio en mg/kg (\pm error estándar) de Na en muestras de hojarasca colectadas en la época seca y de lluvias.

Al igual que con los elementos nocivos la concentración de Na en las muestras aparenta ser mayor durante la temporada de secas.

8.6.1 Relación de nutrientes entre temporada de secas y lluvias

Para evaluar si existe una diferencia significativa entre las concentraciones de los elementos en la hojarasca obtenida en las dos temporadas (secas y lluvias) se realizó una prueba de hipótesis de dos medias (t de Student), con un error (α) de 0.05 para todas las pruebas.

Los resultados son para N, Mg, K, Li y Na la concentración de los macronutrientes, micronutrientes y elementos considerados contaminantes es mayor en la temporada de secas, mientras que para Zn y Cd es mayor en la temporada de lluvias.

Para el resto de los elementos (Ca, P, S, Cu, Fe, Mn, Mo, Co, Cr, Ni y Pb) las concentraciones no variaron considerablemente entre las dos temporadas.

8.6.2 Diferencia entre concentración de hojas frescas y hojarasca

En las Tablas 11, 12 y 13 se observan los resultados obtenidos de el índice entre la concentración de nutrientes en la hojarasca entre la concentración de nutrientes en las hojas frescas.

Tabla 11. Índice entre hojas y hojarasca para macronutrientes.

	N%	C%	P%	K%	S %	Ca%	Mg%
Promedio hojas frescas	2.87	47.84	0.25	1.14	0.20	1.11	0.50
Promedio hojarasca	2.20	46.44	0.19	0.91	0.32	1.01	0.23
Índice	0.77	0.97	0.76	0.80	1.64	0.91	0.46

Tabla 12. Índice entre hojas y hojarasca para micronutrientes.

	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg
Promedio hojas frescas	4.44	88.56	111.59	52.35	2.02
Promedio hojarasca	3.37	279.42	26.12	85.44	1.39
Índice	0.76	3.16	0.23	1.63	0.69

Tabla 13. Índice entre hojas y hojarasca para elementos considerados contaminantes.

	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Li mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Na mg/kg
Promedio hojas frescas	0.49	0.82	0.76	4.03	1.16	0.50	192.72
Promedio hojarasca	0.10	0.67	2.74	6.26	1.88	0.80	488.08
Índice	0.21	0.81	3.59	1.56	1.63	1.60	2.53

Los nutrientes que se reabsorben en mayor proporción, antes de que las hojas se tiren, son Zn seguido de Mg, Mo, Cu, P y N y por último K y Ca, mientras que los nutrientes Fe, Mn y S no se reabsorben. Entre los contaminantes se desechan mayoritariamente Cr y Na, seguidos de Ni y Pb.

9. Discusión

9.1 Comportamiento de nutrientes y elementos contaminantes.

A continuación se discuten las posibles explicaciones para el comportamiento encontrado, tanto de los macro- y micronutrientes como de los contaminantes en las muestras foliares. Para ello se consideran tanto propiedades del suelo como del agua, ya que los ahuejotes crecen al borde de las chinampas (Tabla 15).

La Tabla 14 presenta en resumen, las concentraciones de elementos en las muestras foliares de los ahuejotes.

Tabla 14. Umbrales de concentración de elementos en las muestras de ahuejote

Nutriente	Concentración subóptima	Concentración óptima	Consumo de lujo	Toxicidad
N				
P				
K				
S				
Ca				
Mg				
Fe				
Cu				
Mn				
Zn				
Mo				
Contaminantes		Concentración no tóxica		Toxicidad
Na				
Ni				
Pb				
Cr				
Cd				
Li				
Co				

El N es constituyente de proteínas y ácidos nucleicos entre otras cosas. Una fuente importante de los altos contenidos de N en las hojas es la concentración de este elemento en el suelo de la chinampa. Las concentraciones obtenidas de los horizontes de la chinampa tipo pueden confirmar esto ya que las medias de lo obtenido son 0.45 % para N y 5.97% para C (reportes internos UNAAMB, 2011).

Estas concentraciones obtenidas en el suelo de chinampa se consideran según Pagel *et al.* (1982) como de altas a muy altas. Además, las condiciones de pH de neutras a alcalinas, las condiciones de humedad de medias a altas todo el año por ascenso capilar de agua del nivel freático y las temperaturas medias anuales superiores a 15°, favorecen la mineralización (Castellanos *et al.*, 2000). Lo anterior explica las altas concentraciones de N en las hojas de los ahuejotes. A estas altas concentraciones de N en el suelo se le suman las concentraciones de amonio reportadas en los canales de Xochimilco que según Tavera y Diez (2009) varía entre 0.50 y 3.65 mg/L.

Los suelos de la chinampa son ricos en materia orgánica (Flores, 2009) y tienen valores pH ligeramente alcalinos (Tavera y Diez, 2009). Bajo estas condiciones se espera una alta disponibilidad de los cationes Ca, Mg y K, así como del micronutriente Mo, pero una disponibilidad baja de P, B, Fe, Mn, Cu, Zn así como de los elementos potencialmente tóxicos Pb y Cd (Siebe *et al.*, 1996).

Tavera y Diez (2009) afirman que la concentración de P en las aguas de los canales es de 1.82 mg/L y Flores (2009) reporta como valor más alto registrado en las aguas de los canales de este nutriente 27.5 mg/L, la cual, rebasa el límite permisible en la NOM-001-ECOL-1996 (Flores, 2009). Esto confirma la abundancia de este macronutriente en las aguas de los canales y en el suelo de chinampa. Por ello, resulta inesperado que las concentraciones de P y S se encuentren en intervalos considerados como subóptimos. Ambos nutrimentos se encuentran en el agua de los canales y el suelo de chinampa es rico en P (Flores, 2009).

Aunque la baja concentración de P en las muestras foliares de ahuejote no es crítica, puede deberse a baja disponibilidad de este nutriente en el medio debido al pH alcalino, o al antagonismo con Pb, el cual se encuentra presente tanto en los árboles como en el suelo (Ramos-Bello *et al.*, 2001) al igual que con Ni, Mn y Mo (Kabata Pendias y Pendias, 2001). Así mismo esta deficiencia coincide con lo observado en la coloración verde oscuro de algunas de las hojas de los ahuejotes y con las manchas observadas en las hojas. El P es importante para las plantas ya que conforma ácidos nucleicos, entre otras cosas.

El Cr incide de manera negativa en la concentración de P y esto puede deberse a que según Sharma y Shanker (2005), Seregin y Kozhevnikova (2006) y Brown *et al.* (1987) indican que la presencia de elementos contaminantes en las plantas puede alterar su nutrición mineral.

Las concentraciones obtenidas por Carou *et al.* (2010) de P en *Salix* del Río Paraná durante la primavera fueron de 0.36% y en el otoño de 0.19%. Lo encontrado por Vandecasteele (2004) en *Salix alba* de pantanos de agua dulce es una concentración de P de 0.30 %; estas dos concentraciones son parecidas a las encontradas en las muestras de ahuejotes de Xochimilco (0.19% – 0.39%).

El S, constituyente de las proteínas vegetales, se encuentra en concentraciones que pudieran ser deficientes, esto es interesante ya que puede esperarse que el S sea incorporado al ecosistema vía atmosférica. Por lo anterior sería bueno confirmar primero que la adición foliar resulta en una respuesta positiva en crecimiento para confirmar que existe deficiencia de S. De esta manera se podrían verificar que los intervalos nutrimentales reportados para *Populus sp.* corresponden con los de *S. bonplandiana*.

También se debe descartar la pérdida de S en el suelo por permeabilidad ya que el suelo de chinampa retiene la humedad y el sulfato es uno de los iones dominantes del suelo de chinampa (Ramos-Bello *et al.*, 2001).

Una explicación a esta deficiencia podría ser que Zn y Mo se encuentran en las muestras foliares en concentraciones de consumo de lujo; esto podría provocar la deficiencia de S en las muestras, ya que en la planta son elementos antagónicos, al igual que lo son S y Pb (Kabata Pendias y Pendias, 2001).

Existe una relación entre S y las hojas con manchas, lo cual podría confirmar la deficiencia de este nutriente en las muestras foliares, las manchas amarillas observadas en algunas de las hojas de los ahuejotes de la chinampa tipo podrían servir como prueba de esto.

Ya que el contenido de sulfato es mejor indicador que el contenido total de azufre del estado de este macronutriente en la planta (Marschner, 1990), sería pertinente analizarlo.

La concentración obtenida por Vandecasteele (2004) de S en *Salix alba* de pantano de agua dulce es 0.62%, esta concentración es superior a la encontrada en los ahuejotes de Xochimilco (0.14% - 0.23% de S).

El K es cofactor de numerosas enzimas y además se encarga de mantener la electroneutralidad de las células vegetales. La concentración en niveles subóptimos de K puede deberse según Kabata Pendias y Pendias (2001) al efecto antagónico que tiene este nutrimento con Mo, Mn y Pb (Mo y Mn se encuentran en concentraciones de consumo de lujo en las muestras foliares) en las plantas. También la alta concentración de Na en el agua de los canales (Tabla 15) podría interferir con la absorción de K (Mathuis y Amtmann, 1999), sin embargo esta relación negativa no se ve reflejada en ninguno de los dos análisis de correlación.

La deficiencia de K provoca clorosis marginal que termina en necrosis (Marschner, 1990) lo que podía coincidir con lo observado en los ahuejotes de la chinampa tipo y con los resultados del análisis de correlación múltiple que señala que existe una relación entre las hojas con manchas y K. Habría que comprobar entonces, si realmente el K se encuentra en concentraciones subóptimas, analizando que una aplicación de K vía foliar a algunos árboles produce una respuesta en el crecimiento.

Para K en *Salix alba* de pantanos de agua dulce (Vandecasteele, 2004) la concentración de K es de 1.74%, lo que se encuentra por arriba de las muestras de ahuejotes (0.86% - 1.50% de K) y dentro de lo considerado suficiente para *Populus*. Esto podría indicar deficiencia de este nutriente y una probable respuesta en crecimiento, si la oferta de K se incrementa.

El Ca es constituyente de la lamela media de las células vegetales, además de ser cofactor de varias enzimas, las concentraciones óptimas de Ca encontradas en las hojas se pueden explicar gracias a la alcalinidad del suelo de chinampa y su alto contenido de materia orgánica (Flores, 2009).

La concentración de Ca encontrada por Carou *et al.* (2010) en hojas de *Salix* del Río Paraná en primavera es de 1.81% y en otoño 1.59%, la concentración foliar de *Salix alba* de pantanos de agua dulce es de 2.06% (Vandecasteele, 2004). Estas concentraciones son ligeramente mayores que lo encontrado en las muestras de ahuejotes (0.63% - 1.59% de Ca) .

Tabla 15. Concentraciones de iones disueltos, pH y conductividad en las muestras de agua de los canales circundantes de la chinampa tipo (UNAAMB, 2011).

	Media	Max	Min	Desviación estándar
Na ⁺ mg/L	134.74	177.62	112.03	22.22
K ⁺ mg/L	20.59	32.05	14.64	5.63
Ca ²⁺ mg/L	26.30	58.32	15.53	16.28
Mg ²⁺ mg/L	20.16	51.98	12.73	14.65
NO ₃ ⁻ mg/L		13.97	0.00	5.14
SO ₄ ²⁻ mg/L	83.02	231.50	51.38	76.26
pH superficie	8.26	9.11	7.31	0.52
pH fondo	8.11	9.08	6.71	0.61
Conductividad eléctrica superficie (µS/cm)	837.67	1526.00	607.00	167.14
Conductividad eléctrica fondo (µS/cm)	820.25	1115.00	638.00	83.65

Así mismo, las concentraciones en niveles de lujo de Mg, conformador de la clorofila, también se pueden explicar con base en los valores elevados de pH, tanto en suelo como en agua. Mg es sinérgico con Zn, el cual se encuentra en concentraciones de lujo en las muestras foliares (Kabata Pendias y Pendias, 2001). Además la presencia de Co en la planta activa a este macronutriente (Palit y Sharma 1994).

El contenido de Mg encontrado en hojas de *Salix* del Río Paraná en primavera fue 0.50% y en otoño 0.37% (Carou *et al.*, 2010), la concentración encontrada en hojas de *Salix alba* de pantano de agua dulce fue 0.26% (Vandecasteele, 2004), la concentración obtenida para los ahuejotes de Xochimilco (0.37% - 0.66% de Mg) es más elevada que en los dos reportes.

El Fe constituye citocromo y proteínas de hierro, dentro de la planta Fe tiene una gran cantidad de antagonismos con otros elementos, esto es confirmado por el análisis de correlación simple que muestra antagonismo entre Fe y Zn, otro de sus antagonismos es el Mg, el cual presenta en las muestras foliares consumo de lujo, esto podría ser una de las explicaciones de la baja concentración de Fe en las muestras; otra explicación podría ser que esté poco disponible en el medio que es suelo alcalino y alto en materia orgánica (Kabata Pendias y Pendias, 2001). También Poschenreider *et al.* (2006) afirma que un motivo de deficiencia de este micronutriente puede deberse a la fuerte competencia que existe entre hospederos, microorganismos y patógenos por este nutriente.

Las concentraciones encontradas de Fe en hojas de *Salix* crecidas en suelos experimentales con contaminación en aumento son: para *Salix viminalis* 159 mg/kg y para *Salix fragilis* 146 mg/kg (Vandecasteele *et al.*, 2004) y para hojas de *Salix* del Río Paraná en primavera 267 mg/kg y en otoño 600 mg/kg; los tres reportes son más altos que lo encontrado en los ahuejotes de Xochimilco (70.9 mg/kg a 122.1 mg/kg).

Las bajas concentraciones de Cu encontradas en las hojas se explican muy bien con base en los altos contenido de materia orgánica así como los valores pH alcalinos (Kabata Pendias y Pendias, 2001). Este micronutriente es componente del ácido ascórbico, entre otras cosas.

El Cu tiene un gran número de antagonismos en la planta, entre ellos N y Mg (Kabata Pendias y Pendias, 2001) que se encuentran en concentraciones de consumo de lujo en las muestras foliares. También es un nutriente por el cual hay competencia entre hospedero, microorganismos y patógenos (Poschenreider *et al.* 2006). También según Kabata Pendias y Pendias (2001) Cu tiene poca movilidad en los suelos alcalinos. La presencia de hojas de color verde oscuro y de puntos de tejido necrótico observadas en las hojas de los ahuejotes podrían confirmar esta deficiencia. Así mismo altas concentraciones de Zn (como es el caso de las muestras foliares) pueden deprimir la absorción de Cu (Watts, 1990).

El Cu presenta antagonismo en la planta con Pb y Li y como se menciona previamente la presencia de elementos contaminantes en las plantas puede alterar la nutrición mineral de las plantas (Sharma y Shanker 2005, Seregin y Kozhevnikova 2006, Brown *et al.* 1987).

Lo encontrado de Cu en hojas de *Salix* del Río Paraná (Carou *et al.*, 2010) en primavera es 17.5 mg/kg y en otoño 11.5 mg/kg, en hojas de *Salix alba* de pantano de agua dulce es 9.4 mg/kg (Vandecasteele *et al.*, 2004). Los dos reportes son más elevados que lo encontrado en los ahuejotes de Xochimilco (2.6 mg/kg – 5.9 mg/kg).

El Zn es un constituyente esencial de varias enzimas como la anhidrasa carbónica. Es difícil explicar las concentraciones en intervalos de consumo de lujo encontradas para Zn. Sería importante cuantificar las concentraciones tanto totales como extractables de Zn en los suelos para explicar este comportamiento.

La concentración reportada por Carou *et al.* (2010) de Zn en hojas de *Salix* del Río Paraná en primavera fue de 268 mg/kg y en otoño 176 mg/kg. Lo encontrado por Vandecasteele *et al.* (2004) en hojas de *Salix alba* de pantano de agua dulce es 361 mg/kg. Ambos reportes son más elevados que lo encontrado en los ahuejotes (28.9 mg/kg – 94.29 mg/kg de Zn).

El Mn es requerido para la actividad de las deshidrogenasas, descarboxilasas, kinasas, oxidasas y peroxidasas. El Mn a pesar de tener poco movimiento en los suelos alcalinos (Kabata Pendias y Pendias, 2001), se encuentra en concentraciones de consumo de lujo, esto puede deberse a que según Palit y Sharma (1994) cuando existe en la planta Zn y Co juntos aumentan la toma de Mn.

Las concentraciones encontradas de Mn en *Salix alba* de pantano de agua dulce (Vandecasteele *et al.*, 2004) es 64 mg/kg, en árboles de *Salix* crecidos en suelos con contaminación en aumento: *Salix viminalis* 62.4 mg/kg y en *Salix fragilis* 201.7 mg/kg (Vandecasteele *et al.* 2004). Las concentraciones obtenidas de *Salix alba* de pantano de agua dulce son inferiores a las de los ahuejotes, mientras que las concentraciones obtenidas de *Salix viminalis* y *Salix fragilis* son mayores a las encontradas en los ahuejotes (47.7 mg/kg – 232.4 mg/kg).

El Mo, componente metálico de las enzimas, se encuentra en consumo de lujo, esto puede deberse a que en suelos alcalinos se vuelve más disponible y es más móvil (Kabata Pendias y Pendias, 2001 y Marschner 1991). La alta concentración de Mo en las hojas también puede explicarse con base en los valores de pH alcalinos, tanto en el suelo como en el agua, ya que el Mo se encuentra particularmente móvil bajo estas condiciones (Marschner, 1990). Mo posee propiedades sinérgicas con N (Kabata Pendias y Pendias, 2001), el cual se encuentra también en consumo de lujo.

Los elementos potencialmente contaminantes podrían provenir de las aguas residuales tratadas bajo tratamiento secundario introducidas al sistema de canales de Xochimilco, además de contaminación adicional por las descargas domésticas, turismo y por los desechos provenientes del ganado, esto y la desecación del lago también han aumentado el nivel de sal en el agua y suelo de chinampa (Ramos-Bello *et al.* 2001).

El que estos elementos excepto Li se encuentren dentro de los límites permisibles, se puede explicar gracias a la alcalinidad del suelo, la materia orgánica presente en éste y la cantidad de arcilla (Ramos-Bello *et al.* 2001).

Desafortunadamente no se cuenta con datos de la concentración de Li en el suelo de chinampa, pero según Kabata Pendias y Pendias (2001) ya que el Li soluble es altamente disponible para las plantas, la concentración de Li en las plantas es una buena referencia para conocer la cantidad de este elemento en el suelo. Además Li comparte los mismos canales de transportación que K por lo que es fácilmente transportado al interior de las plantas, una vez adentro de estas se acumula en las hojas (Kabata Pendias y Pendias, 2001), lo que puede explicar la alta concentración encontrada en las muestras foliares del ahuejote.

De acuerdo con Kabata Pendias y Pendias (2001), el resto de los elementos considerados contaminantes se encuentran en las muestras foliares como dentro de lo permisible para tejidos vegetales.

Lo encontrado por Vandecasteele *et al.* (2004) de Ni en hojas de *Salix* crecidos en suelos experimentales con contaminación en aumento es 2.9 mg/kg en *Salix viminalis* y 6 mg/kg en *Salix fragilis*. Las concentraciones obtenidas para los ahuejotes son inferiores 0.4 mg/kg – 3.1 mg/kg).

Lo encontrado por Vandecasteele *et al.* (2004) en *Salix alba* de pantanos de agua dulce para Cd fue 3.3 mg/kg, lo que es más elevado que lo encontrado en las muestras foliares de los ahuejotes (0.4 mg/kg – 0.5 mg/kg).

La concentración de Cr encontrada por el mismo autor en *Salix fragilis* y *Salix viminalis* crecidos en suelos experimentales con contaminación en aumento son 5.4 y 2.5 mg/kg respectivamente, lo que también se encuentra por encima de las muestras foliares de ahuejotes de Xochimilco (0.5 mg/kg – 0.9 mg/kg).

En el mismo estudio realizado por Vandecasteele *et al.* (2004) las concentraciones encontradas de Pb son 3.5 y 2.8 mg/kg para *Salix fragilis* y *Salix viminalis* respectivamente, estas concentraciones son más altas que lo encontrado en las muestras de ahuejote de Xochimilco (0.1 mg/kg – 1.2 mg/kg).

Kabata Pendias y Pendias (2001) reportan una concentración de Li en la Familia Rosaceae en Rusia de 2.9 mg/kg, lo que concuerda con lo obtenido para 8 de las

muestras foliares de los ahuejotes aquí muestreados, cuyas concentraciones van de 1.1 mg/kg a 10.8 mg/kg.

9.2 Toxicidad de elementos contaminantes

Li se encuentra en cantidades tóxicas en las muestras foliares de ahuejote (Kabata Pendias y Pendias, 2001), a pesar de esto muestra una correlación negativa con la afectación por herviboría lo que quiere decir que a mayor concentración de Li, menor afectación por herviboría. Sin embargo muestra correlaciones negativas con Cu, lo que podría explicar la deficiencia de este nutriente y con el porcentaje de humedad en las hojas. Una posible explicación a la alta concentración de Li en las muestras foliares puede ser que el Li soluble en el suelo es altamente disponible para las plantas y se concentra mayormente en las hojas (Kabata Pendias y Pendias, 2001).

9.3 Relación entre las concentraciones foliares y los indicadores de crecimiento

Desafortunadamente este trabajo no cuenta con la edad de los árboles, por lo que es impreciso hacer inferencias acerca de la relación entre los nutrientes o las afectaciones por las plagas con el diámetro a la altura del pecho o con la altura del árbol, ya que son factores dependientes de la edad.

A pesar de esto, el índice entre el diámetro a la altura del pecho y la altura de los árboles no mostró una clara correlación con ningún nutrimento más que con el Co. Según Palit y Sharma (1994) pequeñas cantidades de Co en la planta pueden ser benéficas para el crecimiento, lo que podría explicar este resultado.

El área foliar presentó una correlación positiva con el Mg, el cual se encontró en intervalos de consumo de lujo. Según Marschner (1991) mayores cantidades de Mg aumentan el área foliar.

Así mismo, el área foliar contrario a lo esperado, mostró una correlación negativa con N. Esto puede deberse a que según Marschner (1991) el aumento de compuestos nitrogenados de bajo peso molecular aumenta la afectación por plagas. Esto lo confirma la incidencia negativa de la afectación por larvas de *M. incurvum* en el área foliar. También mostró una influencia negativa la concentración de Ni en las muestras foliares con el área foliar, ya que Seregin y Kozhevnikova (2006) afirman que la presencia de Ni en las plantas provoca desbalances que afectan el crecimiento y desarrollo de la planta además de provocar una disminución del área foliar del 40%.

9.4 Relación entre las concentraciones foliares y las afectaciones por plagas

Varios nutrientes presentan relaciones negativas con las afectaciones por plagas. Esto puede indicar que la presencia de estos elementos contribuye a la protección de la planta de la afectación por plagas. Entre éstos se encuentra el Mg, el cual se encuentra en las muestras foliares en intervalos de consumo de lujo y que su presencia en la planta incide negativamente en la presencia de los huevos de *M. Incurvum*.

Así mismo el S incide negativamente en la presencia de *A. tetanothyx* estadio 1, y el P en la presencia de *A. tetanothyx* estadio 2. Sin embargo, dado que estos nutrientes se encuentran en intervalos aparentemente deficientes en las muestras foliares, esta relación negativa podría interpretarse como que la afectación por las plagas ha mermado la concentración de estos nutrientes o como que la carencia de estos nutrientes ha favorecido la afectación por estos parásitos. Según García (2006) una adecuada nutrición mineral de las plantas puede activar e inducir mecanismos de defensa en contra de parásitos, pero si existe un desbalance nutricional en la planta, ésta queda más susceptible ante el ataque por patógenos.

El Li y Pb inciden negativamente en la afectación por herbivoría y con *A. tetanothyx* estadio 2 respectivamente, lo que podría confirmar la propuesta de Poschenreider *et al.* (2006) de que concentraciones no tóxicas (aunque Li encuentra en exceso en los ahuejotes) de metales en los tejidos vegetales pueden ayudar a las plantas a evitar los ataques de parásitos. La concentración de Cr incide en la cantidad de hojas con manchas.

En cuanto a los nutrientes o elementos que afectan de manera negativa a los árboles presentando relaciones positivas con las afectaciones por plagas, se encuentran el C, el cual tiene una relación positiva con los huevos de *M. incurvum* y la concentración de Fe en las muestras foliares, que presenta una relación positiva con *A. tetanothyx* estadio 2.

También es notorio que las larvas de *M. incurvum* afectan de manera negativa el área foliar y aumentan junto con *A. tetanothyx* estadio 1 la presencia de manchas en las hojas. Además estas larvas y los huevos de la misma especie mantienen una relación positiva entre ellos y con la afectación por herbivoría, lo cual era esperado.

9.5 Aportación de biomasa y reciclaje de nutrientes

Los ahuejotes aportan al sistema un aproximado de $3.8 \text{ g m}^2\text{día}^{-1}$ de hojarasca en la temporada de secas y un aproximado de $9.14 \text{ g m}^2\text{día}^{-1}$ de hojarasca en la temporada de lluvias.

En este trabajo se presentan los valores obtenidos de hojarasca en $\text{g m}^2\text{día}$, pero para poder compararlos con los resultados obtenidos por Naiman *et al.* (2005) se convirtieron a Mg ha año^{-1} , dando un resultado de $13.89 \text{ Mg ha año}^{-1}$ para la temporada de secas y $33.35 \text{ Mg ha año}^{-1}$ para la temporada de lluvias. Esto significa que los ahuejotes aportan más del doble de biomasa en la temporada de lluvias que lo reportado para los bosques ecuatoriales, los cuales según el autor son los de mayor aporte, ya que aportan Mg ha año^{-1} , seguido por los árboles de zonas montañosas los cuales disponen en el sistema $6.3 \text{ Mg ha año}^{-1}$, los bosques templados $5.0 \text{ Mg ha año}^{-1}$ y por último los bosques de zonas frías con un aporte de entre 1.0 a $3.4 \text{ Mg ha año}^{-1}$.

El análisis de medias (t de Student) realizado entre las concentraciones de nutrientes y elementos nocivos de las temporadas de secas y lluvias muestra que las concentraciones de N, K y Mg son mayores en la temporada de secas, mientras que las concentraciones de P, S y Ca no varían significativamente entre temporadas.

La concentración de Zn durante la temporada de lluvias fue mayor que la obtenida en la temporada de secas. Cu, Fe, Mn y Mo, no presentaron variaciones significativas entre temporadas.

Li y Na presentaron concentraciones mayores en la temporada de secas, Co, Cr, Ni y Pb no presentaron diferencias significativas entre temporadas.

Las concentraciones encontradas de N y P en la hojarasca de los ahuejotes de la chinampa tipo son de 2.14% y 0.19% respectivamente, el valor obtenido de N es superior al reportado por Poi de Neiff *et al.* (2006) de 1.81% para otras especies de *Salix*. La concentración obtenida de P concuerda con lo obtenido por el mismo autor (0.19%).

En los índices realizados para evaluar si las concentraciones de nutrientes y elementos dañinos se reabsorben en los árboles o si se pierden con la hojarasca (Tablas 8, 9 y 10) se puede observar que Mg se reabsorbió mayormente en los árboles, seguido de N, P y K; C y Ca por su parte, muestran concentraciones casi sin diferencia entre las hojas frescas y la hojarasca mientras que S se perdió con la hojarasca.

En las concentraciones de micronutrientes se observa que Zn, seguido de Mo y Cu se reabsorbieron en los árboles, mientras que Fe y Mn se perdieron en la hojarasca.

Es interesante observar que solo el Co y el Cd se reabsorbieron en los árboles, el resto de los elementos considerados como contaminantes se perdió en la hojarasca. Una

explicación de esto es que de acuerdo con Dahmani-Muller *et al.* (2000) algunas plantas han desarrollado mecanismos de desintoxicación de metales, donde concentran a éstos en las hojas maduras y los eliminan en ellas.

Las concentraciones foliares de nutrientes y elementos nocivos, la movilidad de elementos en la planta, el aporte de biomasa por temporadas y las concentraciones en la hojarasca se pueden resumir en la Figura 41.

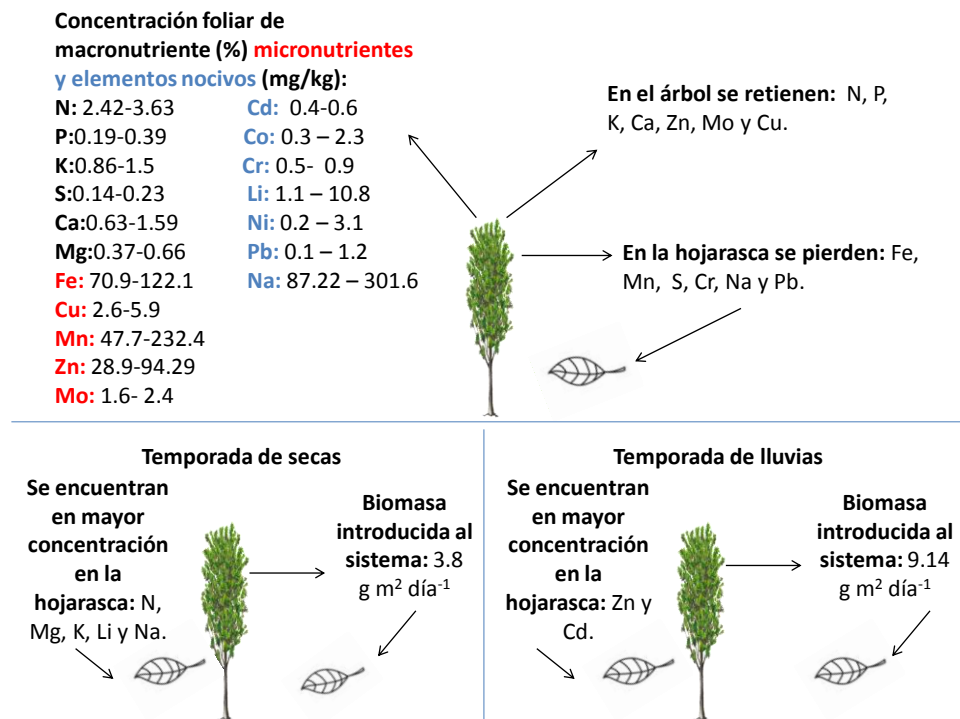


Figura 41. Concentraciones foliares de nutrientes, movilidad de elementos en la planta y diferencias en las concentraciones de nutrientes entre temporadas en la hojarasca. Imagen del ahuejote tomada de biodiversidad.gob.mx e imagen de hoja tomada de edupics.com

10. Conclusiones

La concentración de nitrógeno tuvo intervalos altos (consumo de lujo) que afectaron el área foliar, pero no la relación entre el diámetro a la altura del pecho, la altura del árbol, el porcentaje de humedad en las hojas ni la afectación por plagas.

El Mg se encontró también en concentraciones de consumo de lujo, y éstas se asociaron con una mayor área foliar.

Se encontró que K, P, S, Cu y Fe se encuentran en concentraciones subóptimas en las hojas de los ahuejotes, además P, S, Cu y Fe podrían ser deficientes debido al ataque por parásitos, o esta deficiencia puede volver susceptible al árbol al ataque de éstos.

El sodio se encuentra en grandes cantidades en el sistema, y esto podía afectar la absorción de K por parte de los árboles. Sin embargo aunque K se encuentre deficiente y Na en exceso, esto no se ve reflejado en los análisis de correlación.

No se encontró una relación entre los contenidos de nutrientes y la ubicación de los árboles cerca de los diferentes canales que circundan a la chinampa.

Los ahuejotes de la chinampa tipo en Xochimilco, reabsorben Mg, Zn y Cd en mayor medida, seguido por N, P, K, Cu, Mo y Co. A su vez S, Fe, Mn, Cr, Li, Pb y Na se perdieron con la hojarasca. Las concentraciones de C y Ca no muestran inclinación hacia retenerse en los árboles o perderse en la hojarasca.

N, K, Mg, Li y Na en la hojarasca presentan concentraciones mayores en la temporada de secas, la concentración en la hojarasca de Zn fue mayor en la temporada de secas y las concentraciones de P, S, Ca, Cu, Fe, Mn, Mo Co, Cr, Ni y Pb no presentaron diferencias significativas entre temporadas.

No se observó diferencia en la concentración de nutrientes de los árboles ubicados en el canal posterior de la chinampa tipo.

10.1 Perspectivas

Para poder realizar con más precisión un estudio acerca del estado nutricional de los ahuejotes, sería apropiado realizar un estudio dirigido bajo condiciones controladas donde se determinen las concentraciones óptimas exactas que favorezcan el crecimiento de esta especie.

Además, sería apropiado para determinar las deficiencias de ciertos nutrientes en los árboles realizar un muestreo foliar minucioso donde se realicen observaciones y comparaciones entre las manchas en las hojas y la literatura al respecto. También sería pertinente realizar estudios foliares microscópicos.

Realizar medidas de la edad de los árboles permitiría hacer inferencias más precisas acerca del estado de salud de los árboles, ya que en el presente trabajo esta medición no fue llevada a cabo, lo que dificultó analizar el efecto de las concentraciones de nutrimentos en el crecimiento. También realizar un estudio minucioso acerca de las características que definen un árbol como saludable sería de gran ayuda para determinar el estado de salud de los ahuejotes.

11. Anexo

La Tabla 16 nos muestra las etiquetas, el número de cada árbol por canal, la ubicación y el tamaño de los canales.

Tabla 16. Etiquetas de las muestras foliares y su ubicación en los canales de la chinampa tipo.

Etiqueta	Árbol	Canal
A1C1	1	1, Principal, tamaño grande
A2C1	2	1, Principal, tamaño grande
A1C2	1	2, Lateral A, tamaño grande
A2C2	2	2, Lateral A, tamaño grande
A3C2	3	2, Lateral A, tamaño grande
A4C2	4	2, Lateral A, tamaño grande
A5C2	5	2, Lateral A, tamaño grande
A1C3	1	3, Posterior, tamaño pequeño
A2C3	2	3, Posterior, tamaño pequeño
A3C3	3	3, Posterior, tamaño pequeño
A4C3	4	3, Posterior, tamaño pequeño
A5C3	5	3, Posterior, tamaño pequeño
A6C3	6	3, Posterior, tamaño pequeño
A1C4	1	4, Lateral B, tamaño pequeño
A2C4	2	4, Lateral B, tamaño pequeño
	Trampa 1ª serie de muestreos	
T1-C2	1	2, Lateral A, tamaño grande
T2-C2	2	2, Lateral A, tamaño grande
T3-C3	3	3, Posterior, tamaño pequeño
T4-C3	4	3, Posterior, tamaño pequeño
	Trampa 2ª serie de muestreos	
T1C1	1	1, Principal, tamaño grande
T2C2	2	2, Lateral A, tamaño grande
T3C2	3	2, Lateral A, tamaño grande
T4C2	4	2, Lateral A, tamaño grande

La posición geográfica, la altura del sitio donde se encuentra el árbol, la altura del árbol, la circunferencia de su tronco y su diámetro a la altura del pecho se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Posición, altura de la ubicación del árbol, altura del árbol, diámetro a la altura del pecho y circunferencia del tronco.

	Posición X	Posición Y	Altura	Altura árbol (m)	DAP (cm)	Circunferencia
A1C1	489830	2131192	2240	4.6	5.634	17.7
A2C1	489830	2131200	2244	4.75	8.1487	25.6
A1C2	489793	2131197	2241	5.14		x
A2C2	489797	2131208	2240	10.39	27.3745	86
A3C2	489800	2131210	2234	6.52	0.9549	30
A4C2	489822	2131195	2254	7.39	9.8675	31
A5C2	489822	2131191	2250	0.63		x
A1C3	489794	2131226	2234	8.19	13.6872	43
A2C3	489793	2131224	2234	2.04		x
A3C3	489783	2131213	2239	1.31		x
A4C3	489784	2131211	2238	6.79	16.552	52
A5C3	489779	2131211	2250	2.92	2.8647	9
A6C3	489782	2131201	2255	5.1432	14.865	46.7
A1C4	489827	2131216	2237	7.27	17.8253	56
A2C4	489810	2131216	2233	7.01	6.8436	21.5

Tabla 18. Observaciones realizadas a los árboles.

	Observaciones
A1C1	2 nidos <i>M. incurvum</i> , hojas defoliadas, mayoría de hojas nuevas o claras 3 ramas principales
A2C1	6 nidos <i>M. incurvum</i> 2 ramas principales* hojas mas verdes y de tamaño mayor.
A1C2	el tronco central está cortado 12 ramas, 3 nidos de <i>M. incurvum</i> a
A2C2	6 ramas, 6 nidos <i>M. incurvum</i>
A3C2	manchas claras y oscuras, presencia de caracoles, 1 rama principal y 4 secundarias, mas de 4 nidos de <i>M. incurvum</i>
A4C2	1 rama principal 6 ramificaciones,
A5C2	3 ramas
A1C3	3 ramas, 2 nidos <i>M. incurvum</i>
A2C3	tronco principal cortado, 1 nido de <i>M. incurvum</i>
A3C3	muy joven y bajo, no llega al pecho, 2 ramas principales
A4C3	4 nidos <i>M. incurvum</i> , 1 tronco principal y 6 ramas, muy maltratado por defoliación y ácaros
A5C3	hojas con puntos blancos, 5 ramas, caracoles
A6C3	3 nidos <i>M. incurvum</i> , el único con muérdago
A1C4	más de 8 nidos de garrapatas, 1 rama principal
A2C4	pocas hojas, 3 nidos de <i>M. incurvum</i> , mas de 30 nidos de garrapatas, 1 rama principal

Tabla 19. Concentración de macronutrientes en las muestras foliares

Árbol	%N total	%C total	P %	K %	S %	Ca %	Mg %
A1C1	2.42	45.81	0.30	1.50	0.19	1.59	0.65
A2C1	2.54	48.61	0.25	0.97	0.14	1.27	0.43
A1C2	2.47	48.12	0.18	0.91	0.18	1.14	0.54
A2C2	3.32	48.46	0.33	0.93	0.22	1.17	0.45
A3C2	2.87	47.59	0.20	1.18	0.21	1.12	0.56
A4C2	2.78	47.93	0.23	1.28	0.17	0.90	0.42
A5C2	2.53	46.3	0.26	1.22	0.20	1.29	0.51
A1C3	2.87	48.32	0.21	1.17	0.21	1.07	0.49
A2C3	3.21	48.23	0.27	1.14	0.21	1.10	0.50
A3C3	3.02	47.93	0.22	0.86	0.20	1.06	0.60
A4C3	2.79	47.86	0.22	1.17	0.22	1.22	0.54
A5C3	3.35	48.27	0.22	1.01	0.22	0.95	0.41
A6C3	3.16	48.49	0.31	1.23	0.18	0.93	0.43
A1C4	2.74	47.04	0.19	1.16	0.18	1.15	0.66
A2C4	3.63	48.62	0.39	1.39	0.23	0.63	0.37

Tabla 20. Concentración de micronutrientes en muestras foliares.

Árbol	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Mo mg/kg
A1C1	5.6	78.0	150.3	88.8	2.0
A2C1	4.0	71.9	232.4	78.6	1.9
A1C2	4.3	105.7	54.8	54.9	1.9
A2C2	4.5	80.9	110.0	49.8	2.1
A3C1	3.7	102.7	166.9	38.2	2.0
A4C2	4.0	85.8	122.3	49.2	1.6
A5C2	5.7	71.1	147.5	94.9	2.1
A1C3	4.5	89.4	56.2	39.0	1.8
A2C3	4.4	122.1	127.5	33.4	2.1
A3C3	2.6	93.4	97.4	44.2	2.4
A4C3	5.1	107.8	106.7	34.9	2.1
A5C3	4.2	100.2	128.6	44.8	2.0
A6C3	5.9	72.3	63.4	74.5	2.0
A1C4	3.3	76.4	62.1	31.1	2.1
A2C4	4.8	70.9	47.7	28.9	1.9

Tabla 21. Concentración de elementos contaminantes en las muestras foliares.

Árbol	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Li mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Na mg/kg
A1C1	0.5	0.7	0.8	2.8	0.4	0.3	229.72
A2C1	0.5	0.4	0.9	1.1	0.5	0.1	141.83
A1C2	0.5	0.7	0.7	6.0	0.6	0.2	301.64
A2C2	0.6	2.3	0.9	2.9	1.0		87.23
A3C2	0.4	0.3	0.9	6.4	3.1	1.2	300.31
A4C2	0.4	0.7	0.7	2.4	0.4	0.4	109.87
A5C2	0.5	0.4	0.8	4.5	0.4	0.2	188.44
A1C3	0.5	0.8	0.8	4.2	0.6	0.2	179.12
A2C3	0.5	1.3	0.9	2.9	1.0	0.6	103.21
A3C3	0.5	0.5	0.8	10.8	0.2	1.1	272.34
A4C3	0.4	1.0	0.8	2.0	0.9	0.2	208.42
A5C3	0.5	0.8	0.8	2.0	0.6	0.5	124.52
A6C3	0.4	0.8	0.6	2.9	1.1	0.4	
A1C4	0.5	0.6	0.8	7.0	0.4	1.2	231.06
A2C4	0.4	1.0	0.5	3.0	1.3	0.2	220.40

Tabla 22. Concentraciones obtenidas por duplicado sin corrección para macronutrientes en las muestras foliares.

	P mg/kg	K mg/kg	S mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg
A1C1	3015.35	25841.37	3403.48	10089.81	3797.89
A1C1'	2977.81	26102.21	3257.86	10101.80	3721.62
A2C1	2527.22	16703.40	2441.02	7977.21	2496.66
A2C1'	2546.84	16722.36	2423.12	8084.36	2506.79
A1C2	1808.22	15631.29	2996.82	7103.54	3114.67
A1C2'	1846.49	15798.44	3061.74	7300.60	3177.69
A2C2	3448.08	15374.04	4221.89	7532.42	2641.05
A2C2'	3238.27	16625.73	3392.55	7253.44	2595.01
A3C2	2033.79	20486.46	3697.73	7196.46	3212.16
A3C2'	2008.06	20462.84	3589.59	7073.52	3219.14
A4C2	2319.02	22214.68	2907.77	5721.61	2430.55
A4C2'	2323.95	22196.09	3016.44	5703.14	2419.29
A5C2	2586.72	20661.83	3306.59	8122.32	2916.22
A5C2'	2646.38	21444.66	3561.46	8290.89	2947.95
A1C3	2086.33	20055.23	3774.50	6767.77	2854.48
A1C3'	2073.50	20409.04	3416.24	6772.96	2853.19
A2C3	2604.22	18658.26	3428.89	6812.15	2817.82
A2C3'	2651.20	19630.66	3609.32	6980.60	2878.28
A3C3	2303.95	14887.11	3321.54	6706.77	3454.25
A3C3'	2196.34	15013.33	3411.90	6756.08	3465.03
A4C3	2206.62	20444.65	3660.53	7775.61	3099.86
A4C3'	2231.07	20160.50	3843.83	7762.52	3130.38
A5C3	1974.23	15334.52	3405.35	5537.42	2187.04
A5C3'	2388.30	19606.60	4126.40	6553.54	2579.08
A6C3	3012.85	20871.40	3020.64	5921.86	2468.35
A6C3'	3131.51	21475.14	3171.55	5842.43	2473.87
A1C4	1868.84	19845.88	2999.17	7189.10	3775.02
A1C4'	1938.62	20126.61	3293.27	7394.69	3839.61
A2C4	3956.96	23668.38	3786.11	3947.70	2105.01
A2C4'	3928.12	24248.87	3976.38	4037.50	2161.58

Tabla 23. Concentraciones obtenidas para micronutrientes por duplicado sin corrección en las muestras foliares.

	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Mo mg/kg
A1C1	4.67	79.00	124.70	85.21	1.90
A1C1'	4.69	77.11	120.85	90.15	2.17
A2C1	3.34	72.14	189.11	82.73	1.68
A2C1'	3.30	71.68	190.54	72.51	2.16
A1C2	3.56	106.40	44.65	52.98	2.05
A1C2'	3.69	105.02	44.84	55.76	1.83
A2C2	4.53	83.78	90.51	52.85	2.73
A2C2'	3.04	78.07	89.19	45.85	2.22
A3C2	3.02	101.76	137.27	36.61	1.95
A3C2'	3.20	103.82	135.36	39.36	2.04
A4C2	3.25	81.25	99.54	29.88	1.64
A4C2'	3.42	90.38	100.35	67.73	1.60
A5C2	4.70	71.01	119.32	93.38	2.02
A5C2'	4.80	71.30	121.60	94.01	2.13
A1C3	3.78	89.36	46.14	35.38	1.92
A1C3'	3.70	89.93	45.68	42.08	1.79
A2C3	3.71	111.35	99.95	29.74	1.97
A2C3'	3.68	122.11	104.13	33.22	2.13
A3C3	2.31	93.60	79.03	35.45	2.42
A3C3'	2.05	93.22	80.16	52.37	2.35
A4C3	4.18	107.28	87.47	29.63	2.02
A4C3'	4.41	108.33	86.84	39.84	2.18
A5C3	3.20	90.43	94.77	41.32	2.11
A5C3'	3.91	110.08	115.36	47.64	1.97
A6C3	4.82	71.82	51.93	48.45	1.84
A6C3'	5.02	72.83	51.73	98.87	2.11
A1C4	2.73	75.58	50.03	34.94	2.16
A1C4'	2.89	77.36	51.48	27.10	2.12
A2C4	4.62	71.22	39.99	40.72	1.93
A2C4'	3.50	70.72	38.01	17.01	1.91

Tabla 24. Concentraciones obtenidas por duplicado sin corrección para los elementos contaminantes en las muestras foliares.

	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Li mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg
A1C1	0.48	0.61	0.77	2.83	0.42	0.43
A1C1'	0.39	0.68	0.83	2.76	0.46	0.09
A2C1	0.40	0.43	0.93	1.15	0.61	0.15
A2C1'	0.45	0.40	0.93	1.14	0.43	
A1C2	0.40	0.67	0.68	5.96	0.52	0.39
A1C2'	0.40	0.66	0.70	5.95	0.83	0.10
A2C2	0.42	2.91	0.75	2.46	11.12	0.98
A2C2'	0.51	1.59	0.73	2.15	1.05	
A3C2	0.36	0.36	0.87	6.45	0.47	1.47
A3C2'	0.36	0.31	0.93	6.42	6.03	0.96
A4C2	0.33	0.65	0.70	2.40	0.44	0.47
A4C2'	0.39	0.70	0.67	2.43	0.34	0.30
A5C2	0.42	0.42	0.82	4.45	0.26	0.32
A5C2'	0.40	0.42	0.76	4.52	0.62	0.16
A1C3	0.41	0.72	0.78	4.24	0.42	0.37
A1C3'	0.42	0.74	0.86	4.23	0.90	0.11
A2C3	0.38	1.28	0.90	2.77	0.68	0.21
A2C3'	0.37	1.22	0.90	2.91	1.02	0.60
A3C3	0.36	0.54	0.81	10.82	0.20	1.13
A3C3'	0.40	0.47	0.80	10.88	0.31	0.98
A4C3	0.32	0.98	0.71	1.99	1.11	
A4C3'	0.39	0.98	0.84	1.94	0.86	0.24
A5C3	0.41	0.72	0.68	1.76	0.65	0.29
A5C3'	0.37	0.77	0.93	2.16	0.53	0.66
A6C3	0.36	0.69	0.62	2.88	1.39	0.73
A6C3'	0.36	0.77	0.63	2.94	0.82	0.09
A1C4	0.39	0.57	0.77	6.96	0.39	0.90
A1C4'	0.38	0.55	0.79	7.06	0.39	1.42
A2C4	0.32	1.15	0.57	2.98	1.78	0.39
A2C4'	0.31	0.84	0.44	3.03	1.00	0.02

Tablas 25, 26 y 27. Límite de detección, límite de detección en mg/kg y % de recuperación para macronutrientes, micronutrientes y elementos contaminantes en las muestras foliares.

Tabla 25. Límite de detección macronutrientes

	P	K	S	Ca	Mg
Límite de detección	0.54	0.71	8.22	0.17	0.05
L.D. mg/kg	2.60	111.01	61.11	6.07	1.76
%recuperación:	100.00	172.77	170.59	63.44	57.90

Tabla 26. Límite de detección micronutrientes

	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
Límite de detección	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01
L.D. mg/kg	0.35	0.72	0.00	5.99	0.29
%recuperación:	83.31	100.00	81.69	98.25	100.00

Tabla 27. Límite de detección de elementos nocivos

	Cd	Co	Cr	Li	Ni	Pb
Límite de detección	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
L.D. mg/kg	0.10	0.04	0.09	0.00	0.07	0.03
%recuperación:	78.27	95.65	100.00	100.00	104.45	98.10

Tabla 28. Indicadores de crecimiento y porcentaje de humedad en las muestras foliares.

Árbol	Altura árbol (mts.)	DAP (cm.)	Área foliar poligonal cms2.	% de Humedad
A1C1	4.6	5.63	22.39	35.84
A2C1	4.75	8.15	15.67	32.03
A1C2	5.14		18.18	33.11
A2C2	10.39	27.37	12.14	34.13
A3C2	6.52	0.95	10.74	36.48
A4C2	7.39	9.87	18.36	33.74
A5C2	0.63		16	34.07
A1C3	8.19	13.69	17.5	
A2C3	2.04			33.28
A3C3	1.31		20.2	32.16
A4C3	6.79	16.55	15.22	33.89
A5C3	2.92	2.86	11.64	
A6C3	5.14	14.87		26.53
A1C4	7.27	17.83	19.18	33.95
A2C4	7.01	6.84	14.36	34.36

Tabla 28. Afectaciones observadas en los árboles.

	<i>A. tetanothrix</i> estadio 1	<i>M. incurvum</i> larvas	<i>A. tetanothrix</i> estadio 2	Afectación herbivoría	Hojas manchadas	<i>M. incurvum</i> huevos
A1C1	0	2	0	3	2	0
A2C1	3	5	0	4	5	5
A1C2	0	3	2	1	1	3
A2C2	0	5	2	2	1	2
A3C2	1	5	1	2	3	1
A4C2	1	1	2	2	1	2
A5C2	0	0	1	0	1	0
A1C3	2	2	3	0	1	0
A2C3	0	1	1	1	0	1
A3C3	0	0	1	1	0	0
A4C3	1	4	4	5	1	2
A5C3	0	1	3	3	1	2
A6C3	0	3	0	2	1	3
A1C4	1	0	0	0	1	1
A2C4	0	3	0	5	0	4

12. Referencias

- Adler A. 2007. Accumulation of Elements in Salix and Other Species Used in Vegetation Filters with Focus on Wood Fuel Quality. Tesis doctoral, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Ahsaf-Aziz M. 2007. Role of microorganisms in litter decomposition of *Salix spp.* Tesis para el grado de Maestro en Ciencias Ambientales. Facultad de estudios de postgrado, Universidad de Ciencias Agrícolas y Tecnología de Kashmir.
- Alvarado D., Saavedra L., El género Cladocolea (Loranthaceae) en México: muérdago verdadero o injerto, Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente Vol. 11 núm. 001, 2005.
- Arcos R., González J.C., Ramos L., Rosas F. Evaluación del componente orgánico como un factor indicativo del estado trófico del lago de Xochimilco. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, 2004.
- Bergman, W. Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Visuelle und analytische diagnose. 2ª Edición. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena Alemania. 1986.
- Blumwald E. Aharon G., Apse M. Sodium transport in plant cells. Biochimica et Biophysica Acta 1465 (2000) 140:151.
- Boa E. Guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles, reconocimiento e interpretación de síntomas y daños., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), Edición en español, San Salvador, El salvador, 2008.
- Brown H. Welch R. Cary E. Níquel: un micronutriente esencial para las plantas superiores. Plant Physiology 1987. Vol. 85. Pág. 801-803.
- Buenfil J. Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. Volumen 1. Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. México. 2009.
- Carou N. De Loof E. Casaubón E. Gonzales A. Dalloroso M. Composición mineral de Álamos y Sauces de interés nutricional para el Ganado en sistemas silvopastoriles del delta del Paraná, República Argentina, Universidad Nacional Lomas de Zamora, Facultad de Ciencias Agrarias, Buenos Aires Argentina, 2007.
- Carou N. De Loof E. Casaubón E. Gonzales A. Dalloroso M. Determinación del contenido en microminerales de interés nutricional en hojas de álamos (*Populus spp.*) y sauces (*Salix spp.*) en un sistema silvopastoril endicado del Delta del Río Paraná, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora Buenos Aires Argentina.

- Castellanos J.Z. Uvalle Bueno J.X. Aguilar-Santelises A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas, 2ª edición, Colección INCAPA, Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, 226 págs.
- CONABIO 2011 Revisión de:
 - CONABIO 1: *Nova Genera et Species Plantarum* 2: 20, 1817
 - CONABIO 2: Anisko, T., M. Lindstrom O. and G. Hoogenboom. 1994.
 - CONABIO 3: Avitia García, E. y A. Castillo González. 1991.
 - CONABIO 4: Baird, W.V., R.E. Ballard, S. Rajapakse and A.G. Abbott. 1996.
 - CONABIO 5: Corona Nava, E.V., L. Rosas P. A. Chimal H. y A. Hernández G. 1994.
 - CONABIO 6: Dunegan, John C. 1954.
 - CONABIO 7: Estrada Martínez y J.R. Aguirre Rivera. 1995.
 - CONABIO 8: González Chávez y R. Ferrera Cerrato. 1995.
 - CONABIO 9: Gutiérrez Baez, Celso. 1995.
 - CONABIO 10: Malpica Rodríguez, Manuel Gregorio. 1985.
 - CONABIO 11: Martínez González, Lorena y Alicia Chacalo Hilu. 1994.
 - CONABIO 12: Martínez, Maximino. 1979.
 - CONABIO 13: Méndez, V.M.E. y G. Almaguer Vargas. 1988.
 - CONABIO 14: Miranda, Faustino. 1976.
 - CONABIO 15: Muratella Lua, María Elena. 1992.
 - CONABIO 16: Nolazco Guizar, Enrique y Alejandro Sánchez Velez. 1991.
 - CONABIO 17: Samuelson, L.J. 1994.
 - CONABIO 18: Vargas, M., J.J., Z. Chávez, C. Serrato C., L.M. Y M.W. Borys. 1991.
- Dahmani-Muller H. Van Oort F. Gelie B. Balabane M. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter, ELSEVIER, Environmental Pollution 109 (2000) 231:238
- Epstein E. Bloom A. Mineral Nutrition of Higher Plants: Principles and Perspectives. 2ª Edición. Sinauer Associates Publishers. Estados Unidos de América. 2005.
- Espinosa A.C. Mazari M. Atlas de Culturas del Agua en América Latina y el Caribe, Pueblos Indígenas de México y Agua: Xochimilcas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2007.
- Estrada-Venegas E. Equihua-Martínez A. Acuña-Soto J. Chaires Grijalva P. Diversidad de organismos asociados al ahuejote *Salix bonplandina* en la zona chinamera de Xochimilco D.F. Memoria del XV Simposio nacional de Parasitología forestal. Primera edición. 2011. 87-93.
- Fernández L.C. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados, SEMARNAT, 2006, México D.F.
- Flores Ramírez G. A. 2009. Análisis Preliminar de algunos factores fisicoquímicos indicadores de la calidad del agua en Xochimilco. Tesis para

obtener el título de bióloga. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.

- Fonseca R.M. Salicaceae. Flora de Guerrero No. 4, Las prensas de Ciencias, 1997.
- García-Mina J.M. Relaciones entre nutrición mineral, bioestimulación, y mecanismos de defensa de las plantas: plantas cítricas, un ejemplo. *Fertilitas Agrorum* Vol. 1. No. 1. 2006. Pp: 83-88.
- Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Delegación Xochimilco, PLANES DE ACCIONES HIDRÁULICAS DEL AÑO 2001 – 2005.
- Gonzales A. Del Amo S. Agricultura y Sociedad en México: Diversidad, Enfoques, Estudios de caso. 1999. Plaza y Valdez Editores. México.
- González-Díaz G., García-Velasco R., Camacho-Cerón G., Nieto-Ángel D., Cancrosis en Ramas de *Salix bonplandiana* Kunth causada por *Alternaria tenuissima* (Kunz ex pers.) Wiltshire. *Agrociencia* 45:75-86. 2001.
- Gueye Sandoval K. Almacén y Dinámica del Carbono en Suelos de Ladera en un Gradiente Microclimático en Tuxpan, Michoacán. Tesis para obtener el grado de Bióloga. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 2008.
- Guiamet J. La senescencia foliar: incógnitas del desmantelamiento celular, Instituto de Fisiología Vegetal, Universidad Nacional de La Plata, 2005.
- Hasegawa P. Bressan R. Zhu J-K. Bohnert H. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review on Plant Physiology, Plant Molecular Biology*, 2000, 51:463–99.
- Informe final del Plan de Manejo del Área Natural Protegida de Xochimilco, INECOL-SMA-CORENA, Xalapa Veracruz, 2004.
- Jones J.B. Plant Nutrition Manual, CRC Press, Estados Unidos de América, 1998.
- Kabata-Pendias A. Pendias H. Trace element in soils and plants, 3ª edición, CRC Press, Boca Ratón Florida E.U.A., 2001.
- Keifer H. Baker E. Kono T. Delfinado M. Styer W. An illustrated guide to plant abnormalities caused by Eriophyd mites in North America, United States Department of Agriculture, U.S.A., 1982.
- Marschner H. Mineral nutrition of Higher Plants. Academic Press. California EUA. 1990.
- Maathius F. Amtmann A. K^+ Nutrition and Na^+ Toxicity: The Basis of Cellular K^+/Na^+ Ratios. *Annals of Botany* 84: 123±133, 1999.
- Naiman R. Décamps H. Mclain M. Riparia. Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities. ELSEVIER Academic Press. China. 2005.
- Nuñez P. Ludlow-Wiechers B. Salicaceae, Flora Palinológica de Guerrero. No. 6, Las prensas de Ciencias, 1998.

- Nylund E. Cadmium uptake in willow (*Salix viminalis* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to plant growth and Cd concentration in soil solution. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Soil Sciences, Division of Environmental Physics, Tesis de Maestría, 2003.
- Ortiz Ramos J. B. Ruvalcaba García A. (2005). Evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco México. Tesis para obtener el título de biólogo. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Pagel H., J. Enzmann H. Mutscher (1982): Pflanzennährstoffe in tropischen Böden. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlín, República Democrática Alemana, 272 págs.
- Palit S. Sharma A. Effects of Cobalt on Plants. The Botanical Review. Vol. 60. No.2 Abril-Junio 1994. 149:181.
- Palma, R. Defrieri, R. Tortarolo, M. Prause, J. Gallardo, J. Seasonal Changes of Bioelements in the Litter and their Potencial Return to Green Leaves in Four Species of the Argentine Subtropical Forest. Anals of Botany 85: 182-186. 2000
- Perez-Sanz A. Cuypers A. Vangronsveld J. Cadmium accumulation and tolerance of two *Salix* genotypes hydroponically grown in presence of Cadmium. Journal of plant nutrition. 28:1-19,2005.
- Piung O. Hye R. Hong G. Molecular genetics of leaf senescence in *Arabidopsis*. Trends in plant science. Vol. 8, No. 6, Junio del 2003.
- Poorter H. Jong R. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. Utrecht University, 1999.
- Poi de Neiff A. Neiff J. Casco S. Leaf litter decomposition in three wetland types of the Paraná River floodplain. Wetlands, Vol. 26, No.2, Junio 2006, pp 558-566.
- Poschenreider C. Tolrá R. Barceló J. ¿Pueden los metales defender a las plantas del estrés biótico? ELSEVIER. TRENDS in Plant Science. Vol. 11. No. 6. Junio 2006.
- Programa Delegacional del Desarrollo Urbano Xochimilco. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento territorial del Distrito Federal. 2007.
- Quintero R., Villa A., Evaluación dasométrica, fenológica y sanitaria del ahuejote, *Salix bonpandiana* HBK, en el área chinampera de Xochimilco, D.F. Revista Ciencia Forestal en México, Vol. 16 Núm. 70 Julio-diciembre de 1991.
- Ramos-Bello R. Cajuste L. Flores-Román D. García-Calderón N. Metales pesados, sales y sodio en suelo de chinampa en México. Agrociencia, julio-agosto, año/vol. 35, No. 004: 385-395. 2001
- RAMSAR, Wetland Ecosystem Services- An Introduction, 2012.
- Rodríguez L., Guía de árboles y arbustos de la zona Metropolitana de la Ciudad de México.UAM, Gobierno del Distrito Federal, México Distrito Federal, 2003.
- Sharma P. Shanker Dubey R. Toxicidad de Pb en Plantas. Braz. Journal of Plant Physiology. 2005. Vol. 17. No. 1. Pp: 35-52.

- Siebe, Ch., R. Jahn & K. Stahr (1996): Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Serie de Publicaciones Especiales de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo No. 4, 57 págs.
- Soman S. Beyeler S. Kraft S. Thomas D. Winstanley D. Ecosystem Services from Riparian Areas, A Brief Summary of the Literature, Environmental Resources and Policy Program Southern Illinois University Carbondale, 2007.
- Taiz L. Zeiger E. Plant Physiology, Sinauer Associates, 3ª Edición , 2002, E.UA.
- Tavera R. Diez B. 2009. Multifaceted approach for the analysis of the phototrophic microbial community in a freshwater recreational area of Xochimilco, México. *Hydrobiologia* 636:353–368.
- UNAAMB. Datos internos del “Taller Diagnóstico Ambiental de la Zona Chinampera de Xochimilco”. 2011.
- Vandecasteele B. Quataert P. De Vos B. Tack F. Muys B. 2004. Foliar concentration of volunteer willows growing on polluted sediment-derived sites versus sites with baseline contamination levels.
- Vandecasteele B. Meers E. Vervaeke P. De Vos B. Quataert P. Tack F. 2004. Growth and trace metal accumulation of two *Salix* clones on sediment-derived soils with increasing contamination levels. ELSEVIER. Accepted 30 September 2004.
- Vassilev A. Perez-Sanz A. Cuypers A. Vangronsveld J. Tolerance of two hydroponically grown *Salix* genotypes to excess of Zinc. *Journal of Plant Nutrition*, 30: 1471–1482, 2007.
- Villarauz Camargo K. Caracterización de la vegetación riparia en un gradiente altitudinal y propuesta para su restauración en la microcuenca San Idelfonso, Queretaro. Tesis para obtener el título de Maestro en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Queretaro. México. 2009.
- Von Bertrab A. Zambrano L. Participatory Monitoring and Evaluation of a México City Wetland Restoration Effort. *Ecological Restoration* 28:3. September 2010.
- Wani B. Khan A. Bodha R. *Salix*: A viable option for phytoremediation. *African Journal of Environmental Science and Technology* Vol. 5(8). pp. 567-571, Agosto, 2011.
- Watts D. Interrelaciones Minerales-Vitaminas-Endocrinas. *Journal of Orthomolecular Medicine*. Vol. 5, No. 1, 1990.
- Zar J.H. Biostatistical Analysis. Prentice Hall. 4ª Edición. Estados Unidos de Norteamérica.1999.