



Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

FERTILIZACIÓN Y CORTES EN LA PRODUCCIÓN DE VARA
PERLILLA (*Symphoricarpos microphyllus* H. B. K.)

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

CONCEPCIÓN MENDOZA BAUTISTA

Febrero, 2012

Chapingo, Estado de México



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

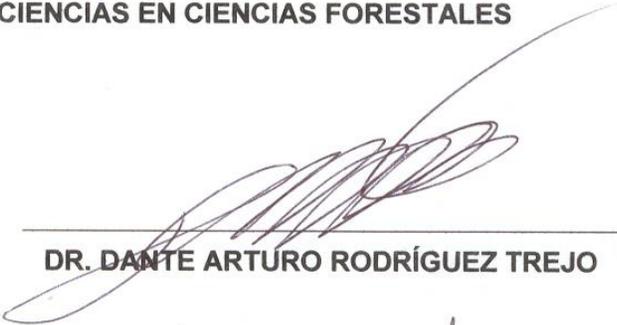


**Fertilización y cortes en la producción de vara perilla (*Symphoricarpos
microphyllus* H. B. K.)**

Tesis realizada por la Ing. Concepción Mendoza Bautista bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

CODIRECTOR:



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

CODIRECTOR:



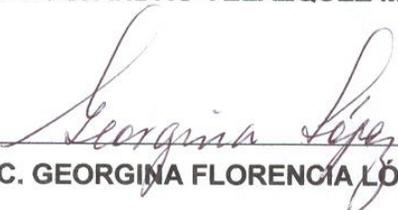
DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR:



DR. ALEJANDRO VELÁZQUEZ MARTÍNEZ

ASESOR:



M. C. GEORGINA FLORENCIA LÓPEZ RÍOS

**Fertilización y cortes en la producción de vara perilla (*Symphoricarpos
microphyllus* H. B. K.)**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Ing. Concepción
Mendoza Bautista** autora de la presente tesis de Maestría en Ciencias en
Ciencias Forestales estuvo constituido por:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

CODIRECTOR:



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

CODIRECTOR:



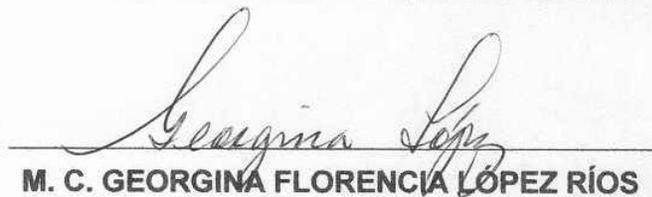
DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR:



DR. ALEJANDRO VELÁZQUEZ MARTÍNEZ

ASESOR:



M. C. GEORGINA FLORENCIA LÓPEZ RÍOS

DEDICATORIAS

A mi familia:

A mis padres, quienes con sus actos y actitudes me han motivado a cumplir cada una de las metas que me he establecido.

A mi esposo, quien con su paciencia y amor me acompañó en cada momento de esta importante etapa en mi vida.

A mis hijos Hugo Alberto y Evangelina, quienes son el más hermoso regalo que esta vida me ha dado.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por permitirme cursar esta Maestría en Ciencias en su programa forestal.

Al Posgrado de la División de Ciencias Forestales, por todo el apoyo brindado durante mi estancia de maestría y por el apoyo a la presente investigación.

A mi comité de tesis, Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, Dr. Miguel Ángel López López, Dr. Alejandro Velázquez Martínez y M. C. Georgina Florencia López Ríos.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero, quien dedicó parte de su tiempo para apoyarme en el análisis del presente trabajo.

A todos quienes participaron en algún momento del desarrollo de esta investigación, y sin quienes este trabajo no hubiese sido posible.

Se agradece especialmente el financiamiento otorgado por la Universidad Autónoma Chapingo a través del proyecto de investigación 11790503 y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Datos biográficos

Concepción Mendoza Bautista nació en Santa Rosa de Lima, Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, Oaxaca, el 29 de Noviembre de 1985. Estudio en la “Escuela Primaria Margarita Maza de Juárez” y en la “Escuela Secundaria Federal No. 103” en su lugar natal. Cursó la Preparatoria Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo. Realizó sus estudios de ingeniería en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. En 2008 egresó como Ingeniero en Restauración Forestal.

Trabajó como coordinador de brigadas de campo en el “Diagnóstico Nacional de los Viveros Forestales y de la Condición Fitosanitaria y Calidad de Planta” y colaboró en “La revisión del Programa Nacional Forestal 2001-2006, Programa Institucional 2007 – 2012 y del Plan Estratégico Forestal 2025”, fue encuestador en el proyecto “Desarrollo de técnicas silvícolas para la conservación y aprovechamiento integral de *Juniperus* en los estados de Guerrero, Puebla y Oaxaca”; trabajó en la Evaluación del programa “S045 Plantaciones Forestales Comerciales”

Ha publicado con otros autores, la nota técnica “Restoring the vara perlilla in La Mesa, México”, “Radiación y calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de vara perlilla”, es coautor de la ponencia “Microsites and seedling quality in restoration”

Realizó sus estudios de maestría en el programa de posgrado de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo en el periodo 2009-2011.

RESUMEN

Fertilización y cortes en la producción de vara perilla (*Symphoricarpos microphyllus* H. B. K.)

Concepción Mendoza Bautista, Maestría en Ciencias Forestales, División de Ciencias Forestales.

Bajo la dirección del Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo.

La vara perilla es utilizada para elaborar escobas rústicas y artesanías. Se aprovecha en poblaciones naturales y en plantaciones. Con el objetivo de determinar la dosis de fertilización y altura de corte que produzcan el mayor rendimiento, se desarrolló un experimento en una plantación de tres años. Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar, con seis tratamientos derivados de la combinación de dos alturas de corte y tres fertilizaciones (testigo, Mn-Zn y NPK+Mn-Zn). Se midieron variables morfológicas, antes y seis meses después de fertilizar. El diagnóstico nutrimental se hizo mediante la metodología Tendencias de Concentración y se aplicaron los nutrimentos que resultaron limitativos. La biomasa y la longitud de rebrotes mostraron efecto de la fertilización, mientras que el corte afectó el diámetro de arbusto y diámetro y longitud de rebrotes. El corte a 6 cm promovió mayores longitud y diámetro de rebrotes y diámetro de arbusto.

Palabras clave: arbusto, crecimiento, nutrición, rebrote, restauración

ABSTRACT

Fertilization and clipping in the production of “vara perilla”

(Symphoricarpos microphyllus H. B. K.)

Concepción Mendoza Bautista, Maestría en Ciencias Forestales, División de Ciencias Forestales.

Directed by Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo.

“Vara perilla” is employed to make rustic brooms and crafts, and is utilized from natural populations and from plantations. The objective of this work was to determine the fertilization rates and the clipping height that produced the highest yield. An experiment in a 3-year-old plantation was conducted. A randomized complete block experimental design consisting of six treatments was employed. Such treatments were obtained from the combination of two clipping heights and three fertilization levels (untreated control, Mn-Zn and NPK+Mn-Zn). Several morphological variables were measured before and after the fertilization. The nutrimental diagnosis was performed with the concentration tendencies methodology, and were applied the nutrients that resulted limitants. The biomass and resprout length showed fertilization effect, while clipping affected the shrub diameter as well as diameter and length of resprouts. The clipping to 6 cm promoted the highest values of resprout length, resprout diameter and shrub diameter.

Key words: growth, nutrition, resprout, restoration, shrub

Tabla de contenido

	Página
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
Tabla de contenido	ix
Lista de cuadros	x
Lista de Figuras	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO.....	4
Vara perlilla	4
Nutrición y cortes.....	5
Deficiencias de nutrimentos en especies forestales.....	7
Métodos de diagnóstico de deficiencias nutrimentales	9
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Materiales.....	18
Métodos.....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
Nutrimentos limitativos del crecimiento en vara perlilla	29
Variables de crecimiento	34
Verificación de corrección de deficiencias.....	41
Análisis por fertilización	41
Análisis por corte	50
Análisis de la interacción entre fertilización y corte.....	56
Efecto de la fertilización en la concentración foliar de los nutrimentos aplicados	69
CONCLUSIONES.....	73
LITERATURA CITADA.....	74
APÉNDICE	80
Apéndice 1. Formato de toma de datos de campo.....	80

Lista de cuadros

	Página
Cuadro 1. Métodos analíticos comúnmente usados para la determinación de nutrimentos en tejidos vegetales.	10
Cuadro 2. Interpretación de los vectores según la tendencia encontrada.....	17
Cuadro 3. Métodos utilizados por el Laboratorio Central Universitario para determinar la concentración nutrimental.	21
Cuadro 4. Cantidad de material fertilizante aplicado por tratamiento en cada parcela de 12 m ²	24
Cuadro 5. Material fertilizante aplicado por nutrimento.	24
Cuadro 6. Cantidad equivalente de material fertilizante.	24
Cuadro 7. Métodos utilizados por el laboratorio del Colegio de Postgraduados para determinar la concentración nutrimental.	27
Cuadro 8. Criterios de clasificación de rebrotes en cada uso.	27
Cuadro 9. Concentración foliar promedio, de cada nutrimento, encontrada en los arbustos de vara perilla en marzo de 2010.	29
Cuadro 10. Número promedio de rebrotes de vara perilla encontrados en 2009, antes de aplicar los tratamientos de fertilización y cortes.	35
Cuadro 11. Respuesta de las variables morfológicas a los tratamientos de fertilización y corte.....	35
Cuadro 12. Incremento relativo de los arbustos, en las variables con diferencia significativas por fertilización.	37
Cuadro 13. Número de rebrotes promedio para cada uso.	39
Cuadro 14. Contenido foliar promedio de cada nutrimento por tratamiento de fertilización.....	41
Cuadro 15. Concentración foliar promedio de cada nutrimento por tratamiento de fertilización.....	42
Cuadro 16. Concentración foliar promedio de cada nutrimento por corte.....	51
Cuadro 17. Contenido foliar promedio de cada nutrimento por corte.....	51
Cuadro 18. Concentración foliar promedio de cada nutrimento.	56
Cuadro 19. Contenido foliar promedio de cada nutrimento.	57
Cuadro 20. Contenido foliar promedio de 150 hojas de vara perilla.....	69

Lista de Figuras

	Página
Figura 1. Curva de concentración nutrimental de Macy (Modificado de Landis <i>et al.</i> , 1989).....	11
Figura 2. Escenario donde un nutrimento es deficiente (dilución).....	14
Figura 3. Nutrimento con disponibilidad suficiente	14
Figura 4. Nutrimento que se ha concentrado.	15
Figura 5. Gráfico para el diagnóstico de limitación de nutrimentos.	17
Figura 6. A y B, Arbustos de vara perilla en la plantación estudiada.....	18
Figura 7. Marcado de arbustos A) fertilizados con micronutrientes; B) fertilizados con micro y macronutrientes.	20
Figura 8. Cortes aplicados: A) a 6 cm del suelo, B) a 12 cm del suelo.	20
Figura 9. Aplicación de la fertilización. A) Fertilización NPK + Mn-Zn; B) Fertilización Mn-Zn.	25
Figura 10. Nutrimento diluido: Zinc	30
Figura 11. Nutrimento diluido: Manganeso	30
Figura 12. Nutrimento diluido: Potasio.	30
Figura 13. Nutrimento diluido: Calcio	31
Figura 14. Nutrimento diluido: Nitrógeno.	31
Figura 15. Nutrimento suficiente: Fósforo	31
Figura 16. Nutrimento concentrado: Hierro.....	32
Figura 17. Nutrimento concentrado: Cobre.....	32
Figura 18. Nutrimento concentrado: Magnesio.....	32
Figura 19. Efecto de la interacción entre la fertilización y el corte en el número de rebrotes para escobas.....	40
Figura 20. Nitrógeno concentrado en tratamiento testigo.	44
Figura 21. Fósforo concentrado en tratamiento testigo.	45
Figura 22. Potasio concentrado en tratamiento testigo.....	45
Figura 23. Manganeso concentrado en tratamiento testigo.....	45
Figura 24. Zinc concentrado en tratamiento testigo.....	46

Figura 25.	Nitrógeno diluido en fertilización con micronutrientos.....	46
Figura 26.	Fósforo diluido en fertilización con micronutrientos.....	46
Figura 27.	Manganeso diluido en fertilización con micronutrientos.	47
Figura 28.	Zinc suficiente en fertilización con micronutrientos.....	47
Figura 29.	Potasio concentrado en fertilización con micronutrientos.....	47
Figura 30.	Nitrógeno diluido en fertilización con NPK+Mn-Zn.	48
Figura 31.	Potasio diluido en fertilización con NPK+Mn-Zn.....	48
Figura 32.	Manganeso concentrado en fertilización con NPK+Mn-Zn.....	48
Figura 33.	Fósforo suficiente en fertilización con NPK+Mn-Zn.....	49
Figura 34.	Zinc concentrado en fertilización con NPK+Mn-Zn.....	49
Figura 35.	Nitrógeno diluido en arbustos con corte a 6 cm.....	52
Figura 36.	Manganeso suficiente en arbustos con corte a 6 cm.....	52
Figura 37.	Fósforo concentrado en arbustos con corte a 6 cm.....	52
Figura 38.	Potasio concentrado en arbustos con corte a 6 cm.....	53
Figura 39.	Zinc concentrado en arbustos con corte a 6 cm.....	53
Figura 40.	Nitrógeno diluido en arbustos con corte a 12 cm.....	53
Figura 41.	Fósforo diluido en arbustos con corte a 12 cm.....	54
Figura 42.	. Potasio diluido en arbustos con corte a 12 cm.....	54
Figura 43.	Manganeso concentrado en arbustos con corte a 12 cm.....	54
Figura 44.	Zinc concentrado en arbustos con corte a 12 cm.....	55
Figura 45.	Interacción entre la fertilización y el corte en el contenido foliar de manganeso.....	56
Figura 46.	Nitrógeno concentrado en testigo cortado a 6 cm.	58
Figura 47.	Fósforo concentrado en testigo cortado a 6 cm.....	58
Figura 48.	Potasio concentrado en testigo cortado a 6 cm.....	58
Figura 49.	Manganeso concentrado en testigo cortado a 6 cm.	59
Figura 50.	Zinc concentrado en testigo cortado a 6 cm.	59
Figura 51.	Nitrógeno diluido en testigo cortado a 12 cm.....	59
Figura 52.	Fósforo concentrado en testigo cortado a 12 cm.....	60
Figura 53.	Potasio concentrado en testigo cortado a 12 cm.....	60
Figura 54.	Manganeso concentrado en testigo cortado a 12 cm.	60
Figura 55.	Zinc concentrado en testigo cortado a 12 cm.	61
Figura 56.	Nitrógeno diluido en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.	61
Figura 57.	Manganeso diluido en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.	62
Figura 58.	Zinc diluido en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.	62

Figura 59.	Fósforo concentrado en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.	62
Figura 60.	Potasio concentrado en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.	63
Figura 61.	Nitrógeno diluido en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.	63
Figura 62.	Fósforo concentrado en fertilización con Mn-Zn y corte a 12 cm.	63
Figura 63.	Potasio diluido en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.	64
Figura 64.	. Manganeseo diluido en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.	64
Figura 65.	Zinc concentrado en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.	64
Figura 66.	Nitrógeno diluido en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.	65
Figura 67.	Fósforo concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.	65
Figura 68.	Potasio concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.	66
Figura 69.	Manganeseo diluido, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.	66
Figura 70.	Zinc concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.	66
Figura 71.	Nitrógeno diluido, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm.	67
Figura 72.	Fósforo diluido en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm.	67
Figura 73.	Potasio diluido en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm.	67
Figura 74.	Mn concentrado en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm.	68
Figura 75.	Zinc concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm.	68
Figura 76.	Efecto de la interacción entre los factores de tratamiento sobre el contenido de Fósforo.	70
Figura 77.	Concentración y contenido de los nutrientes en la fertilización Mn- Zn; corte a 6 cm (rojo), corte a (azul).	71
Figura 78.	Concentración y contenido de los nutrientes en la fertilización con NPK+Mn-Zn; corte a 6 cm (rojo) y corte a 12 cm (azul).	71

INTRODUCCIÓN

En las especies vegetales la adecuada fertilización corrige las deficiencias nutrimentales, originando un incremento en su crecimiento y rendimiento. La respuesta de los cultivos a la fertilización ha sido estudiada tanto en el sector agrícola como en el forestal.

Dentro del sector forestal esta práctica ha sido explorada en la producción de planta en vivero, bajo plantaciones (de restauración y comerciales) y en algunos países, en menor medida, en bosque natural.

Por ejemplo, en una plantación de *Pinus taeda* L. (en el sureste de U.S.A.), se encontró que tanto el manejo intensivo (aplicación de herbicidas y fertilizantes) como la densidad de plantación afectaron significativamente las variables DAP, altura, altura dominante, área basal del rodal y volumen, dando como resultado un mayor incremento de las mismas (Zhao, 2011).

También en una plantación de cedro rojo del oeste (*Thuja plicata* Donn), cicuta del oeste (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) y abeto plateado del Pacífico (*Abies amabilis* (Dougl.) Forbes), de ocho años de edad, fertilizados con lodos de aguas residuales y con fertilizantes orgánicos, las tres especies respondieron a las fertilizaciones. El crecimiento del cedro rojo se triplicó, el de la cicuta se duplicó y el del abeto fue 50% mayor (Weetman *et al.*, 1993)

Aunque es importante mencionar que, no todas las especies responden incrementando su rendimiento, como *Pinus taeda* L., que con tres tipos de fertilizantes, el área basal, aunque fue muy alta, no respondió a la fertilización y el rendimiento no incrementó consistentemente con la fertilización (Burner *et al.*, 2010).

Los efectos de la fertilización enunciados anteriormente se refieren a especies arbóreas y existen pocas experiencias con especies arbustivas. La especie *Symphoricarpos microphyllus* H. B. K. es un arbusto, que tiene importancias desde el punto de vista económico en las regiones donde se aprovecha ya que sus rebrotes se utilizan para la elaboración de escobas rústicas y artesanías navideñas, generando ingresos adicionales para los recolectores y comercializadores de esta especie.

Por otra parte, la rebrotación, es una estrategia persistente e importante en algunas especies leñosas tolerantes a la sombra, ya que representa un camino dominante de reproducción y es un prerrequisito importante para una regeneración exitosa en el sotobosque sombreado, donde las plantas frecuentemente sufren daños por la caída de ramas (Poorter *et al.*, 2010), por lo que se ha estudiado esta estrategia en algunas especies, como *Erica multiflora* L. que presentó menor número de rebrotes después de ser cortada (Vilà y Terradas, 1995), mientras que *Erica arborea* presentó mayor número de rebrotes y diámetro promedio conforme aumentaba la intensidad de daño de copa (Riba, 1998). Asimismo, diversas especies forestales de zonas templado-frías rebrotan luego de ser afectadas por el fuego (Whelan, 1997). Ambos casos de rebrotación se han observado en la especie estudiada.

Por lo que, este trabajo pretende ser de utilidad tanto para los actuales recolectores de este arbusto, para que vislumbren la posibilidad de un aprovechamiento bajo un esquema de plantaciones comerciales, como para aquellos pioneros que ya han comenzado a realizar el manejo bajo estas circunstancias.

Por lo anterior, el objetivo general del presente trabajo fue: determinar la dosis de fertilización y la altura de corte que produzcan el mayor rendimiento de vara perilla; con los siguientes objetivos específicos: determinar los nutrimentos limitativos en el crecimiento de vara perilla para establecer la formula de fertilización, determinar la dosis de fertilización que produzca la mayor emisión de rebrotes y altura en los arbustos así como establecer la altura de corte que promueva el mayor número y altura de rebrotes.

Para el desarrollo del presente trabajo las hipótesis planteadas fueron: los arbustos fertilizados presentarán mejor crecimiento y rendimiento que aquellos sin fertilización; la fertilización que contiene nitrógeno ocasionará un mejor crecimiento y rendimiento; el corte realizado a 12 cm promoverá la mayor producción de rebrotes.

MARCO TEÓRICO

Vara perlilla

Vara perlilla es un arbusto semitolerante o tolerante a la sombra (Hernández y Rodríguez, 2008) que se encuentra como componente vegetal en los estratos inferiores de los bosques de *Abies* Mill., *Quercus* L. y *Pinus-Quercus* (Rzedowski, 1979), así como en matorral y pastizal.

Desde el punto de vista social, esta especie es de gran importancia porque su aprovechamiento genera recursos económicos que constituyen un ingreso adicional para las familias de los recolectores-comercializadores.

Los brotes y rebrotes de esta especie se utilizan en la elaboración de escobas rústicas y artesanías navideñas, su demanda se incrementó cuando el gobierno del Distrito Federal transfirió su uso a las barredoras motorizadas. En algunos lugares su extracción excesiva y venta se han traducido en la reducción de las poblaciones silvestres (Monroy *et al.*, 2007); en otros, ha desaparecido del bosque debido a la recolección y venta indiscriminadas de las que fue objeto (Rivera *et al.*, 2008), como consecuencia, los artesanos que la utilizan tienen que comprarla de otras zonas.

Su estudio bajo plantaciones determinó que presenta sus mayores incrementos y supervivencia alrededor de los 6000 MJ m⁻²año⁻¹ de radiación solar total y un cielo visible de 40% a 60% (Mendoza *et al.*, 2011).

Nutrición y cortes

La nutrición forestal es un factor importante que debe ser considerado en el manejo tanto de plantaciones como de bosques naturales. Sin embargo, aún hace falta determinar consistentemente cómo la adición de nutrimentos al suelo influye en el crecimiento de estos; ya que la respuesta a la fertilización depende del tipo de suelo, el fertilizante utilizado, la cantidad aplicada, la época de aplicación y la edad del árbol (Landsberg y Gower, 1997).

En México, la fertilización en el campo forestal ha sido utilizada solamente en plantaciones forestales comerciales, aunque en otros países también se realiza en bosque natural. Esta práctica puede realizarse de manera esparcida o restringida (por pie), de esta última forma, se adiciona directamente en la cepa y tiene efectos inmediatos (Saldivar, 1982).

En un estudio realizado por siete años para determinar la respuesta en crecimiento de *Pseudotsuga mensiezii* (Mirb.) Franco a la adición de NH_4NO_3 y urea, aplicados a tasas de 224 y 448 kg ha⁻¹ se obtuvieron incrementos en diámetro de 21 y 9 %, respectivamente, para las dos tasas de NH_4NO_3 en parcelas sin aclarar y 7% con la urea (448 kg ha⁻¹) en las parcelas aclaradas; la concentración foliar de N también aumentó con la aplicación de NH_4NO_3 en los dos primeros años (Dangerfield y Brix, 1981).

Varios trabajos realizados indican que la fertilización de plantaciones, en algunas especies forestales generó mayores incrementos, como en *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Casuarina equisetifolia* L., *Pinus greggi*, y *Pinus michoacana* Martínez (*P. devoniana* Lindl.) (Saldivar, 1982).

La fertilización, con dosis de 50g NPK por árbol, resultó en un mayor incremento en diámetro y altura en cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) (Castillo *et al.*, 2008).

También se estudió la capacidad de la fertilización al voleo para mejorar el crecimiento de plántulas de tres años de *Pinus jeffreyi* Grev. & Balf. en plantaciones, en un sitio erosionado de la Sierra Nevada. Se aplicó fertilizante de liberación controlada y formulaciones solubles convencionales, todas caracterizadas por un alto contenido de N, con otros nutrimentos. Cuatro temporadas después las plántulas fertilizadas presentaron 129% más altura, 93% más diámetro y 865% más volumen que las plantas sin fertilizar (Walker, 2005).

Esta práctica incide sobre el crecimiento y rendimiento aunque también existen otros tratamientos que aplicados a las plantas modifican el contenido y la concentración nutrimental foliar como son alteración de la disponibilidad de la luz, aplicación de cortes, herbivoría, presencia o ausencia de incendios, riego, preparación del terreno, presencia o ausencia de competidores, entre otras (Binkley, 1986).

De esta manera, en *Erica multiflora* L. la eliminación de la competencia incrementó la relación biomasa foliar:biomasa de los tallos, la expansión lateral del rebrote, la jerarquía de ramificación de los rebrotes, y el contenido de P en los tallos, máxime cuando se aplicó fertilización fosfatada. En respuesta a la eliminación de la competencia, esta especie tiene la capacidad para modificar las proporciones relativas de los nutrimentos en la biomasa aérea. En estos mismos arbustos la fertilización nitrogenada no tuvo efectos significativos sobre la biomasa foliar, aunque sí incrementó la concentración de N en la biomasa de los rebrotes; por su parte, la fertilización fosfatada incrementó ligeramente el vigor del rebrote y tuvo un efecto significativo sobre el contenido de P en la biomasa foliar (Sardans, *et al.*, 2006).

Deficiencias de nutrimentos en especies forestales

El abasto de nutrimentos que tiene una planta se manifiesta en su crecimiento. De esta manera, si se tiene una adecuada disponibilidad, el crecimiento y, por tanto el rendimiento serán óptimos, mientras que si carece de algún o algunos nutrimentos, el vegetal crece a una tasa tan alta como lo permite el factor de crecimiento que se encuentre menos disponible. Tal factor puede ser un nutrimento, temperatura, humedad o luz. (Larcher, 1995).

Referente a la limitación que causan los nutrimentos en las especies forestales, Binkley (1986) reporta que el N es el elemento que comúnmente limita el crecimiento en los bosques, mientras que el Ca y Mg raramente lo hacen. El autor hace referencia que las deficiencias de potasio no son frecuentes en los bosques templados, que las de fósforo son usuales en suelos viejos y altamente intemperizados, que las limitaciones de manganeso son inusuales pero pueden ocurrir en árboles de sombra y frutales en suelos alcalinos, y que el zinc no representa un problema de nutrición, excepto en plantaciones como las del sur de Australia.

La disponibilidad de los nutrimentos se refleja en la concentración de los elementos en los tejidos, la cual varía dependiendo tanto del nutrimento como de la parte vegetal analizada. De esta manera, en el follaje la concentración de N varía entre 0.9 y 2.0 %. La concentración de los demás nutrimentos están reportadas en proporción de la concentración de N; la del P oscila del 10 al 15%, la del K se encuentra entre 50 y 75%, la del calcio dentro del intervalo 5 a 10% y la del magnesio de 3 a 6 %, y los micronutrimentos se encuentran en pocas partes por millón de concentración (Binkley, 1986).

Se reporta, que son los macronutrimentos los que limitan el crecimiento de los bosques en la mayor parte del mundo (Binkley, 1986) y, aunque las deficiencias de micronutrimentos son inusuales, se ha encontrado que en varias especies limitan su crecimiento.

Así, por ejemplo, para *Psidium guajava* L. en Calvillo, Aguascalientes y Apozol Zacatecas (México), las muestras de suelo evidenciaron deficiencias de N, Mg, Fe y Zn, mientras que en las de follaje se encontraron deficiencias de P, Ca, Fe, Mn y Zn, tales deficiencia estuvieron relacionadas con la severidad de los síntomas de declinamiento (Avelar, 2005). Por otro lado, en la India se han detectado deficiencias de Fe en zapote (*Manilkara zapota* L.), de Zn en naranja dulce (*Citrus sinenses* L. Osbeck) (Balkrishnan *et al.*, 2000) y de Cu, Zn y Fe en uva (*Vitis vinifera* L.) (Aggarwal *et al.*, 1975).

Métodos de diagnóstico de deficiencias nutrimentales

El diagnóstico nutrimental puede realizarse a través de síntomas visibles y de análisis de tejido. En el primer caso, se realiza observando los ejemplares de la especie en cuestión y las características presentes se comparan con síntomas establecidos para esa especie y se determina el nutrimento que se encuentra deficiente; sin embargo, este método tiene la desventaja que un síntoma puede ser característico de la deficiencia de más un nutrimento, o que las interacciones de la insuficiencia de varios nutrimentos pueden aparentar la deficiencia de otro. Adicionalmente, al presentar síntomas visibles de insuficiencia, el vegetal ya ha reducido su crecimiento y desperdiciado mucho potencial para hacerlo. Por otra parte, la fase de carencias sin síntomas visibles dificulta la diagnosis.

En cambio, el análisis de tejido es un mejor método para determinar el estado nutrimental, ya que existen procedimientos para determinar de manera exacta y precisa cada uno de los 13 nutrimentos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Métodos analíticos comúnmente usados para la determinación de nutrimentos en tejidos vegetales.

Método de determinación	Nutrimento												
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	Cl
Espectrometría de absorción atómica			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Espectrometría a la llama			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Colorimetría	■	■				■					■		
Método de Kjeldalh	■												
Valoración analítica						■							■

Fuente: Ruano (2008)

Para determinar la concentración de los nutrimentos, puede analizarse cualquier parte del vegetal, sin embargo, es más utilizado el follaje, ya que la concentración en este tejido es mayor, además por ser un preceptor más sensible de la respuesta de los cultivos a los cambios ambientales, se considera un buen indicador del estado nutrimental.

Con el objetivo de determinar las deficiencias presentes en la planta, los resultados de los análisis foliares pueden interpretarse mediante métodos como: Concentraciones Críticas, el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (Diagnosis and Recommendation Integrated System, DRIS), Tendencias de Concentración o por Análisis de Vectores.

Método de Concentraciones Críticas. La concentración nutrimental en el tejido vegetal se ejemplifica con la curva de Macy (Figura 1). Así, un nutrimento puede encontrarse en bajas concentraciones causando deficiencia (con o sin síntomas visibles), en suficiencia, o en exceso ocasionando consumo excesivo o toxicidad en la planta. Los valores mínimos y máximos en los cuales la concentración se considera adecuada para el óptimo desarrollo de la planta, se denominan concentraciones críticas, las cuales deben determinarse para cada especie y ayudan a establecer de manera comparativa un diagnóstico. Este método consiste en comparar los valores presentados por la planta analizada con los valores críticos de la especie examinada.

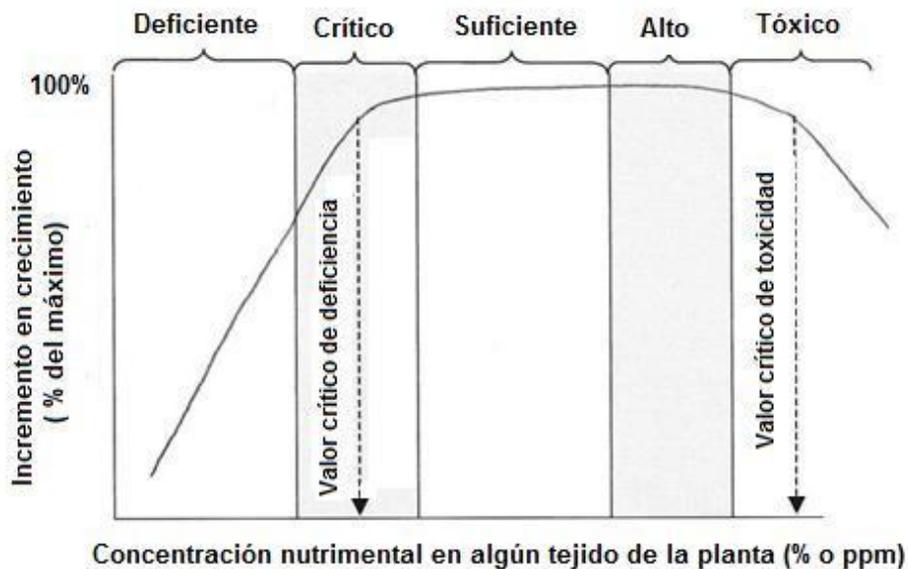


Figura 1. Curva de concentración nutrimental de Macy (Modificado de Landis *et al.*, 1989).

Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (Diagnosis and Recommendation Integrated System, DRIS). La concentración nutrimental en las plantas varía durante su crecimiento y, por lo tanto, el nivel óptimo intervalo va cambiando continuamente y dificulta la comparación con niveles críticos. Por ello, la técnica DRIS es una alternativa para interpretar el análisis foliar de un cultivo. Esta técnica, usa las relaciones entre nutrimentos para explicar el estado nutricional, confronta las relaciones de concentración de nutrimentos con aquellas obtenidas en poblaciones de rendimiento máximo u óptimo, a las que denomina Normas DRIS para esos nutrimentos. A partir de ellas, el método provee un medio para ordenar las relaciones de nutrimentos, en expresiones llamadas Índices DRIS.

Los índices DRIS permiten clasificar los factores de rendimiento considerados según su importancia relativa. Su principal ventaja es su habilidad para realizar diagnósticos independientemente de la edad, variedad y parte de la planta utilizada (Sumner, 2001).

Método Tendencias de concentración. Debido a que son pocas las especies forestales mexicanas que cuentan con los valores de Concentraciones Críticas o Normas DRIS, existen dificultades para hacer la interpretación de los resultados de análisis foliares y diagnósticos nutrimentales, por lo que López y Estañol (2007) generaron una metodología para la detección de deficiencias nutrimentales, que está basada en los procesos de concentración y dilución nutrimental que tienen lugar en los tejidos vegetales y en la ley de Liebig.

Se sustenta en que, cuando las tasas de crecimiento son bajas, los nutrimentos se encuentran en los tejidos en concentraciones que pueden ser superiores al nivel crítico, incluso cuando el nutrimento se encuentre disponible en bajas concentraciones en el suelo; por el contrario, cuando las tasas de crecimiento son altas, los nutrimentos, especialmente aquellos cuya disponibilidad en el suelo es baja, se diluyen dentro de los tejidos (López y Estañol, 2007).

La metodología consiste en tomar muestras foliares de la población de interés y al mismo tiempo medir una variable consistente de crecimiento (cuando son individuos de la misma edad) o de incremento (cuando se trata de edades distintas), por lo anterior las plantas muestra deben presentar distintos tamaños. A las muestras foliares se les determinan las concentraciones nutrimentales.

A la variable medida (diámetro, altura, incremento) y los resultados de los análisis foliares se les hace una estandarización a media cero y varianza uno, para evitar sesgos de escala. Estos valores se grafican, las concentraciones nutrimentales en el eje “y” y la variable de incremento o crecimiento en el eje “x”. Posteriormente se realiza una regresión lineal y se determinan los parámetros del modelo ($y = ax + b$), de los cuales, es de interés la pendiente, ya que corresponde al índice del estado del nutrimento. Se tienen tres escenarios posibles:

- a. Que el gráfico presente una pendiente negativa, implicando que existe dilución del nutrimento al incrementar el crecimiento y, por tanto, deficiencia de ese nutrimento (Figura 2).

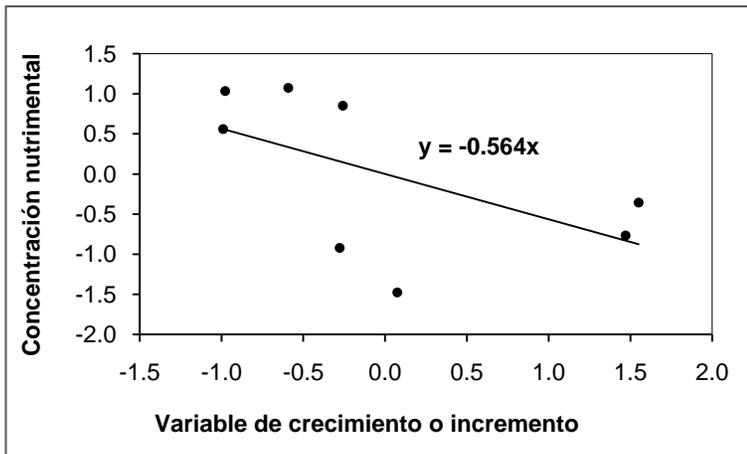


Figura 2. Escenario donde un nutrimento es deficiente (dilución)

- b. La obtención de una pendiente muy cercana a cero o cero indica que el nutrimento ha sido suficiente para la velocidad de crecimiento que ha tenido la planta (Figura 3).

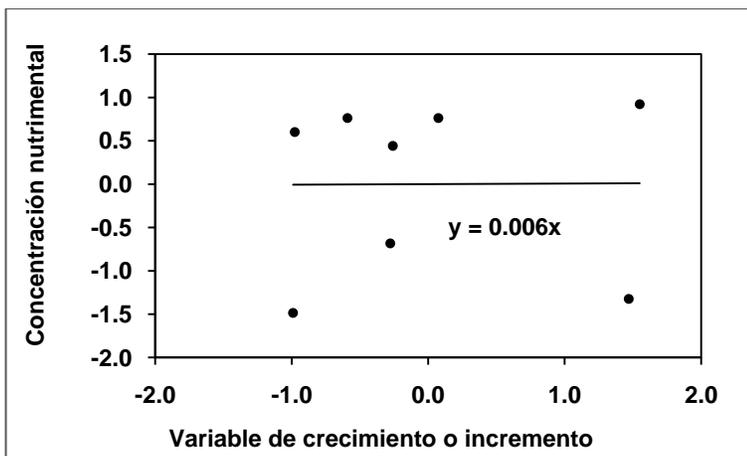


Figura 3. Nutrimento con disponibilidad suficiente

- c. Cuando el gráfico resulta en una pendiente positiva denota concentración del nutrimento (Figura 4).

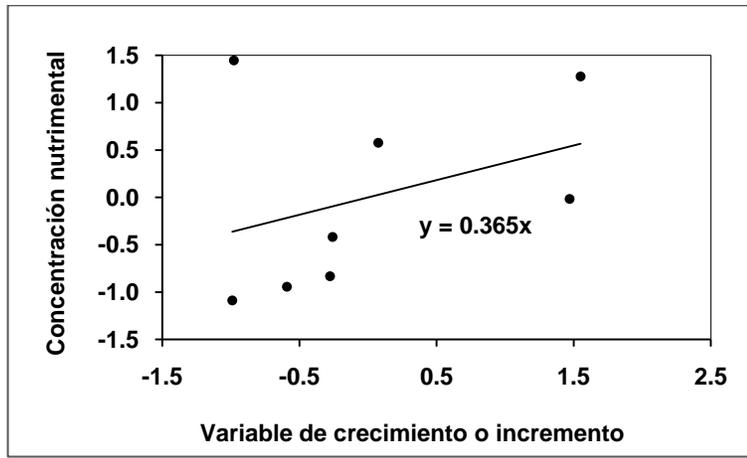


Figura 4. Nutrimento que se ha concentrado.

De esta forma, el nutrimento limitativo será aquel que presente el menor valor negativo de la pendiente. Si las pendientes correspondientes a todos los nutrimentos analizados resultan positivas, esto significa que algún nutrimento no estudiado o algún factor no nutrimental es el factor limitativo del crecimiento.

Esta metodología ha sido utilizada en el diagnóstico nutrimental de *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. (López y Estañol, 2007) y fue adecuada, ya que al aplicar el nutrimento determinado se presentó recuperación y mejora en el incremento.

Método de Análisis de vectores. Este método, ideado por Timmer y Stone (1978), se utiliza para determinar el efecto sobre el crecimiento de la planta que tuvo algún tratamiento que modifica la disponibilidad de nutrimentos en el sitio de interés.

Este método, también se basa en la teoría relacionada con los efectos de dilución y concentración nutrimental que ocurren en un sistema vegetal como consecuencia de la producción de materia seca (Timmer, 1991; Mengel y Kirkby, 2000). Según esta teoría, la concentración de nutrimentos en los tejidos vegetales está en función tanto de su disponibilidad en el suelo, como de las tasas de crecimiento. Para su interpretación igualmente se utilizan las bases de la ley del mínimo de Liebig.

Múltiples investigaciones señalan que el factor limitativo es alternante y que una vez que éste se corrige surge otro nuevo (Sumner, 1977a; 1977b; Moreno *et al.*, 2002); lo que implica que cuando el factor limitativo del crecimiento se corrige, el vegetal responde positivamente a ese tratamiento y provoca dilución de otros nutrimentos que se encuentran poco disponibles. Es decir, si ocurre un efecto positivo de un tratamiento sobre el crecimiento, significa que tal tratamiento mejoró el estado del factor limitativo (Sumner, 1977a).

Para utilizar este método se necesita recolectar una muestra compuesta de cada tratamiento establecido y del testigo, la cual debe constar de un número determinado de acículas o fascículos. A estos últimos se les determinará la concentración y contenido de cada nutrimento, los resultados se grafican junto con la biomasa de las acículas (Figura 5) y se interpretan según el Cuadro 2.

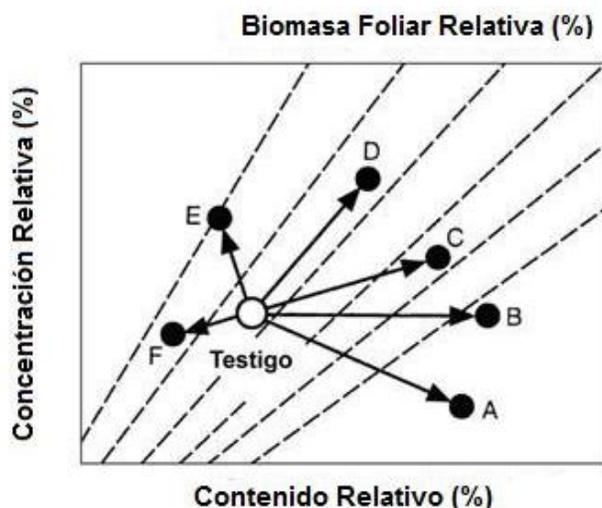


Figura 5. Gráfico para el diagnóstico de limitación de nutrientes.

Fuente: Modificado de Timmer y Stone (1978) y Timmer y Morrow (1984).

Cuadro 2. Interpretación de los vectores según la tendencia encontrada.

Dirección del cambio	Respuesta en			Interpretación	Posible diagnóstico
	Peso de las acículas	Nutrimiento			
		Concentración	Contenido		
A	+ (Aumento)	- (Disminución)	+ (Aumento)	En dilución	No limitativo
B	+ (Aumento)	0 (Sin cambio)	+ (Aumento)	Abundante (Suficiencia)	No limitativo
C	+ (Aumento)	+ (Aumento)	+ (Aumento)	Poco abundante (Deficiencia)	Limitativo
D	0 (Sin cambio)	+ (Aumento)	+ (Aumento)	Consumo abundante	No Tóxico
E	- (Disminución)	++ (Aumento)	± (Aumento o disminución)	En exceso	Tóxico
F	- (Disminución)	- (Disminución)	- (Disminución)	En exceso	Antagónico

Fuente: Modificado de Timmer y Stone (1978) y Timmer y Morrow (1984).

La respuesta del vegetal depende de su ubicación en la curva de concentración de Macy. Para un vegetal que se encuentre en la zona de limitación de nutrientes, la adición de los mismos es probable que resulte en un mayor crecimiento. En cambio, para otro ubicado en la zona de consumo en exceso, no habrá respuesta a nutrientes adicionales y, si estaba en la zona de toxicidad, los nutrientes adicionales pueden tener efectos negativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó flexómetro, vernier, libreta de campo, tijeras de podar, horno de secado, balanza analítica, los materiales fertilizantes y una plantación de vara perilla.

El experimento se instaló en una superficie de 0.75 ha, en una plantación de arbustos de vara perilla con un espaciamiento de 1 m x 1 m, establecida en 2006. La plantación de vara perilla se encuentra bajo la sombra de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de 9 años de edad, a un espaciamiento 3 m x 3 m, con un 50% de cobertura de copas (Figura 6).



Figura 6. A y B, Arbustos de vara perilla en la plantación estudiada.

Métodos

El estudio se realizó en la localidad La Mesa, municipio de San José del Rincón, Estado de México, situada en las coordenadas 19°34'00" de latitud Norte y los 100°10'00" de longitud Oeste (INEGI, 2000). La plantación estudiada se ubica a 19°34'27" latitud Norte y 100°10'24" longitud Oeste.

En la plantación, el experimento se estableció conforme a un diseño experimental en bloques completos al azar. Los tratamientos derivaron de la combinación de dos factores: altura de corte y fórmula de fertilización. Las alturas de corte fueron: 6cm y 12cm y las fórmulas de fertilización fueron: fertilización cero, fertilización uno y fertilización dos. La diferencia entre los bloques fue la pendiente. Se establecieron seis bloques con seis unidades experimentales en cada uno. Cada unidad experimental se constituyó por 20 arbustos de vara perilla dispuestos en rectángulos de 4 x 5 arbustos, ocupando una superficie de 12 m².

En cada unidad experimental, los arbustos que serían cortados y fertilizados, se marcaron con varas de colores según el tratamiento de fertilización que se aplicaría: sin color para la fertilización cero, azul para la fertilización uno (Mn-Zn) y rojo para la fertilización dos (NPK + Mn-Zn) (Figura 7). Las dosis de fertilización se detallan más adelante.

En Diciembre de 2009, se midieron y cortaron los seis arbustos centrales de cada unidad experimental. El corte se realizó a alturas ya descritas puesto que son las alturas a las que comúnmente cortan los recolectores (Figura 8).



A

B

Figura 7. Marcado de arbustos A) fertilizados con micronutrientes; B) fertilizados con micro y macronutrientes.



A

B

Figura 8. Cortes aplicados: A) a 6 cm del suelo, B) a 12 cm del suelo.

Las variables obtenidas fueron: número de rebrotes, diámetro y longitud de cada rebrote, longitud de arbusto, diámetro promedio de arbusto y biomasa aérea anhidra. El formato para la obtención de datos se presenta en el Apéndice 1.

Los arbustos cortados se llevaron al laboratorio de Semillas Forestales de la División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, donde fueron deshidratados por 72 h a 70°C en un horno de secado y su biomasa anhidra fue medida.

De ocho arbustos del resto de la plantación se tomaron muestras foliares para analizar el estado nutrimental de la plantación y emitir un diagnóstico. En el Laboratorio Central Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo se les determinó la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn. Los métodos utilizados por el este laboratorio para determinar la concentración nutrimental se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Métodos utilizados por el Laboratorio Central Universitario para determinar la concentración nutrimental.

Método de determinación	Nutrimento determinado
Digestado con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor.	N
Fotocolorimetría por reducción con molibdo-vanadato.	P
Espectrofotometría de emisión de flama.	K
Espectrofotometría de absorción atómica.	Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn

Para emitir el diagnóstico se utilizó el método Tendencias de Concentración desarrollado por López y Estañol (2007), por lo que la recolección de muestras foliares fue en arbustos que tuvieran valores variables de diámetro y altura. A los arbustos seleccionados se les midió diámetro, altura así como biomasa foliar y de tallos.

Se determinaron los nutrientes limitativos del crecimiento y se establecieron los nutrientes a usar en la fertilización, los materiales fertilizantes a utilizar y también las formulas de fertilización.

Adicionalmente, con el objetivo de determinar las concentraciones de los nutrimentos en el suelo, en el mes de Febrero de 2010, fueron tomadas tres muestras compuestas de suelo, cada una representando los tres ambientes en los cuales estaba desarrollándose la vara de perilla: a) bajo las copas, b) fuera de las copas y c) en la orilla de las copas de *Pinus pseudostrobus*.

En cada unidad experimental fue tomada una muestra en los primeros 30 cm del suelo de cada ambiente descrito. Posteriormente se mezclaron las muestras de cada ambiente para obtener las muestras compuestas, las cuales fueron enviadas para su análisis al Laboratorio Central de Suelos de la Universidad autónoma Chapingo.

Tanto el análisis físico como el químico fueron realizados a las muestras. Los parámetros medidos fueron: pH; materia orgánica (%); concentraciones de N (ppm), P (ppm), K (ppm), Ca (ppm), Mg (ppm), Fe (ppm), Cu (ppm), Mn (ppm), Zn (ppm), B (ppm); densidad aparente ($G\ cm^{-3}$); porcentaje de arena; porcentaje de limo; porcentaje de arcilla y textura.

Los nutrimentos aplicados fueron N, P, K, Mn y Zn. Las fórmulas de fertilización fueron: testigo (fertilización cero), fertilización con Mn-Zn (fertilización uno) y fertilización con NPK+ Zn-Mn (fertilización dos).

Las cantidades a aplicar de los macronutrimentos se calcularon utilizando la fórmula para el cálculo de dosis de fertilización, la cual se muestra a continuación (Etchevers, 1987)

$$D = f\left(\frac{A - B}{C}\right)$$

Donde: “D” es dosis del fertilizante y está en función de “A”, “B” Y “C”; “A” es la demanda de nutrimentos por el cultivo; “B” es la disponibilidad de nutrimentos en el suelo es y “C” es la eficiencia del fertilizante.

Al aplicar la fórmula, “A” se estableció como el promedio de las cuatro concentraciones más altas de todas las muestras, multiplicado por la biomasa (cantidad de nutrimentos probablemente cercana a la ideal) y “B” como el promedio de concentración de las ocho muestras, multiplicado por la biomasa (nutrimentos que las plantas realmente pudieron utilizar).

En el caso de la eficiencia, existen valores reportados para cada elemento y condición ecológica. Para sistemas forestales existe poca información; sin embargo, es probable que la eficiencia del fertilizante en terrenos forestales sea menor que en áreas agrícolas debido a la menor intensidad de manejo en los terrenos forestales. En cultivos anuales, la eficiencia del fertilizante nitrogenado varía entre 12 y 40 % (Salgado *et al.*, 2001), frecuentemente alrededor de 25 %. En el caso de los fertilizantes fosfatados, Castro-Luna *et al.* (2006) indican que es menor de 10%, aunque en realidad, la eficiencia del uso de este nutrimento es extremadamente variable, pudiendo alcanzar valores hasta de 90 % (Syers *et al.* 2008). La eficiencia en el uso del potasio, Castro-Luna *et al.* (2006) señalan que se ubica alrededor de 40 %.

En el presente estudio, con fines de cálculo de las dosis de fertilización, se adoptaron valores de eficiencia de fertilizantes de medios a bajos debido a que vara de perilla está bajo la sombra de *Pinus pseudostrobus* y a la presencia de algunas herbáceas y de los pinos en el terreno. Así, el porcentaje de eficiencia utilizada para el Nitrógeno fue de 25% y para Fósforo y potasio fue de 30%.

Los esquemas de fertilización elaborados (por parcela de 12 m²), se muestran en el Cuadro 4. Los materiales fertilizantes utilizados aparecen en el Cuadro 5 y la equivalencia de material fertilizante por unidad de superficie se puede apreciar en el Cuadro 6.

Cuadro 4. Cantidad de material fertilizante aplicado por tratamiento en cada parcela de 12 m².

Tratamiento de Fertilización	Cantidad de fertilizante aplicado				
	N (g)	P (g)	K (g)	Zn (ml)	Mn (ml)
Fertilización cero	0	0	0	0	0
Fertilización uno	0	0	0	100	80
Fertilización dos	16	7.3	13	100	80

Cuadro 5. Material fertilizante aplicado por nutrimento.

Nutrimento	Material Fertilizante	Formulación	Concentración (%)
N	Urea	CO(NH ₂)	46.0
P	Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	62.0
K	Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	41.5
Mn	Quelato de zinc	EDTA*-Mn	4.0
Zn	Quelato de manganeso	EDTA*-Zn	8.0

* Acido Etilen-Diamino-Tetra-Acético

Cuadro 6. Cantidad equivalente de material fertilizante.

Material fertilizante aplicado	Nivel de fertilización		
	0	1	2
Urea (Kg/ha)	0	0	192
Ácido fosfórico (Kg/ha)	0	0	88
Sulfato de potasio (Kg/ha)	0	0	156
Quelato de zinc (l/ha)	0	50	50
Quelato de manganeso (l/ha)	0	40	40

La fertilización fue en dosis única. La aplicación de los macronutrientes se realizó mediante una solución, disolviendo la cantidad determinada en 20 L de agua y se colocó 1 L en el pie de cada arbusto; mientras que la aplicación de los micronutrientes fue foliar (Figura 9). La aplicación de los fertilizantes se efectuó en mayo de 2010, al inicio de la temporada de lluvias.



Figura 9. Aplicación de la fertilización. A) Fertilización NPK + Mn-Zn; B) Fertilización Mn-Zn.

En Noviembre del mismo año, nuevamente se obtuvieron las variables: número de rebrotes, diámetro y longitud de cada brote, longitud de arbusto, diámetro promedio de arbusto y biomasa aérea anhidra.

En el mismo mes, los arbustos se cortaron nuevamente a las alturas establecidas en 2009 y se trasladaron a laboratorio para su deshidratación y obtención de biomasa aérea anhidra.

Previo al corte se tomaron 35 hojas de cada arbusto para formar muestras compuestas. Se creó una de 360 hojas por tratamiento y una de 150 por repetición de tratamiento. El peso de las muestras compuestas fue registrado. Los resultados de los análisis foliares de estas muestras se interpretaron mediante la metodología de análisis de vectores.

Para la creación de los nomogramas se utilizó un programa en Microsoft Office Excel llamado Graficador v 1.0© y para su interpretación se utilizaron los criterios contenidos en Timmer y Stone (1978).

En la metodología de análisis de vectores se realizaron nomogramas para cada nutrimento aplicado (N, P, K, Mn y Zn) y para cada tratamiento (Fertilización cero, Fertilización uno y corte a 6 cm, Fertilización uno y corte a 12 cm, Fertilización dos y corte a 6 cm, Fertilización dos y corte a 12 cm).

Adicionalmente, con el objeto de verificar la corrección de deficiencias mediante la metodología Tendencias de Concentración, a 48 de los arbustos se les cortó el follaje, se deshidrató y determinó biomasa y concentración de nutrimentos. La elección de los arbustos fue sistemática, ocho de cada tratamiento y bloque y que presentaran diámetros y alturas variadas.

En el proceso de elección de los arbustos se utilizaron los datos de campo obtenidos en noviembre 2010. Para lo anterior, las variables longitud y diámetro de rebrote fueron sometidas a procesamiento sumando la longitud de todos los rebrotes para cada arbusto generando la variable suma de longitud de rebrotes y sumando el diámetro de todos los rebrotes, obteniendo así la variable suma de diámetros de rebrotes. Estas variables se ordenaron de menor a mayor por tratamiento y se seleccionaron los 8 arbustos de cada tratamiento.

Las muestras foliares de 2010 se analizaron en enero-marzo de 2011 en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Posgraduados; los métodos utilizados por este laboratorio para determinar la concentración nutrimental se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Métodos utilizados por el laboratorio del Colegio de Postgraduados para determinar la concentración nutrimental.

Método de determinación	Nutrimento determinado
Micro-kjeldahl	N
Espectrofotometría por emisión de plasma (ICP)	P, K, Zn, Mn y Zn

A partir de los datos de biomasa y concentraciones de los nutrimentos se obtuvo el contenido nutrimental en los arbustos. La concentración y el contenido nutrimental se consideraron variables para análisis.

Una vez capturados los datos, a cada rebrote se le clasificó en uno de tres posibles usos en función de su longitud al momento de cortar y de acuerdo con las especificaciones solicitadas para su comercialización. Los usos establecidos fueron: sin uso (uso 1), artesanías (uso 2) y escobas (uso 3). Las especificaciones de la clasificación se muestran en el Cuadro 8. Con lo anterior se generó una nueva variable para análisis: número de rebrotes en cada uso, la cual fue analizada como las demás variables.

Cuadro 8. Criterios de clasificación de rebrotes en cada uso.

Uso	Sin uso	Artesanías	Escobas
Longitud (cm)	< 30	30-90	>90
Diámetro (mm)	<1	1-3	1-4

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza y comparación de medias por el procedimiento Tukey. Los análisis de varianza se hicieron con el General Lineal Model Procedure (PROC GLM) en el caso de las variables diámetro y longitud de rebrotes; mientras que para número de rebrotes, longitud del arbusto, diámetro promedio del arbusto, suma de longitud de rebrotes, biomasa, concentración y contenido nutrimental así como número de rebrotes para cada uso se realizaron mediante el Analysis of variance Procedure (PROC ANOVA), ambos procedimientos en el programa SAS v. 9.0 para microcomputadoras. Las pruebas anteriores se corrieron con una significancia igual a 0.1. Y los análisis tuvieron como base el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

α_i = efecto del i-ésimo nivel del factor fertilización

β_j = efecto del j-ésimo bloque

γ_k = efecto del j-ésimo nivel del factor altura de corte

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor fertilización y el j-ésimo nivel de altura de corte

ε_{ijkl} = error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nutrientes limitativos del crecimiento en vara perilla

De las tres muestras de suelo tomadas en la plantación se determinó que el pH es ligeramente ácido (6.48), con 6.28 % de materia orgánica en promedio y texturas franca y franca arenosa.

El estado nutricional de la plantación mostrado en 2009, se estableció a partir de concentraciones foliares promedio de los arbustos analizados (Cuadro 9), la cual fue la base para determinar los nutrientes limitativos.

Cuadro 9. Concentración foliar promedio, de cada nutriente, encontrada en los arbustos de vara perilla en marzo de 2010.

N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
2.49	1.03	1.34	1.31	0.33	626.56	4.91	80.74	294.96

De manera general, las proporciones entre las concentraciones foliares de los nutrientes analizados se encuentran dentro de los intervalos mencionados por Binkley (1986) para las especies forestales, el nitrógeno estaba por encima de la concentración dada, al igual que el fósforo.

Por la metodología de tendencias de concentración, se obtuvo para esta especie que los nutrientes deficientes fueron Zn, Mn, K, Ca, y N; el P estaba en un nivel de suficiencia y el Fe, Cu y Mg se concentraron (Figuras 10 a 18).

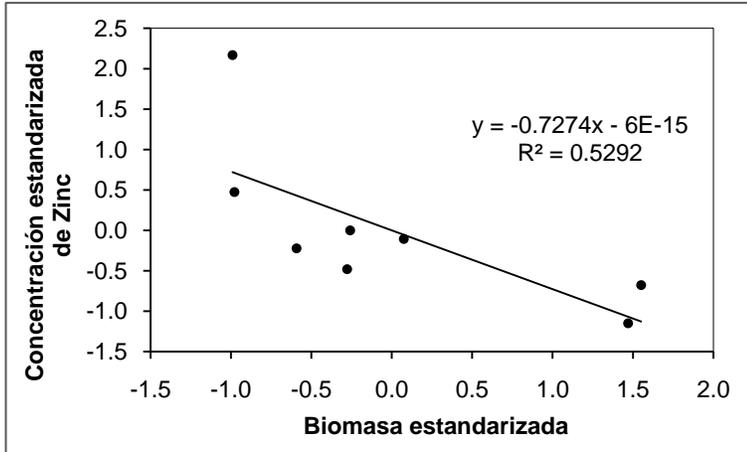


Figura 10. Nutrimiento diluido: Zinc

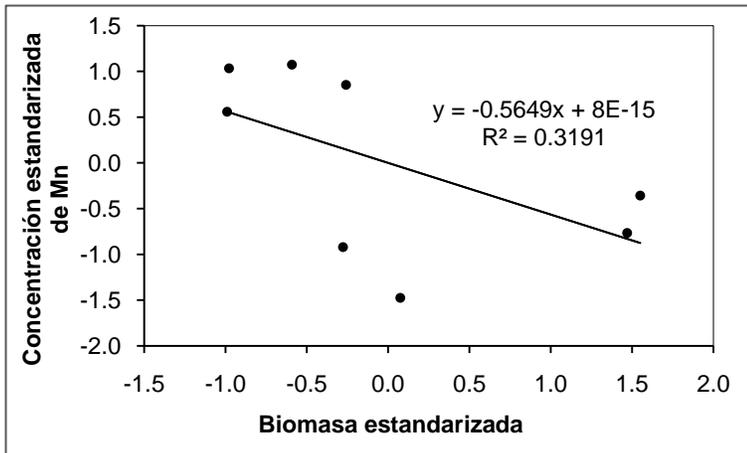


Figura 11. Nutrimiento diluido: Manganeseo

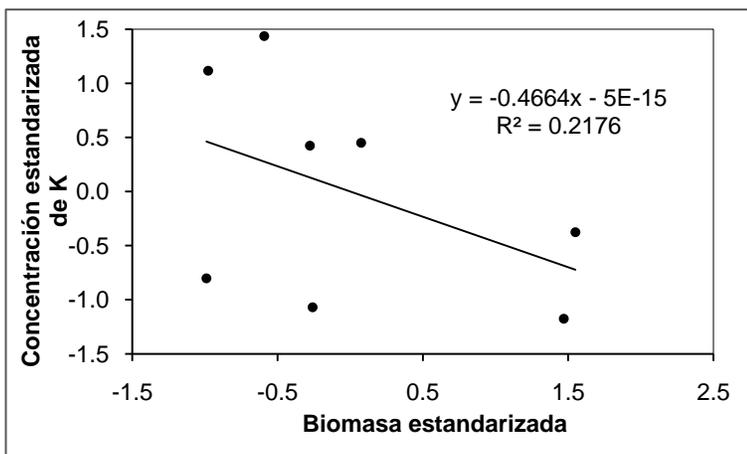


Figura 12. Nutrimiento diluido: Potasio.

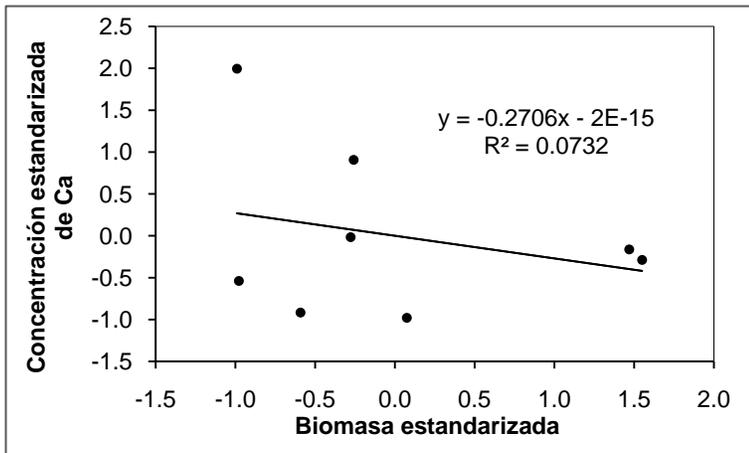


Figura 13. Nutrimiento diluido: Calcio

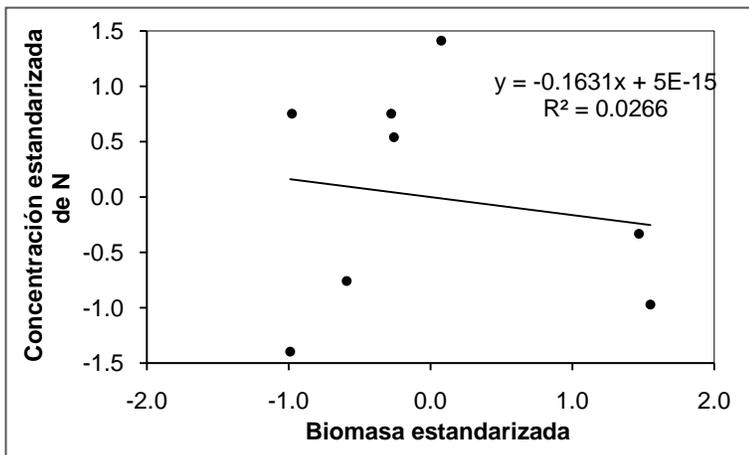


Figura 14. Nutrimiento diluido: Nitrógeno.

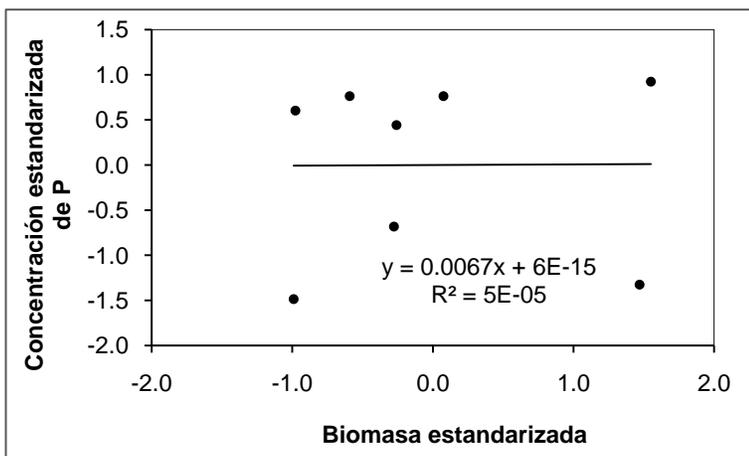


Figura 15. Nutrimiento suficiente: Fósforo

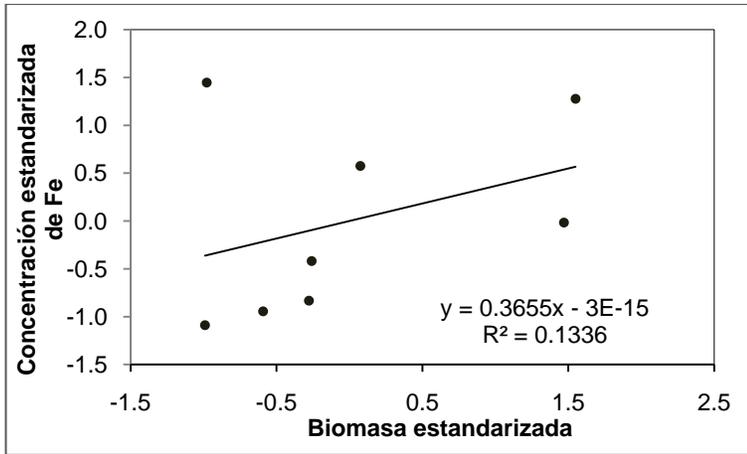


Figura 16. Nutrimiento concentrado: Hierro

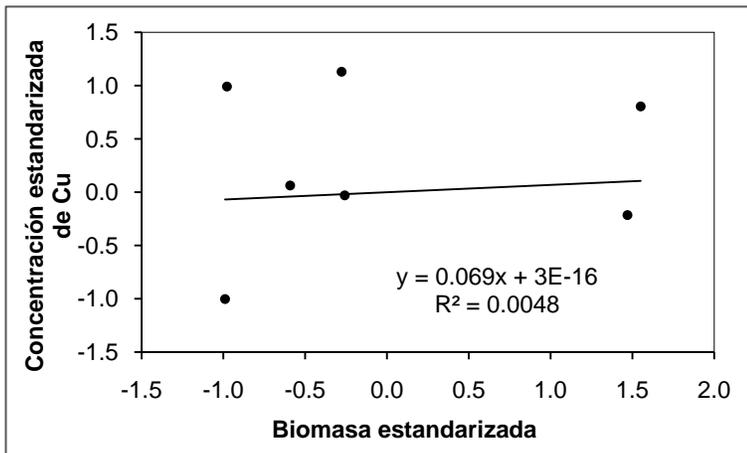


Figura 17. Nutrimiento concentrado: Cobre

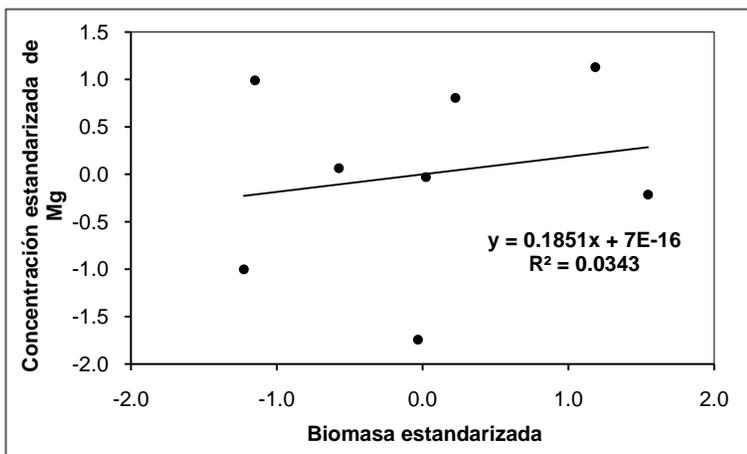


Figura 18. Nutrimiento concentrado: Magnesio

Lo anterior concuerda parcialmente con lo dicho por Binkley (1986), quien menciona al nitrógeno como el nutrimento que más comúnmente limita el crecimiento en los sistemas forestales, y que la deficiencia de manganeso puede ocurrir en árboles de sombra pues vara perilla crece bajo sombra.

Aunque las deficiencias de micronutrientos sean inusuales, se han encontrado que en varias especies limitan su crecimiento. Por ejemplo, en México, para *Psidium guajava* L. en Calvillo, Aguascalientes y Apozol, Zacatecas las muestras de suelo evidenciaron deficiencias de N, Mg, Fe y Zn, mientras que en las de follaje se encontraron deficiencias de P, Ca, Fe, Mn y Zn (Avelar, 2005) y a una plantación de *Pinus leiophylla* establecida en suelos le fue diagnosticada deficiencia de Fe en Texcoco, Estado de México (López y Estañol, 2007). También han sido detectadas deficiencias de Fe en zapote (*Manilkara zapota* L.), de Zn en naranja dulce (*Citrus sinenses*) (Balkrishnan *et al.*, 2000) y de Cu, Zn y Fe en uva (*Vitis vinifera*) (Aggarwal *et al.*, 1975), en la India.

También Combatt *et al.* (2005) determinaron deficiencias de Zn para suelos agroforestales en Colombia que son calcáreos con pH básicos; estos autores mencionan que bajo esas condiciones de reacción del suelo lo que existe es insolubilización y precipitación de dicho elemento y se encuentra poco asimilable para las especies forestales. La deficiencia de Zn en suelos calcáreos está reportada igualmente para el nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en varias etapas de su desarrollo fisiológico (Ojeda *et al.*, 2009).

Los anteriores estudios concuerdan con Binkley (1986), que refiere a las deficiencias de Zinc como poco comunes en bosques naturales y plantaciones forestales, pero pueden presentarse en suelos arenosos, ácidos y fuertemente lixiviados; el terreno en el cual se encuentra la plantación de vara perilla tuvo uso agrícola, lo cual implica cierto grado de erosión, aunque el pH es ligeramente ácido y la textura franca y franca arenosa.

Variables de crecimiento

Las variables de crecimiento analizadas fueron: número, longitud y diámetro de rebrotes, suma de longitud de rebrotes, longitud de arbusto, diámetro promedio y biomasa del arbusto. Sus tendencias se describen a continuación.

El número de rebrotes no mostró diferencia por tratamientos, ni hubo efecto de la interacción entre los factores considerados; sin embargo, el valor mostrado por cada tratamiento en 2010 fue significativamente diferente con el obtenido en 2009 (Cuadros 10 y 11). Esta es una respuesta diferente a la mostrada por *Erica multiflora*, especie que 18 meses después de un corte presentaba un menor número de rebrotes que al ser cortada, y que después de este tiempo mostró incremento positivo en el número de rebrotes (Vilà y Terradas, 1995)

Cuadro 10. Número promedio de rebrotes de vara perilla encontrados en 2009, antes de aplicar los tratamientos de fertilización y cortes.

Altura de corte (cm)	Fertilización cero		Fertilización cero		Fertilización dos	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010
6	3.14a	7.11b	3.61a	7.83b	3.64a	7.97b
12	3.69a	8.25b	3.81a	8.17b	3.64a	9.37b

Entre columnas dentro de cada fertilización, letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey con $p \leq 0.1$

Para la longitud de rebrotes se observó efecto de factores individuales, pero no se presentó interacción entre fertilización y corte (Cuadro 11); mientras que en el diámetro de rebrotes hubo efecto del factor corte, pero no lo hubo para el factor fertilización ni para la interacción (Cuadro 11).

Cuadro 11. Respuesta de las variables morfológicas a los tratamientos de fertilización y corte.

Variable	Fertilización			p	Altura de corte		
	0	1	2		6 cm	12 cm	p
Número de rebrotes	7.694	8.000	8.667	0.4178	7.639	8.602	0.1179
Longitud de rebrotes (cm)	53.646a	55.929ab	58.071b	0.0645*	57.923a	54.236b	0.0559*
Diámetro de rebrotes (mm)	2.448	2.466	2.620	0.1395	2.617a	2.424b	0.0114*
Suma de longitud de rebrotes (cm)	414.465	448.999	501.881	0.1806	442.749	467.481	0.5235
Longitud de arbusto (cm)	105.138	109.403	113.64	0.3713	106.335	112.68	0.2142
Diámetro de arbusto (mm)	2.450	2.517	2.653	0.1795	2.625a	2.455b	0.0624*
Biomasa (g)	21.755a	24.965ab	31.827b	0.0245*	25.859	26.506	0.8327

* Diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey con $p \leq 0.1$

Las variables suma de longitud de rebrotes, longitud y diámetro del arbusto, no mostraron respuesta a los tratamientos ni a la interacción entre los mismos; mientras que la biomasa mostró diferencias entre tratamientos de fertilización, aunque no las mostró entre cortes ni para la interacción (Cuadro 11).

La biomasa presentada como respuesta del corte, fue mayor que la obtenida antes del corte (20.945 g), esta situación es distinta de la reportada por Pelc *et al.* (2011) para *Corylus americana*, especie que en las 12 semanas siguientes a un único corte, recobró el 82% de la biomasa de tallos en sabana abierta y solamente el 17% en bosques sombreados.

Las respuestas anteriores a la fertilización, son distintas a la determinada para las plántulas del arbusto esclerófilo *Protea repens* L., cultivado en macetas, en el cual, las crecientes aplicaciones de nitrógeno redujeron su biomasa total y área foliar, mientras que las crecientes aplicaciones de fósforo, aumentaron el peso seco foliar, de tallos y total, así como el área foliar (Wittkowski, 1989). Aunque las condiciones de crecimientos son distintas, pues *P. repens* crece en ambientes secos y la vara de perilla es de ambientes húmedos.

En vara perilla la biomasa de los arbustos fertilizados fue superior que en el testigo, situación atribuible a la aplicación de Mn pues en un estudio de fertilización fraccionada con NPK en papa (*Solanum phureja*), la aplicación de Mn se relacionó con el aumento de materia seca que podría contribuir a una mayor fotosíntesis neta (Pérez, 2008).

Además, los tratamientos de fertilización se diseñaron en función de un diagnóstico nutrimental. Esto implica que se aplicaron los nutrientes requeridos y ello explica la respuesta positiva a los tratamientos de fertilización, de acuerdo con la ley del mínimo de Liebig.

Los valores de las variables de crecimiento en los tratamientos fertilizados fueron superiores a los presentados por el testigo. En todos los casos el porcentaje de crecimiento de los arbustos fertilizados con NPK + Mn-Zn es mayor que los fertilizados con sólo Mn-Zn (Cuadro 12).

Cuadro 12. Incremento relativo de los arbustos, en las variables con diferencia significativas por fertilización.

Variable de crecimiento	Nivel de fertilización		
	0	1	2
Longitud de rebrotes (%)	100	104.26	108.25
Biomasa (%)	100	114.76	146.30

Los tratamientos de fertilización en vara perilla incrementaron el crecimiento de sus variables morfológicas desde 4.26% hasta el 46.3 %, lo cual es consistente con lo determinado en otro estudio, en el cual se reporta que la aplicación de fertilizantes a *Betula glandulosa* Raup y a *Salix glauca* L. aumentó las tasas de crecimiento en 22 y 33%, respectivamente (Melnichuky Krebs, 2005). Tanto *Symphoricarpos microphyllus* como *Betula glandulosa* y *Salix glauca* son arbustos, sin embargo, la primera es semitolerante a la sombra (Hernández y Trejo, 2008), *Betula glandulosa* prefiere la luz aunque es tolerante a la sombra y *Salix glauca* es intolerante a la sombra.

Por otro lado, se encontró para *Atriplex parryis*. Wats. y *Sarcobatus vermiculatus* (Hook.) Torr., especies intolerantes, que la adición de fertilizantes aumenta su biomasa en más del doble (Breena, 2008), sin embargo ese estudio se realizó en condiciones de suelo pobre, situación distinta en el presente estudio.

El incremento del rendimiento después de la fertilización es la respuesta más usual de algunas especies intolerantes estudiadas; en *Pseudotsuga mensiezii*. fertilizado con NH_4NO_3 (224 y 448 kg ha⁻¹) y urea (448 kg ha⁻¹), se incrementó en 21, 9 y 7 % el diámetro (Dangerfield y Brix, 1981); para cedro rojo (*Cedrela odorata*) se determinó que la fertilización con dosis de 50 g NPK por árbol, resultó en un mayor incremento en diámetro y altura que un testigo (Castillo et al., 2008) y en plántulas de *Pinus jeffreyi* fertilizadas con N presentaron 129% más altura, 93% más diámetro y 865% más volumen que un testigo (Walker, 2005).

En relación al corte, es importante mencionar que efectivamente los arbustos cortados a 12 cm presentaron crecimientos mayores en cuatro de las siete variables analizadas (Número de rebrotes, suma de longitud de rebrotes, longitud de arbusto y biomasa), pero aquéllas en las que los arbustos cortados a 6 cm presentaron mayor crecimiento son de interés comercial y en éstas las diferencias fueron significativas (Cuadro 8). Algunas de estas respuestas de crecimiento son similares al mostrado por *Erica arborea* L., especie que presenta mayor número de rebrotes y diámetro promedio conforme aumenta la intensidad de daño de copa, pero sin efecto en su peso seco total y presentando una reducción de su altura promedio (Riba, 1998).

En vara perilla las variables altura, número de rebrotes y biomasa, mostraron la misma respuesta que arbustos de *Physocarpus malvaceus* (Greene) Kuntze cortados o quemados (a temperaturas de 200, 300 y 400 °C), pues todos rebrotaron y no mostraron diferencias en las variables altura, número de rebrotes y peso seco total la primera estación de crecimiento (Lea y Morgan, 1993).

No obstante es importante mencionar lo indicado por Tomoko *et al.* (2004), quienes mencionan que los patrones de respuesta de las plantas al corte son específicos de cada especie y dependen de sus características y el ambiente de luz en el que crecen, pues aunque el corte afecta la distribución de biomasa, el crecimiento y el tamaño de espécimen cortado sólo se han detectado leves efectos de tipo bioquímico y fisiológico (Baraza *et al.*, 2010)

En cuanto al número de rebrotes producidos para cada uso, no se encontraron diferencias significativas en los rebrotes sin uso por cada factor de tratamiento ni para la interacción. En los de uso para artesanías se encontró el efecto del corte, pero no de la fertilización ni de la interacción. Sin embargo, en aquellos que serían usados para escobas se presentó efecto sólo de la interacción (Cuadro 13).

Cuadro 13. Número de rebrotes promedio para cada uso.

Uso	Nivel de fertilización				Altura de corte		
	0	1	2	p	6 cm	12 cm	p
Sin uso	1.694	1.569	1.764	0.8038	1.481	1.870	0.1116
Artesanías	4.917	5.292	5.556	0.4965	4.880a	5.630b	0.0915*
Escobas	1.083	1.139	1.347	0.4973	1.278	1.102	0.3603

* Diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey con $p \leq 0.1$

Respecto a la interacción, solamente la variable número de rebrotes para escobas muestra efecto de la interacción. En ambos cortes, conforme incrementa el nivel de fertilización, incrementa el número de rebrotes para escobas, presentando el corte a 6 cm el mayor número de rebrotes para este uso (Figura 19). La respuesta anterior es similar a lo determinado en un estudio con *Cyperus esculentus* L., donde se encontró que la disponibilidad de nutrimentos y la frecuencia de corte tiende a afectar de forma independiente la mayor parte de su crecimiento (Tomoko *et al.*, 2004).

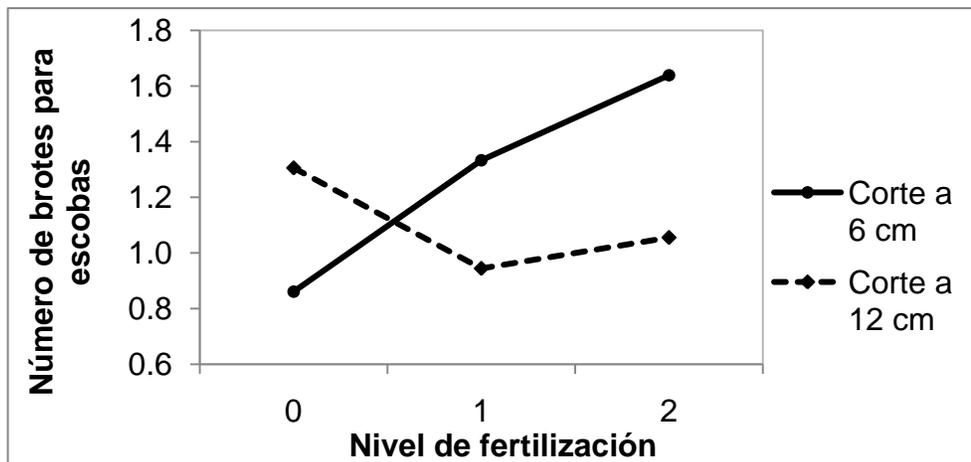


Figura 19. Efecto de la interacción entre la fertilización y el corte en el número de rebrotes para escobas.

Finalmente, la altura de corte que muestra respuestas favorables para el incremento de los valores de interés comercial en *Symphoricarpos microphyllus* es la realizada a 6 cm, pues aunque el número de rebrotes en ambos cortes es similar, con el corte a 6 cm éstos presentaban mayor longitud y diámetro, características deseables comercialmente, para poder colocarlos en el mercado ya sea para artesanías o para escobas.

La respuesta anterior pudiera parecer contradictoria, pues el dejar mayor longitud de tallo después del corte, implica mayor número de yemas, por ende mayor número de rebrotes; sin embargo, esta respuesta también fue observada en cinco arbustos de clima semiárido, en los que la pérdida del 90% de los rebrotes de crecimiento del año anterior, no sólo no limita la producción de nuevo crecimiento, sino que además produce mayor crecimiento de biomasa nueva, pues es la capacidad del arbusto para producir nuevo crecimiento la que determina la producción del mismo (Wandera *et al.*,1992). Adicionalmente, la dominancia apical es eliminada, permitiendo que las yemas basales generen nuevos rebrotes (Murphy y Briske, 1992).

Verificación de corrección de deficiencias

Análisis por fertilización

Las concentraciones foliares arrojadas por los análisis se presentan a continuación; en ningún caso se presentaron efectos de fertilización sobre el contenido foliar de cada nutrimento (Cuadro 14), sin embargo, el K presentó diferencias estadísticas en la concentración foliar (Cuadro 15).

Cuadro 14. Contenido foliar promedio de cada nutrimento por tratamiento de fertilización.

Nutrimento	Nivel de Fertilización			p
	0	1	2	
N (g)	13.51	15.55	15.33	0.8852
P (g)	1.548	1.872	1.896	0.7947
K (g)	9.661	13.654	11.618	0.6530
Mn (g)	0.136	0.143	0.164	0.8067
Zn (g)	0.053	0.059	0.078	0.5550

Cuadro 15. Concentración foliar promedio de cada nutrimento por tratamiento de fertilización.

Nutrimento	Nivel de fertilización			p
	0	1	2	
N (%)	1.74	1.66	1.67	0.3505
P (%)	0.19	0.20	0.20	0.7503
K (%)	1.16a	1.41b	1.31ab	0.0882
Mn (ppm)	146.29	165.77	180.73	0.2284
Zn (ppm)	65.68	62.04	75.54	0.3121

Contrario a lo que se aprecia en el Cuadro 15 para vara perilla, en *Erica multiflora* la fertilización nitrogenada aumentó la concentración de N, y la fertilización fosfatada aumentó significativamente la concentración de P, lo que muestra que *Erica multiflora* tiene capacidad para redistribuir nutrimentos y modificar las proporciones relativas de los mismos en la biomasa aérea (Sardans *et al.*, 2006).

Para vara perilla, el contenido de los nutrimentos aplicados no aumenta después de la fertilización, tendencia que es contraria a la presentada por un rodal de *Pinus sylvestris* L., donde los efectos fueron estudiados 13 años después de la fertilización (con PK y con NPK) y 4 años después de la re-fertilización (con NPK). Al principio, el efecto de la fertilización fue apenas visible y la re-fertilización aumentó la producción anual de biomasa de árboles y el contenido de macronutrimentos en los mismos así como la cantidad de nutrimentos en la hojarasca (Paavilainen, 1980).

Para las concentraciones nutrimentales, la respuesta de vara perilla aumentando la concentración de K sin ser aplicado fue diferente de la observada en *Kalmia angustifolia* (Malik, 1996), pues esta especie intolerante alteró significativamente sus concentraciones de NPK cuando éstos fueron aplicados. Sin embargo el aumento de la concentración de un nutrimento no aplicado puede deberse a efectos indirectos de otros elementos (Mn y Zn). Está documentado que las interacciones entre algunos nutrimentos afectan la disponibilidad de otros (Román *et al.*, 2001).

Para *Protea repens*, arbusto esclerófilo, el contenido de P foliar, en tallos y total incrementa con crecientes aplicaciones de dicho nutrimento, al igual que el área foliar; sin embargo, la aplicación creciente de N disminuye su contenido en la raíz y el área foliar de la planta (Witkowski, 1989), situación que se cumple sólo de manera parcial para vara perilla, pues ni la concentración, ni el contenido de los nutrimentos mencionados, incrementa sólo la biomasa total.

Aun cuando la mayoría de los valores medios de concentraciones son semejantes entre tratamientos de fertilización, sus tendencias no lo son. Las gráficas de los nutrimentos para aquellos arbustos que no fueron fertilizados presentan pendientes positivas para los cinco nutrimentos analizados (Figuras 20 a 24), mientras que los arbustos que fueron fertilizados muestran pendientes negativas para Nitrógeno, Fósforo y Manganeso en el caso de la fertilización con micronutrimentos (Figuras 25 a 29) y Nitrógeno, Potasio y Manganeso para la fertilización con micro y macronutrimentos (Figuras 30 a 34).

Lo anterior fue contrario a lo esperado, es decir que las gráficas del testigo presentaran pendientes negativas indicando deficiencia. Sin embargo, es posible que durante el año en curso, el factor limitativo haya sido distinto al nutrimental, lo que justificaría el proceso de concentración sufrido por los nutrimentos. Lo anterior, con base en que múltiples investigaciones que han señalado que el factor limitativo es alternante y que una vez que éste se corrige surge otro nuevo (Sumner, 1977a; 1977b; Moreno *et al.*, 2002). Que puede ser otro nutrimento o incluso un factor no nutrimental como a disponibilidad de agua o luz, entre otros.

En este caso, el factor limitativo, posiblemente esté relacionado con la cantidad de luz recibida por los arbustos, pues aunque al momento de la instalación del experimento se tenía media sombra, el crecimiento del año en curso pudo generar más sombra de la óptima para los arbustos de vara perilla.

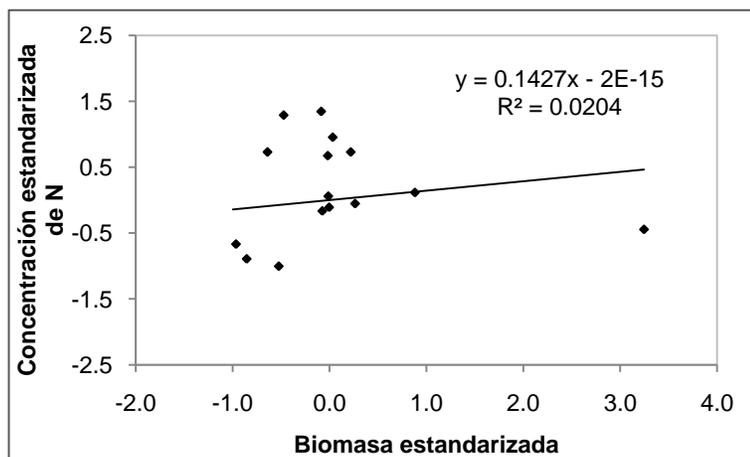


Figura 20. Nitrógeno concentrado en tratamiento testigo.

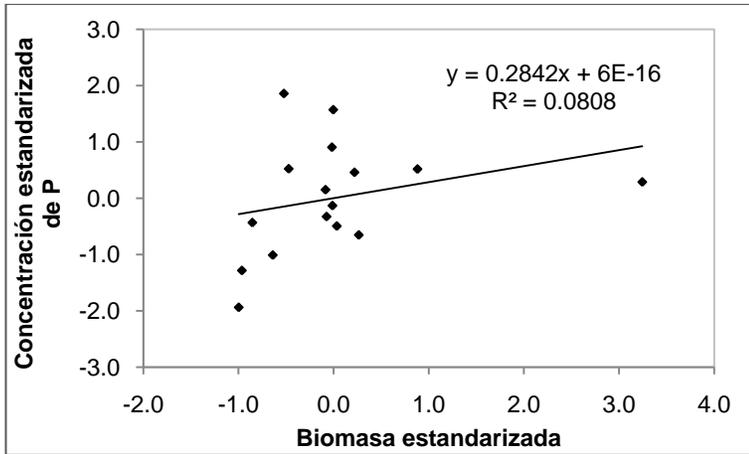


Figura 21. Fósforo concentrado en tratamiento testigo.

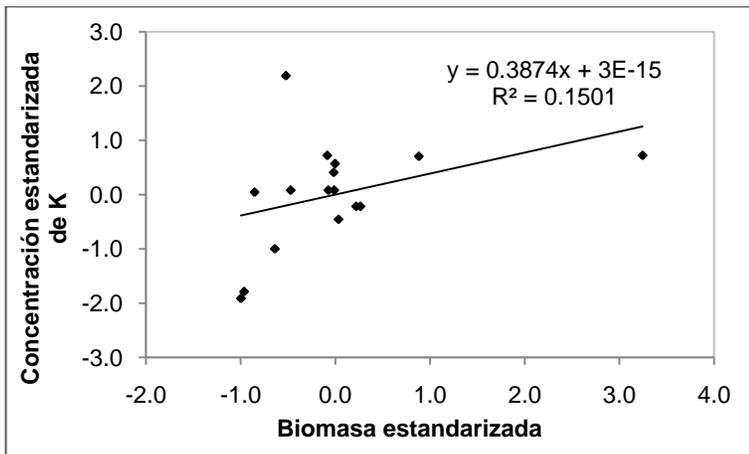


Figura 22. Potasio concentrado en tratamiento testigo.

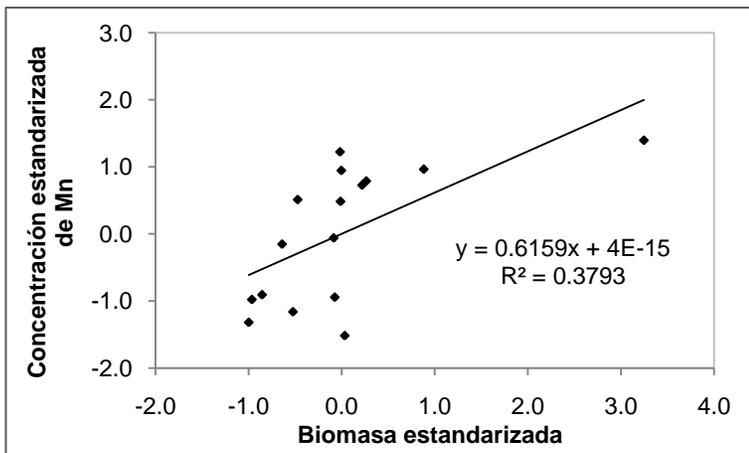


Figura 23. Manganeso concentrado en tratamiento testigo

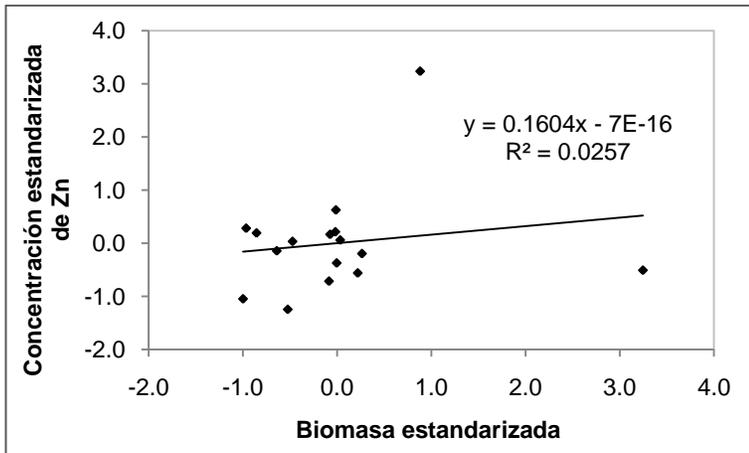


Figura 24. Zinc concentrado en tratamiento testigo

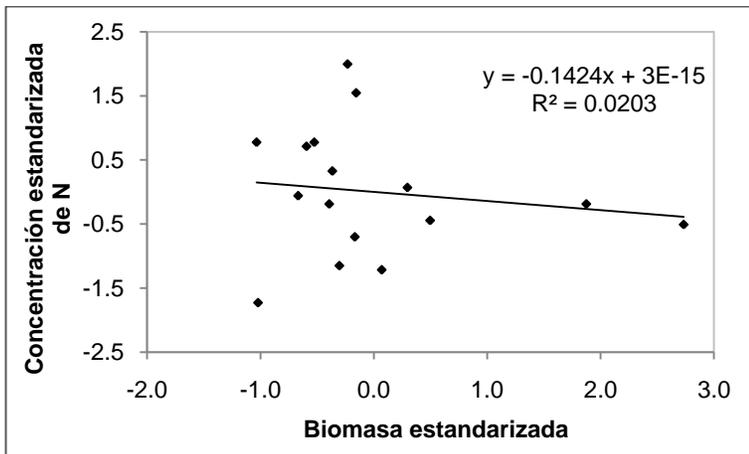


Figura 25. Nitrógeno diluido en fertilización con micronutrientos.

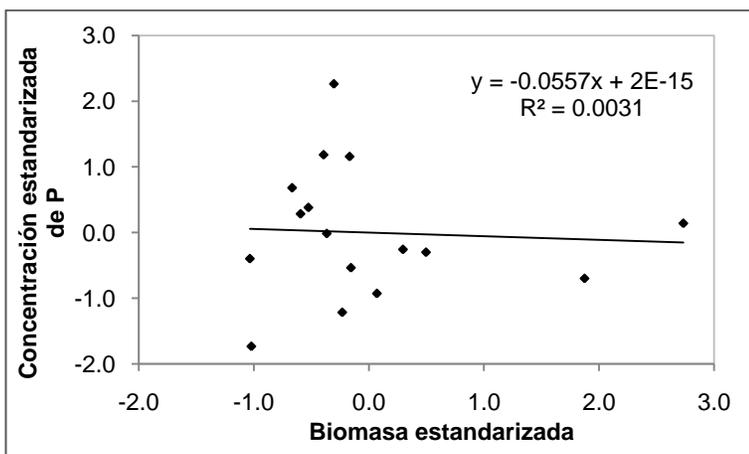


Figura 26. Fósforo diluido en fertilización con micronutrientos.

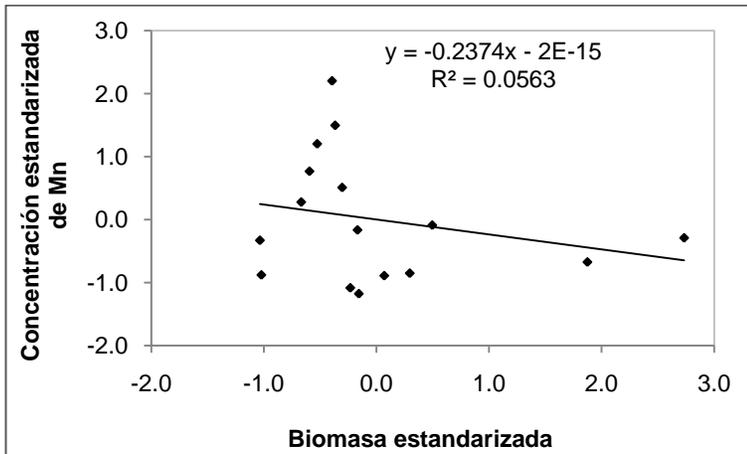


Figura 27. Manganeso diluido en fertilización con micronutrientes.

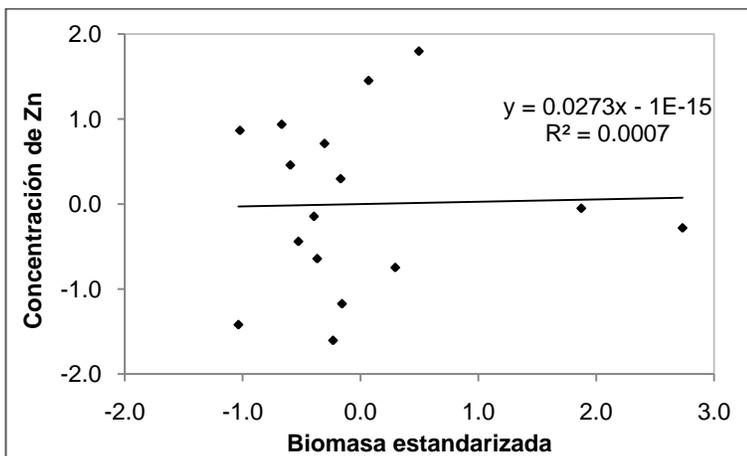


Figura 28. Zinc suficiente en fertilización con micronutrientes.

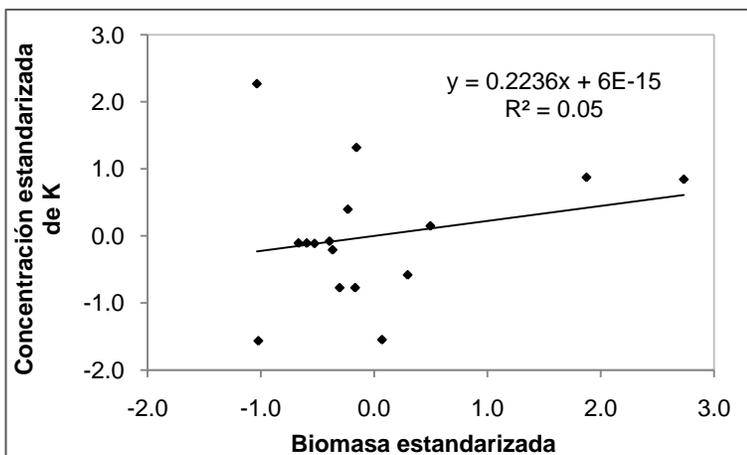


Figura 29. Potasio concentrado en fertilización con micronutrientes.

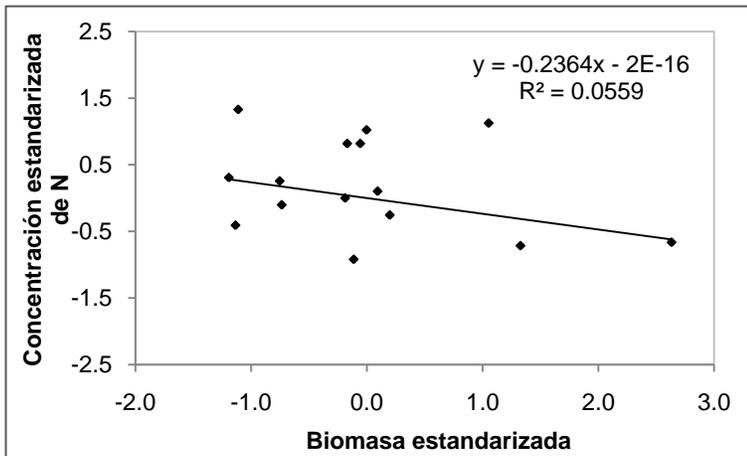


Figura 30. Nitrógeno diluido en fertilización con NPK+Mn-Zn.

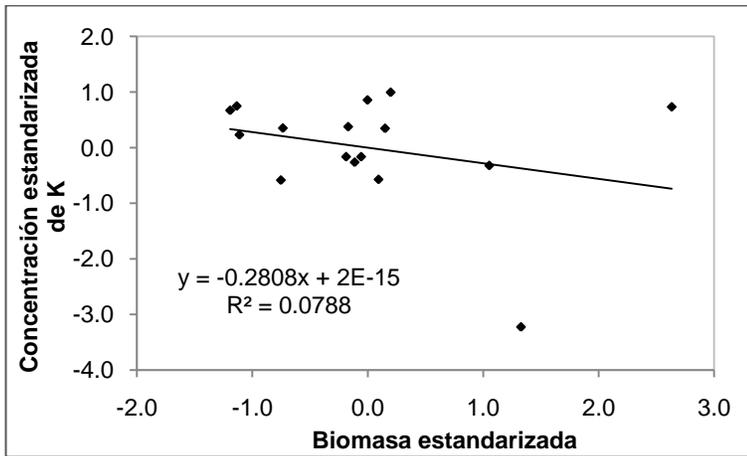


Figura 31. Potasio diluido en fertilización con NPK+Mn-Zn.

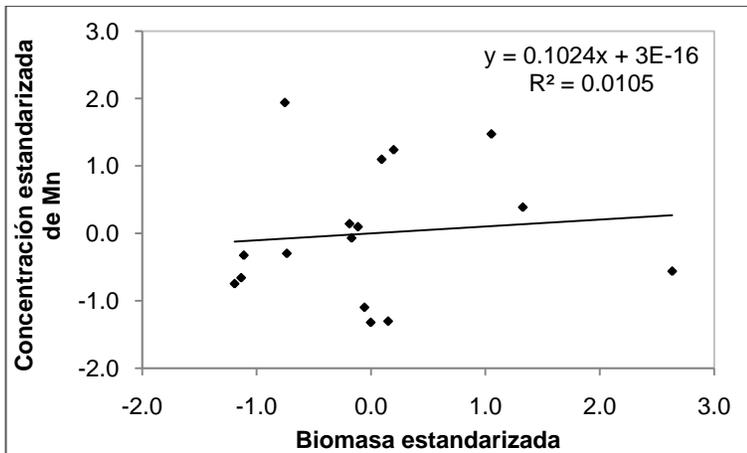


Figura 32. Manganeso concentrado en fertilización con NPK+Mn-Zn.

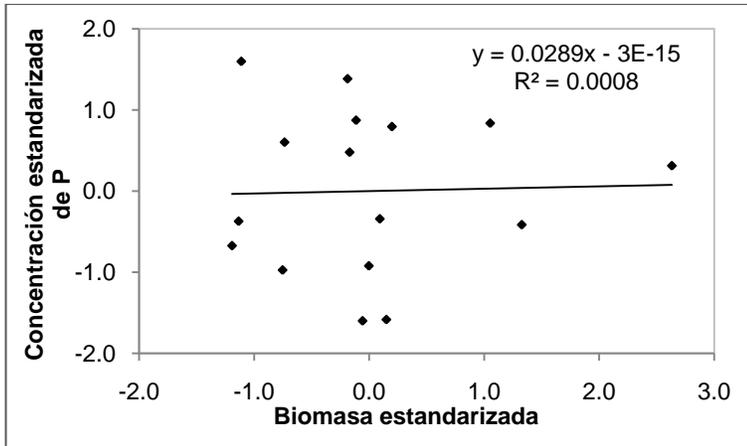


Figura 33. Fósforo suficiente en fertilización con NPK+Mn-Zn.

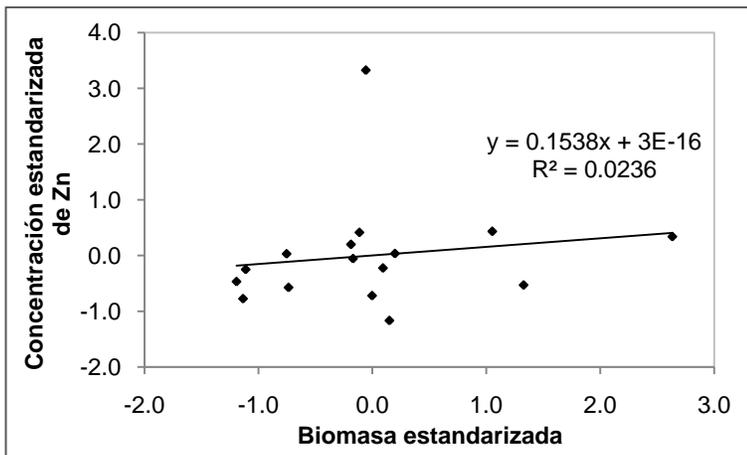


Figura 34. Zinc concentrado en fertilización con NPK+Mn-Zn.

En la fertilización con micro y macronutrientes sólo la deficiencia de Zn fue remediada y la deficiencia prevaletante de N, K y Mn podría significar que la dosis no fue suficiente para remediar dicha deficiencia. El hecho de que P se haya concentrado cuando al momento del diagnóstico era suficiente, se debe a que fue añadido en el tratamiento.

La respuesta encontrada podría explicarse si se considera que *Shymphoricarpos microphyllus* pudo diluir la fuente de nitrógeno en el nuevo crecimiento mostrado a partir del corte, lo cual es consistente con la respuesta observada anteriormente en *Betula nana*, especie que de igual manera fue capaz de diluir su fuente de nutrientes en un nuevo crecimiento. Al ser fertilizada con N y P por 15 años, en el año 15 las plantas fertilizadas disminuyeron su biomasa foliar pero aumentaron su área foliar y disminuyeron el grosor de las hojas, que en sentido nutricional implica menor costo de producción, que le permite una mayor asignación de nutrientes para el crecimiento. Esta especie aumentó (Gaius *et al.*, 2001).

Aunque la metodología de tendencias de concentración muestra que las deficiencias determinadas en febrero no fueron corregidas totalmente, el diagnóstico fue adecuado, pues al aplicar los nutrientes determinados aumentaron los valores de las variables de crecimiento medidas. Situación que es similar con lo obtenido por López y Estañol (2007) quienes aplicaron la misma metodología para diagnosticar deficiencias nutricionales en *Pinus leiophylla*.

Análisis por corte

Los valores de las concentraciones foliares promedio obtenidas de los arbustos con cada corte se muestran en los Cuadros 16 y 17. Las diferencias en concentración y contenido no son significativas entre cortes.

Cuadro 16. Concentración foliar promedio de cada nutrimento por corte.

Nutrimento	Corte a 6 cm	Corte a 12 cm	p
N (%)	1.71	1.67	0.5272
P (%)	0.20	0.20	0.9003
K (%)	1.28	1.31	0.7524
Mn (ppm)	173.24	155.29	0.2717
Zn (ppm)	64.49	71.01	0.3811

Cuadro 17. Contenido foliar promedio de cada nutrimento por corte.

Nutrimento	Corte a 6 cm	Corte a 12 cm	p
N (g)	15.44	14.16	0.7313
P (g)	1.90	1.65	0.5920
K (g)	12.60	10.69	0.5884
Mn (g)	0.156	0.139	0.6575
Zn (g)	0.060	0.066	0.7674

En el análisis para el corte a 6 cm, se observó que N se diluyó con el crecimiento mostrado por vara perilla hasta alcanzar un estado de deficiencia (Figura 35 a Figura 39) y para el corte a 12 cm los nutrimentos deficientes fueron N, P y K (Figura 40 a Figura 44); lo que puede atribuirse a que con el corte a 12 cm los arbustos presentaron mayor crecimiento generando dilución de esos nutrimentos en sus tejidos.

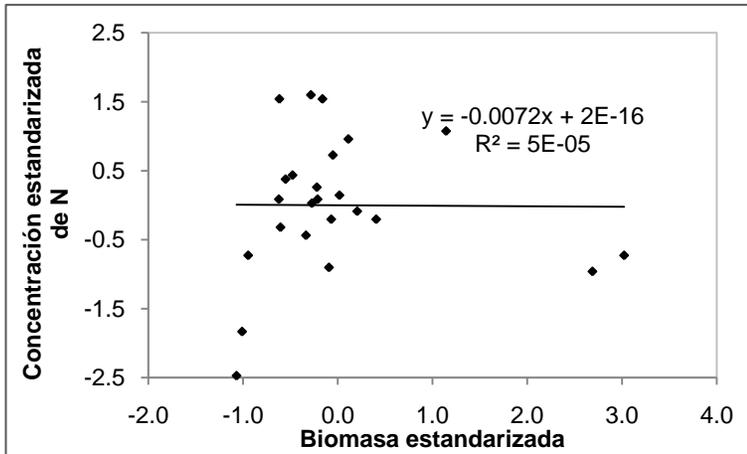


Figura 35. Nitrógeno diluido en arbustos con corte a 6 cm.

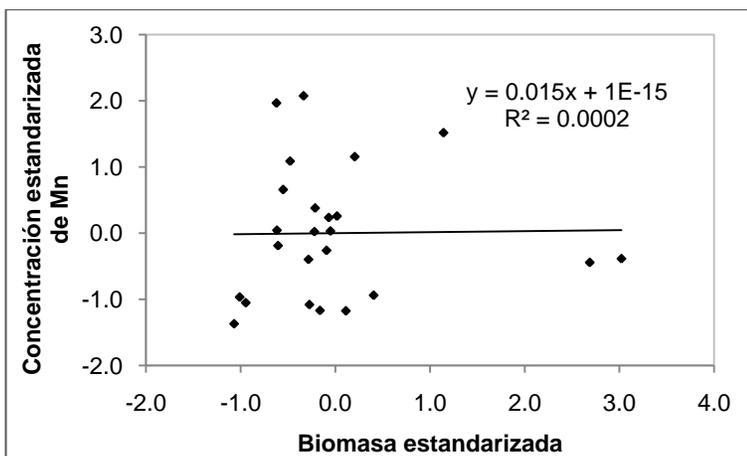


Figura 36. Manganeso suficiente en arbustos con corte a 6 cm.

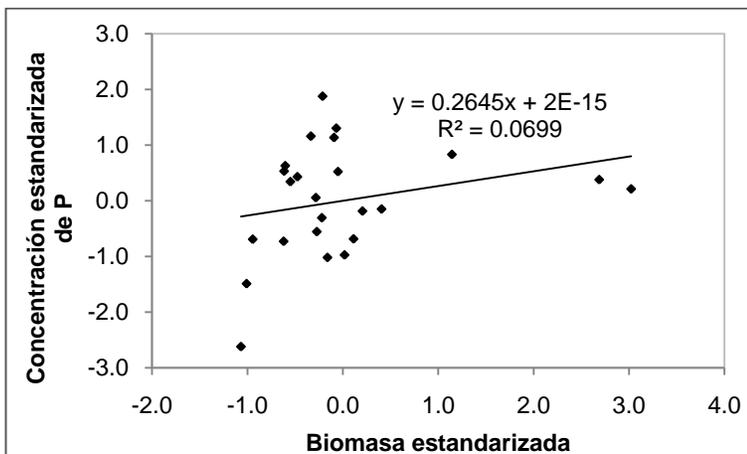


Figura 37. Fósforo concentrado en arbustos con corte a 6 cm.

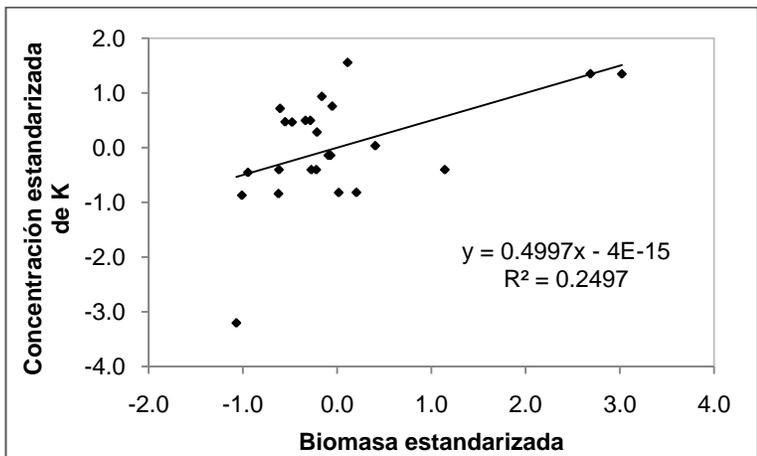


Figura 38. Potasio concentrado en arbustos con corte a 6 cm.

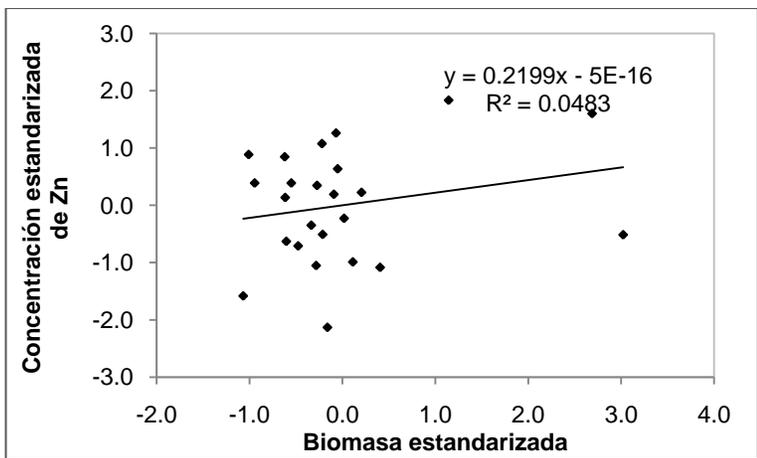


Figura 39. Zinc concentrado en arbustos con corte a 6 cm

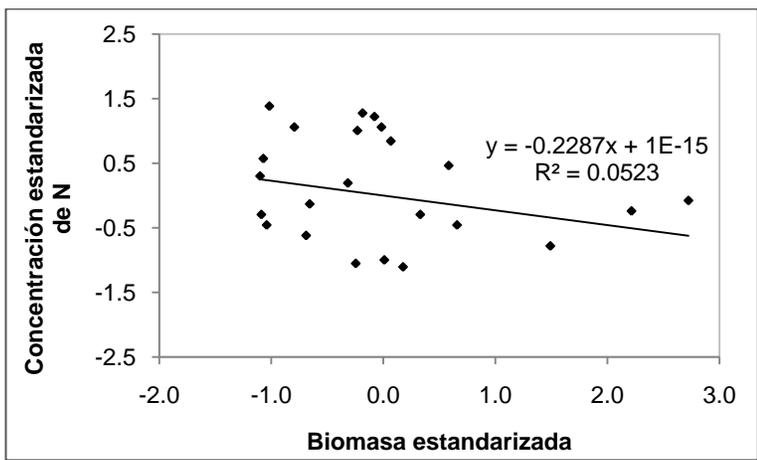


Figura 40. Nitrógeno diluido en arbustos con corte a 12 cm.

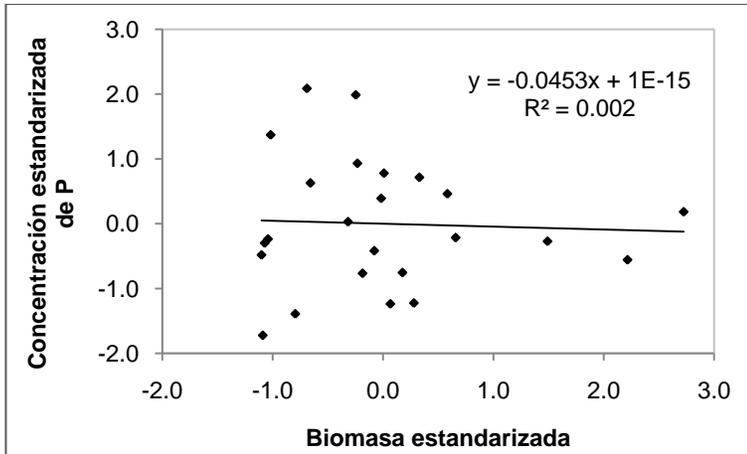


Figura 41. Fósforo diluido en arbustos con corte a 12 cm

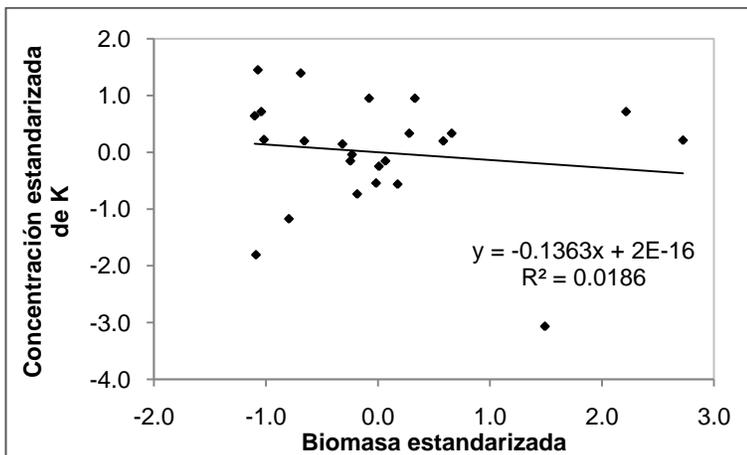


Figura 42. Potasio diluido en arbustos con corte a 12 cm

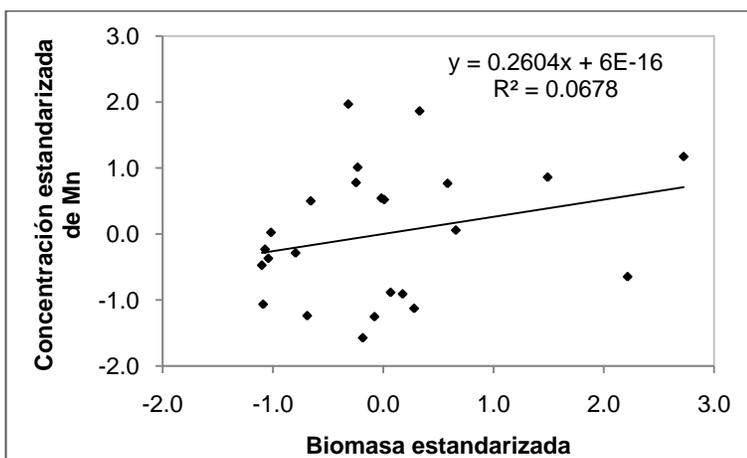


Figura 43. Manganeso concentrado en arbustos con corte a 12 cm

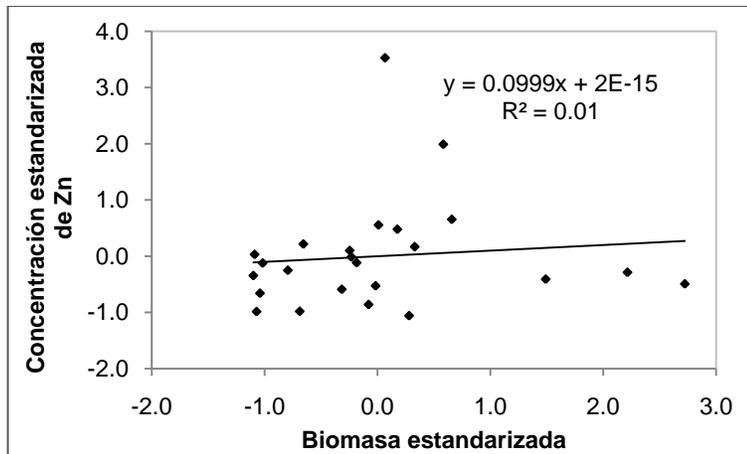


Figura 44. Zinc concentrado en arbustos con corte a 12 cm

La remoción de biomasa aérea se traduce en un fuerte estrés para cualquier planta sea herbácea, arbustiva o arbórea; tal remoción puede ser total o parcial y puede llevarse a cabo mediante un corte, quema o herbivoría. De cualquier manera que ocurra, implica que la planta debe recuperar la biomasa removida, para lo cual tomará los nutrimentos que tenga disponibles y la concentración y contenido de los mismos en el arbusto tiene distintas respuestas.

En vara perilla el corte implicó dilución de al menos un nutrimento. Similarmente, otras especies estudiadas han mostrado que cuando se les remueve la biomasa aérea, se tiene como consecuencia que se disminuye la concentración foliar de algún nutrimento, por ejemplo, en el arbusto *Charmicaelia odorata* Hook. para recuperarse de un corte, causa disminución tanto del crecimiento como de la concentración de P en vecinos (Largerström, 2011); y en *Caragana korshinskii* Kom., habiendo cortado distintos porcentajes del tallo principal, el contenido de nitrógeno de las semillas y vainas fue similar en los tratamientos (Fang, 2007).

Análisis de la interacción entre fertilización y corte

Al analizar las concentraciones, contenidos y las tendencias de concentración conjuntando los dos factores de tratamiento, se obtuvo que sólo el contenido de manganeso presentó efecto de la interacción ($p=0.0869$). En la figura 45 se aprecia la tendencia del contenido foliar de Mn con cada corte. Los valores de concentración foliar para cada nutrimento se presentan en el cuadro 18 y los de contenido en el cuadro 19.

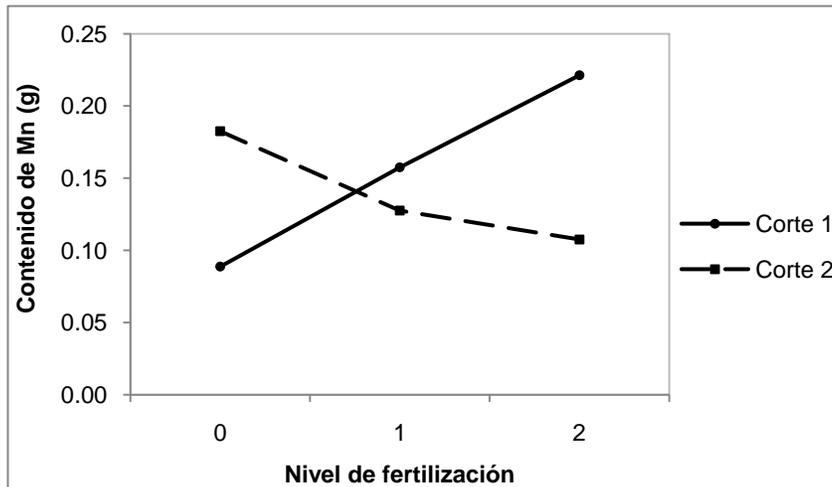


Figura 45. Interacción entre la fertilización y el corte en el contenido foliar de manganeso.

Cuadro 18. Concentración foliar promedio de cada nutrimento.

Altura de corte	6 cm			12 cm		
	Fertilización 0	Fertilización 1	Fertilización 2	Fertilización 0	Fertilización 1	Fertilización 2
N (%)	1.72	1.67	1.73	1.76	1.65	1.61
P (%)	0.18	0.20	0.21	0.20	0.20	0.19
K (%)	1.14	1.36	1.34	1.19	1.46	1.28
Mn (ppm)	142.58	174.19	202.95	149.99	157.36	158.52
Zn (ppm)	61.93	58.54	73.01	69.44	65.54	78.07

Cuadro 19. Contenido foliar promedio de cada nutrimento.

Altura de corte	6 cm			12 cm		
	Fertilización	0	1	2	0	1
N (g)	6.83	14.09	16.89	12.49	13.22	6.34
P (g)	1.11	2.01	2.58	1.99	1.74	1.22
K (g)	6.83	14.09	16.89	12.49	13.22	6.34
Mn (g)	0.089	0.158	0.221	0.183	0.128	0.108
Zn (g)	0.034	0.054	0.094	0.073	0.064	0.063

Para vara perilla, la concentración de Nitrógeno no se presentó efecto de la fertilización, situación contraria con la observada en un bosque de abedul, en donde tanto la perturbación como la fertilización nitrogenada, aumentaron la concentración de N en las plantas vasculares (Manninen *et al.*, 2011).

En vara perilla sólo el Mn sufrió efecto de la interacción entre disponibilidad de nutrimentos y corte, para otras especies se ha encontrado efecto de la interacción entre estos factores, tal es el caso del junco *Cyperus esculentus* cultivado en dos niveles de nutrimentos y se les aplicó hasta tres cortes, quitando en cada corte la mitad de los miembros producidos vegetativamente. La disponibilidad de nutrimentos y la frecuencia de corte no influyen en la concentración foliar de carbono en la cosecha, pero ambos aumentaron la concentración de nitrógeno de las hojas, y por tanto redujeron la relación C / N (Tomoko *et al.*, 2004)

De las muestras testigo con el corte a 6 cm, ningún nutrimento se diluyó (Figuras 46 a 50) mientras que con el corte a 12 cm lo hizo el Nitrógeno (Figuras 51 a 55).

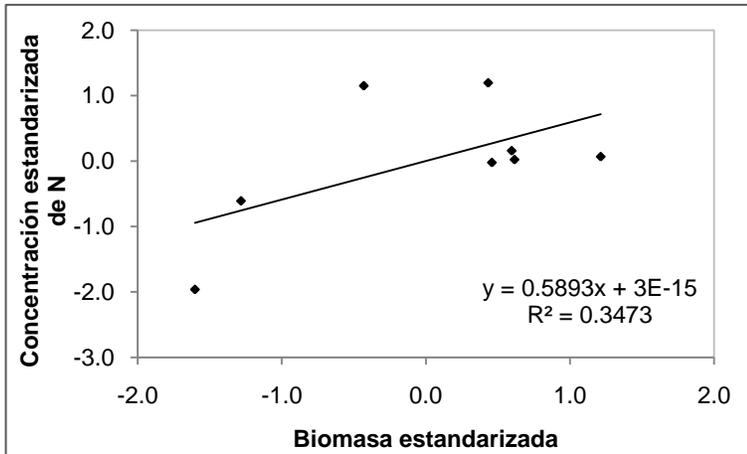


Figura 46. Nitrógeno concentrado en testigo cortado a 6 cm.

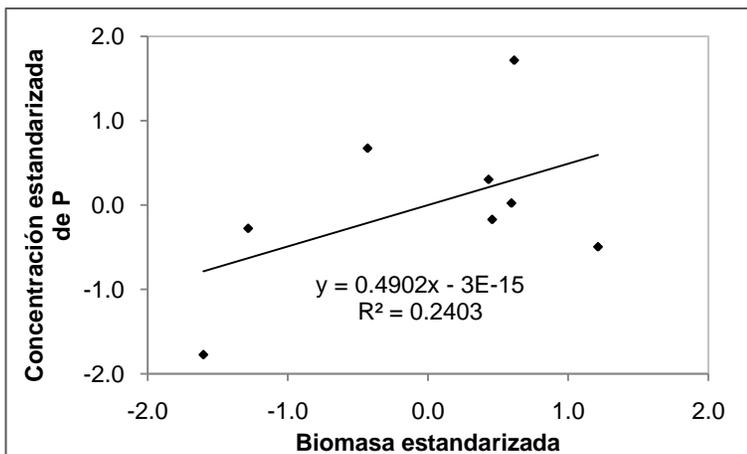


Figura 47. Fósforo concentrado en testigo cortado a 6 cm.

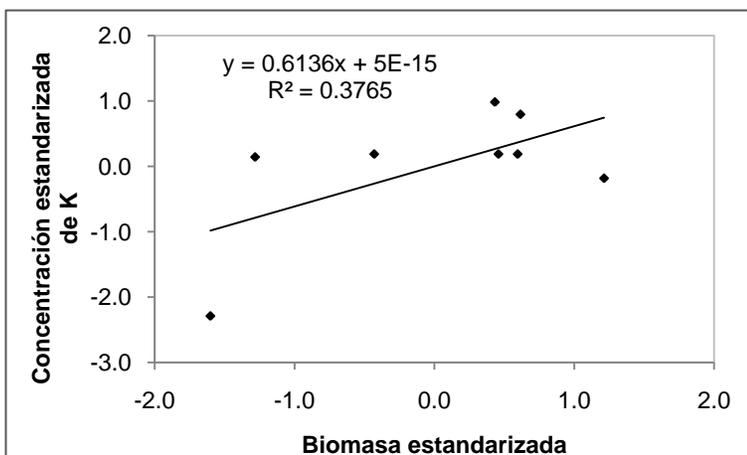


Figura 48. Potasio concentrado en testigo cortado a 6 cm.

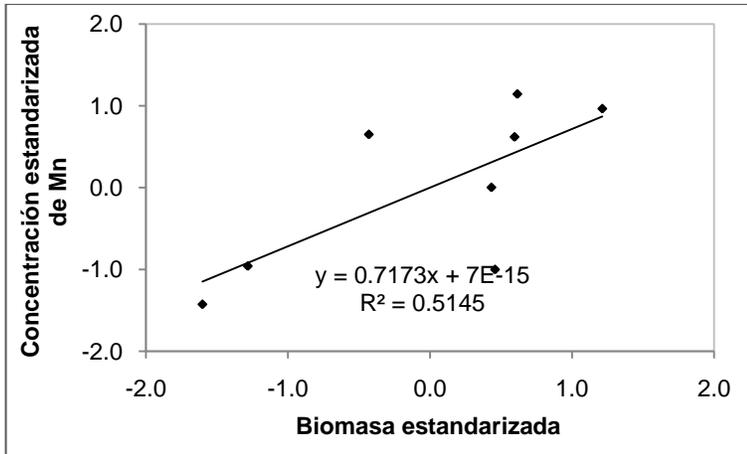


Figura 49. Manganeso concentrado en testigo cortado a 6 cm.

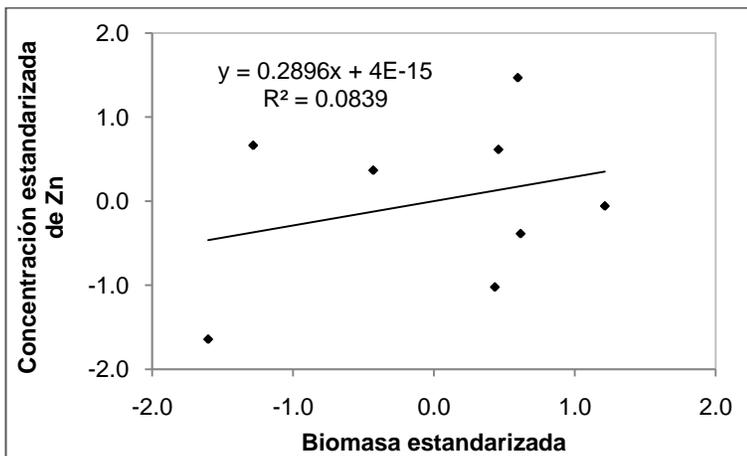


Figura 50. Zinc concentrado en testigo cortado a 6 cm.

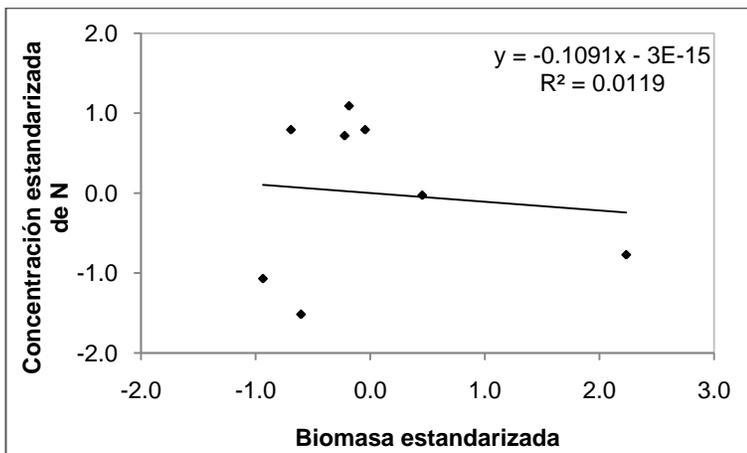


Figura 51. Nitrógeno diluido en testigo cortado a 12 cm.

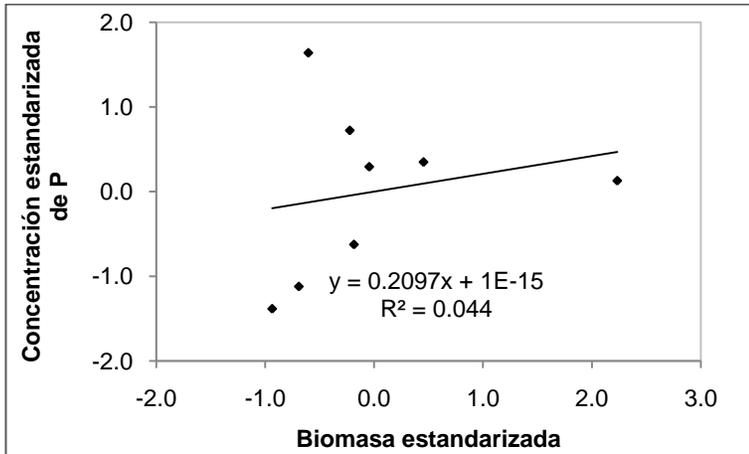


Figura 52. Fósforo concentrado en testigo cortado a 12 cm.

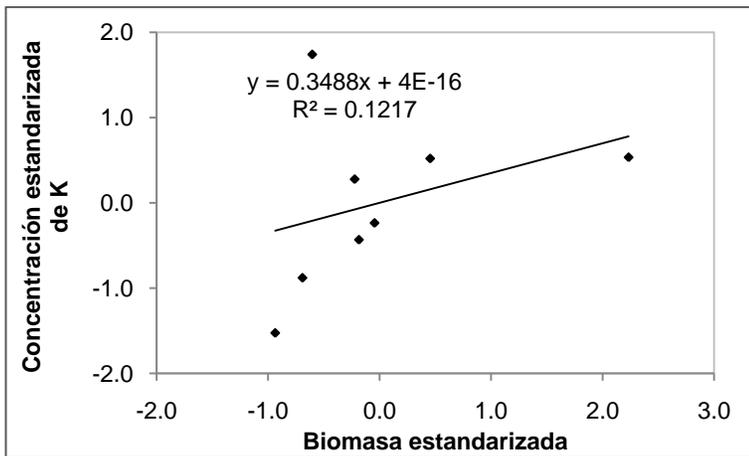


Figura 53. Potasio concentrado en testigo cortado a 12 cm.

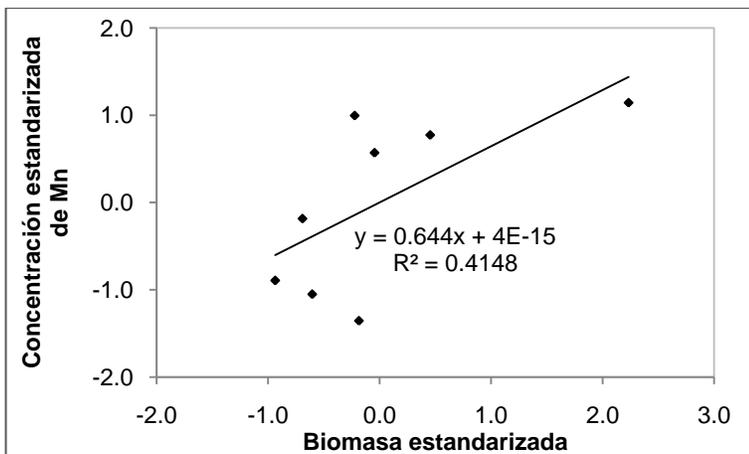


Figura 54. Manganeso concentrado en testigo cortado a 12 cm.

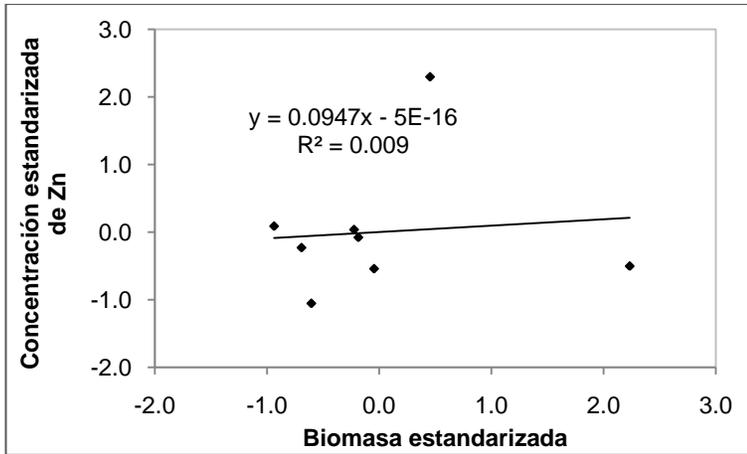


Figura 55. Zinc concentrado en testigo cortado a 12 cm.

En la fertilización con micronutrientes y con el corte a 6 cm se encontró pendiente negativa para Nitrógeno, Manganeso y Zinc (Figuras 56 a 60) mientras que para el corte a 12 cm fueron Nitrógeno y Potasio los elementos que se diluyeron (Figuras 61 a 65).

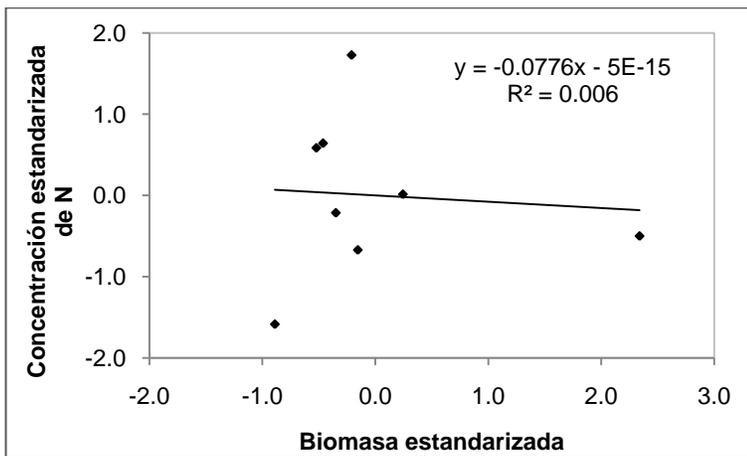


Figura 56. Nitrógeno diluido en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.

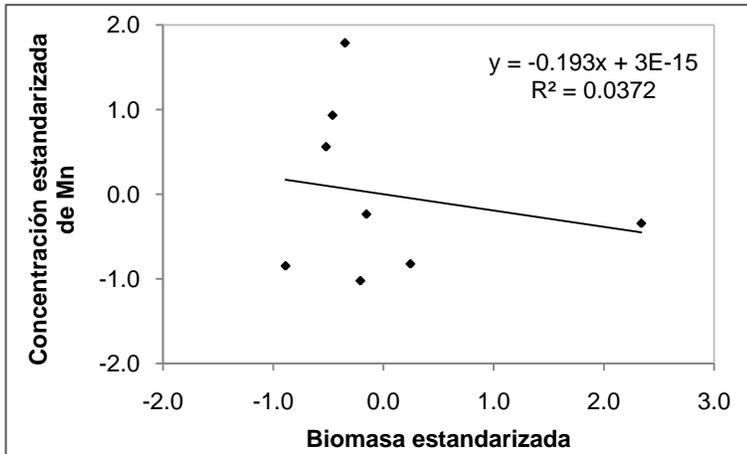


Figura 57. Manganeso diluido en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.

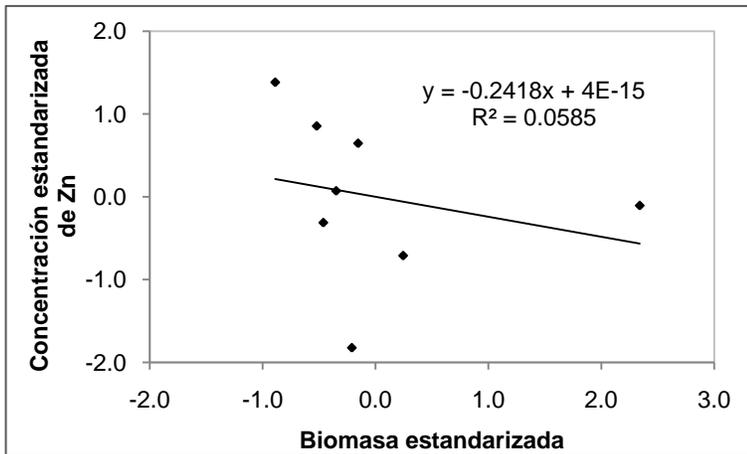


Figura 58. Zinc diluido en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.

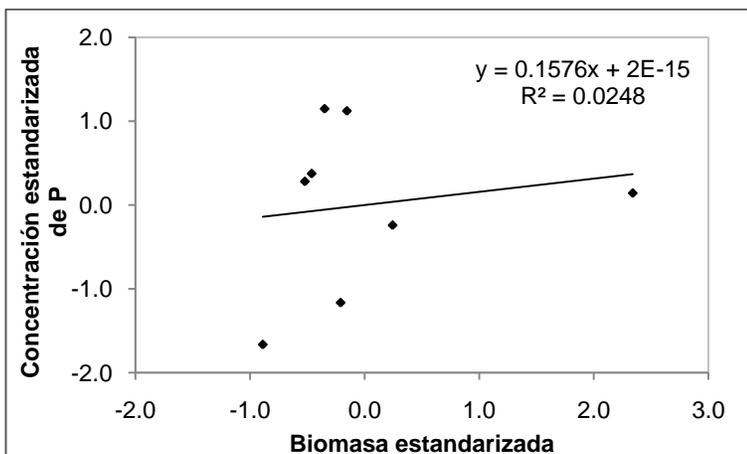


Figura 59. Fósforo concentrado en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.

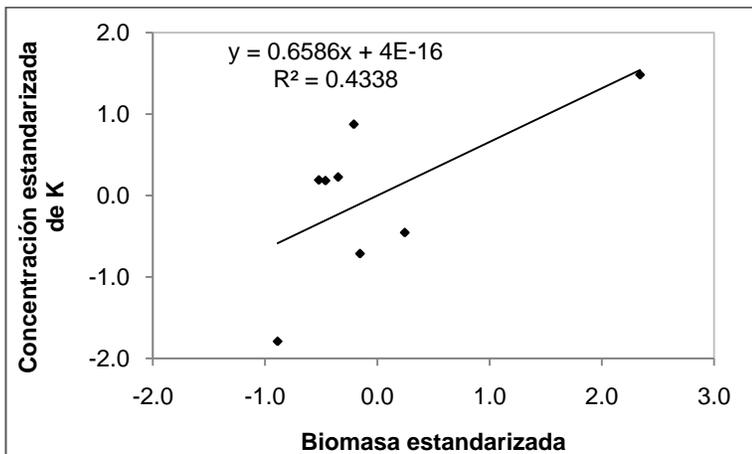


Figura 60. Potasio concentrado en fertilización con Mn-Zn y corte a 6 cm.

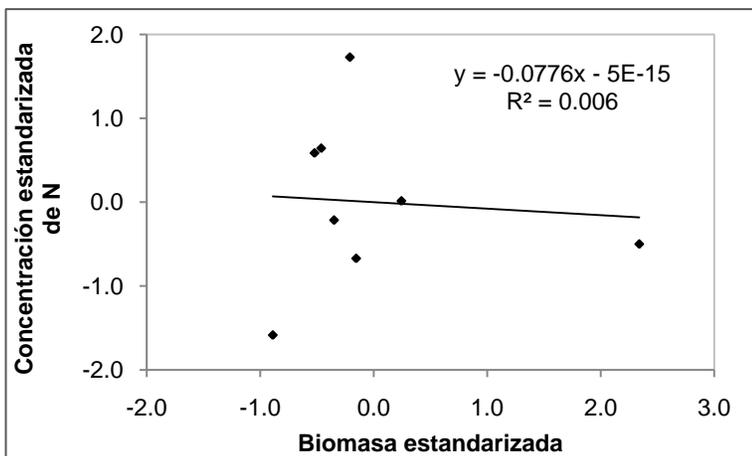


Figura 61. Nitrógeno diluido en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.

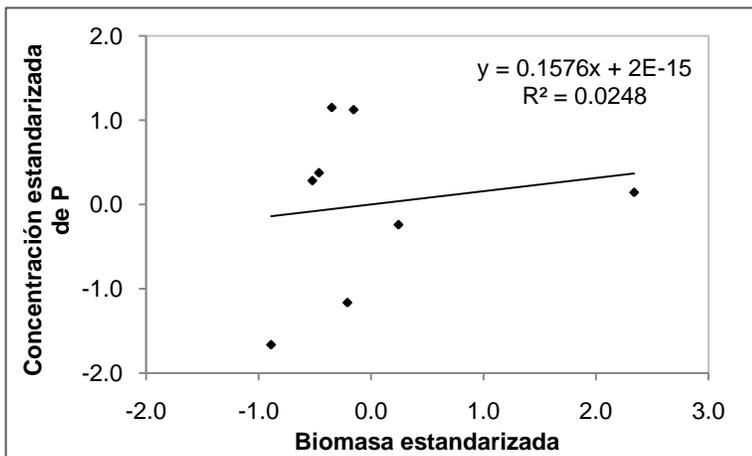


Figura 62. Fósforo concentrado en fertilización con Mn-Zn y corte a 12 cm.

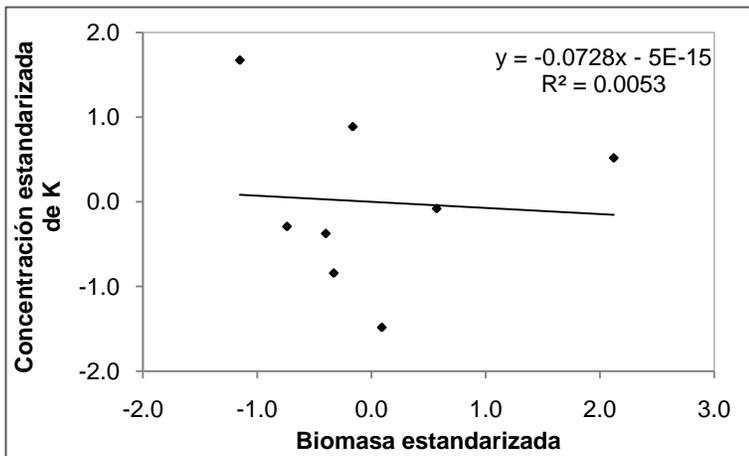


Figura 63. Potasio diluido en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.

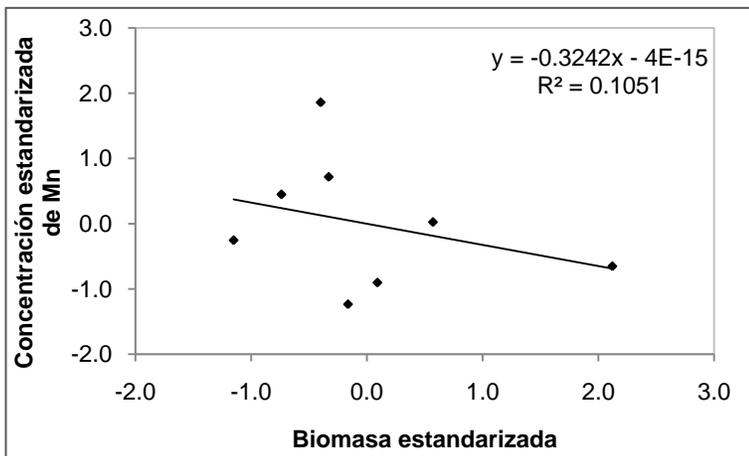


Figura 64. Manganeseo diluido en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.

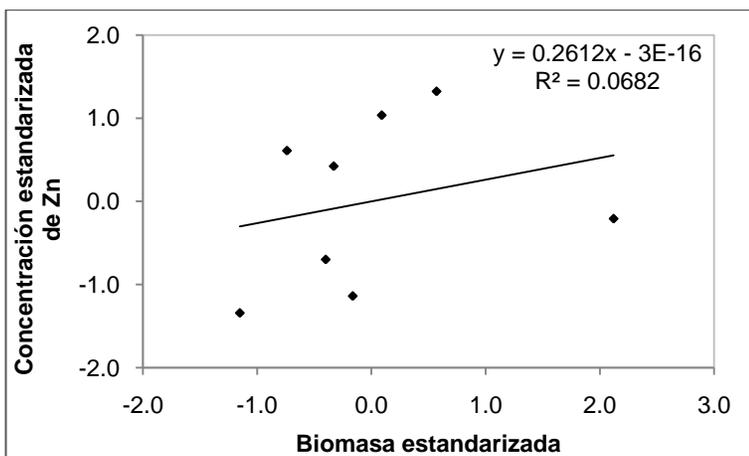


Figura 65. Zinc concentrado en fertilización Mn-Zn y corte a 12 cm.

En la fertilización con micro y macronutrientes, para el corte a 6 cm, el Nitrógeno y el Manganeso fueron los nutrientes que presentaron dilución (Figuras 66 a 70), mientras que con el corte a 12 cm el Nitrógeno, el Fósforo y el Potasio fueron deficientes (Figura 71 a Figura 75).

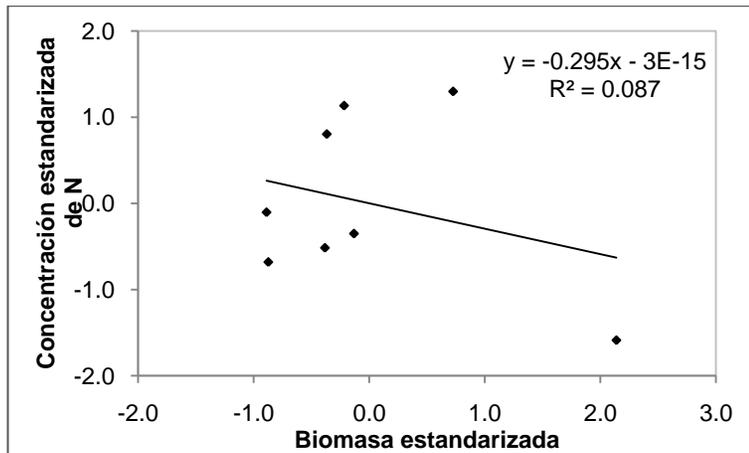


Figura 66. Nitrógeno diluido en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.

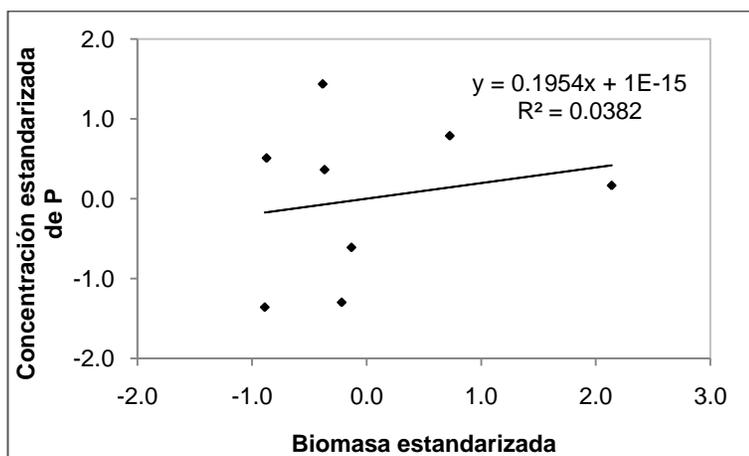


Figura 67. Fósforo concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.

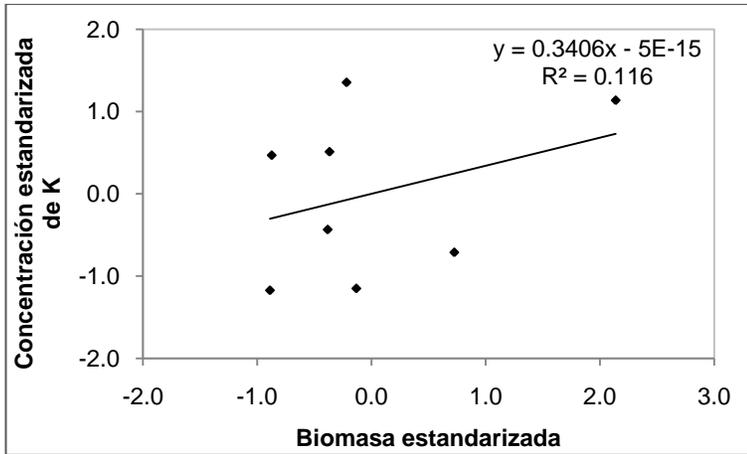


Figura 68. Potasio concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.

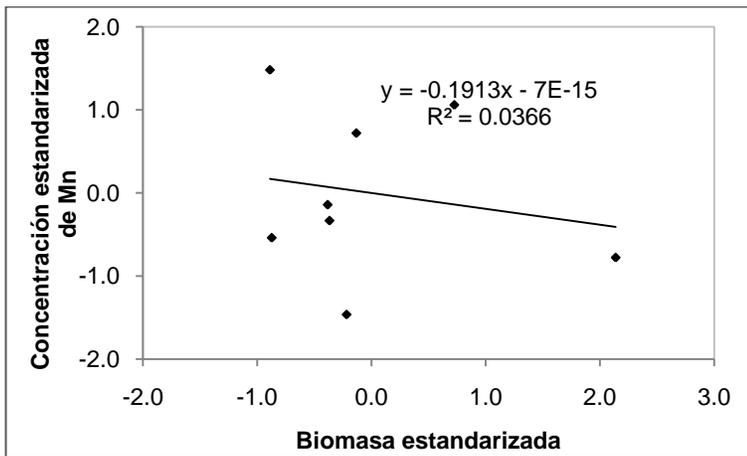


Figura 69. Manganeso diluido, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.

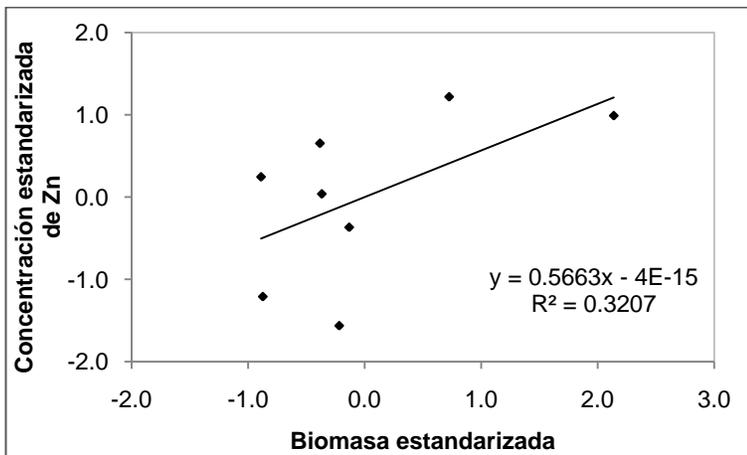


Figura 70. Zinc concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 6 cm.

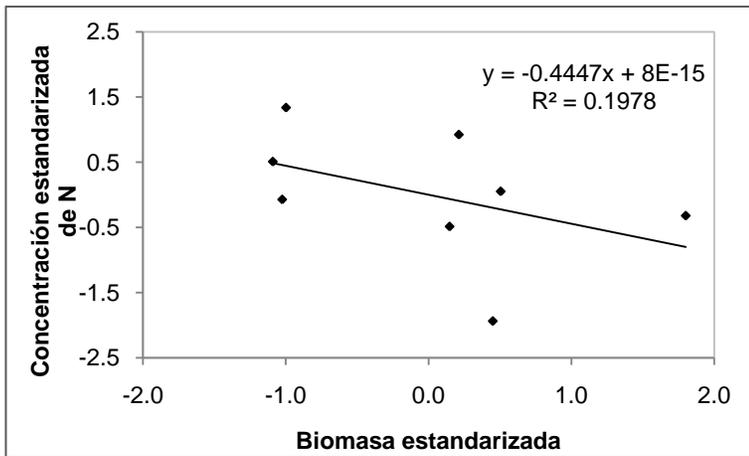


Figura 71. Nitrógeno diluido, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm.

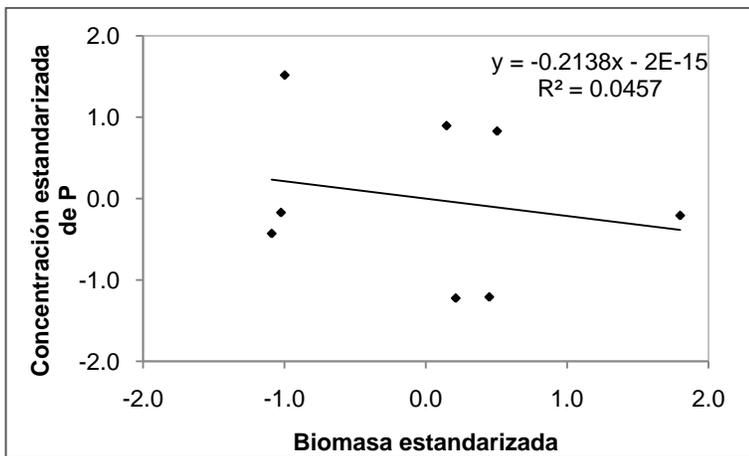


Figura 72. Fósforo diluido en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm.

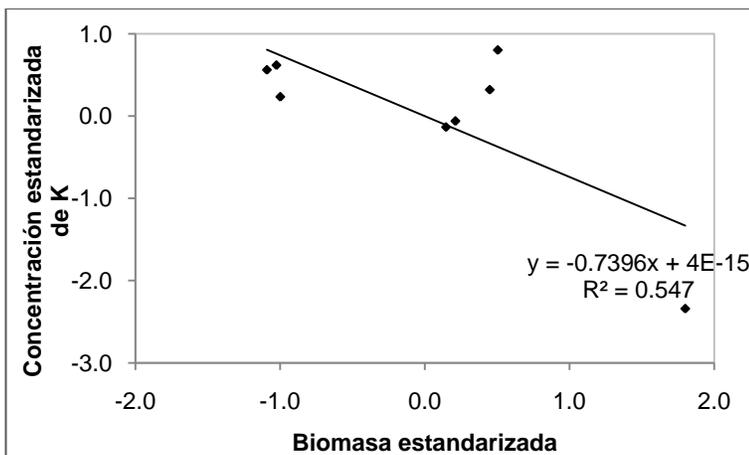


Figura 73. Potasio diluido en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm

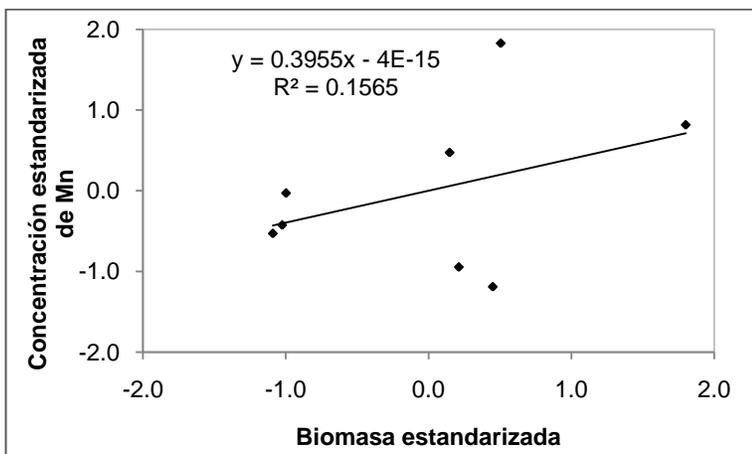


Figura 74. Mn concentrado en la fertilización con NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm

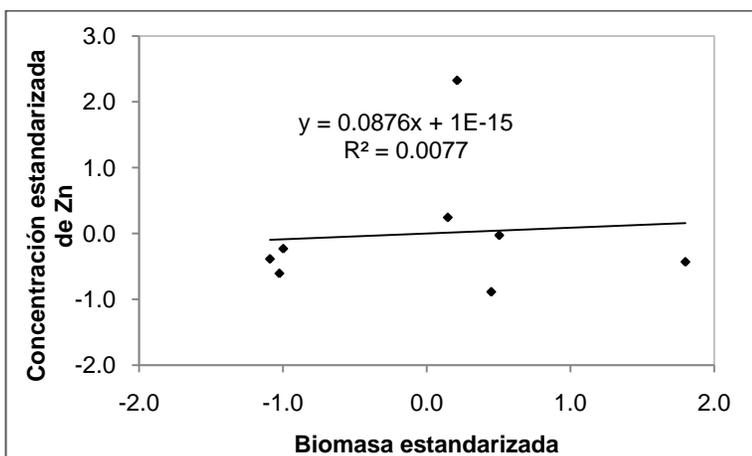


Figura 75. Zinc concentrado, en fertilización NPK+Mn-Zn y corte a 12 cm

En todos los tratamientos prevalece el Nitrógeno como nutrimento limitativo. La causa por la cual se muestran deficientes los nutrimentos que fueron aplicados es porque la cantidad aplicada de fertilizante fue insuficiente. Por ello se recomienda aplicar dosis repetidas de la misma cantidad de fertilizante. Las deficiencias de los nutrimentos que resultaron limitativos en el crecimiento fueron parcialmente corregidas pues aunque los arbustos presentaron mejora en el incremento, todavía se detectan deficiencias en los análisis foliares.

Efecto de la fertilización en la concentración foliar de los nutrientes aplicados

Con el método gráfico de análisis de vectores, se analizó el efecto que tuvo la fertilización sobre la concentración y contenido de nutrientes y también sobre la biomasa.

Las concentraciones y contenido foliares de los nutrientes aplicados fueron analizados por fertilización y corte. En las concentraciones, la diferencia entre tratamientos no fue significativa; sin embargo, el contenido nutrimental foliar de Nitrógeno presentó efecto del corte y el Fósforo tuvo efecto de la interacción (Cuadro 21). El efecto de la interacción se muestra en la Figura 76, donde se observa que en la medida que aumenta el nivel de fertilización los contenidos se hacen más próximos entre tratamientos.

Cuadro 20. Contenido foliar promedio de 150 hojas de vara perilla

Nutrimento	Fertilización				Altura de corte		
	0	1	2	p	6 cm	12 cm	p
N	0.179	0.190	0.189	0.5318	0.177	0.195	0.0403
P*	0.019	0.018	0.017	0.6362	0.017	0.019	0.1730
K	0.140	0.145	0.147	0.8239	0.138	0.151	0.1710
Mn	0.001	0.001	0.001	0.8650	0.001	0.001	0.9738
Zn	0.0007	0.0005	0.0005	0.4494	0.0004	0.0007	0.1955

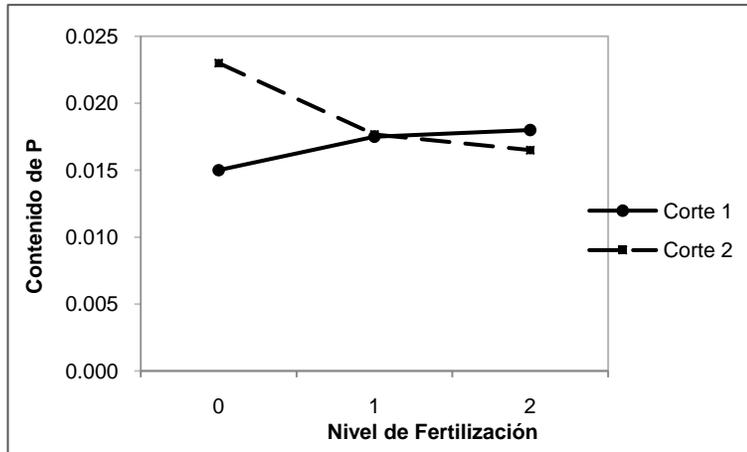


Figura 76. Efecto de la interacción entre los factores de tratamiento sobre el contenido de Fósforo.

El Nitrógeno se confirma como limitativo en su respuesta para los dos niveles de fertilización con el corte a 6 cm, ya que la tendencia descrita es la de un nutrimento en deficiencia; sin embargo, se concentró con el corte a 12 cm en ambos tratamientos de fertilización (Figura 78 y 79).

Con el análisis de vectores, en el corte a 6 cm, se comprueba la condición limitativa del Fósforo en la fertilización NPK+Mn-Zn; pero en el caso de la fertilización Mn-Zn describe una trayectoria de suficiencia sin limitar el crecimiento. Este nutrimento se concentró en los dos niveles de fertilización con el corte a 12 cm (Figuras 78 y 79).

El potasio, con el corte a 6 cm y fertilización Mn-Zn, presentó dilución sin ser limitativo, y con la fertilización NPK+Mn-Zn se encontró en un nivel de suficiencia; con el corte a 12 cm este nutrimento sufrió disminución tanto de concentración como de contenido. Por otra parte, la biomasa disminuyó con el corte a 12 cm y aumentó con el corte a 6 cm (Figura 78 y 79).

El manganeso describe una trayectoria de suficiencia en la fertilización Mn-Zn y de deficiencia en la fertilización NPK+Mn-Zn, ambas situaciones para el corte a 6 cm. Con el corte a 12 cm en los dos tipos de fertilización, el nutriente sufrió proceso de concentración (Figuras 77 y 78).

El nutriente Zn fue suficiente con la fertilización Mn-Zn y deficiente en la fertilización NPK+Mn-Zn para el corte a 6 cm; con el corte a 12 cm se concentró este nutriente en ambos tratamientos de fertilización (Figura 77 y 78).

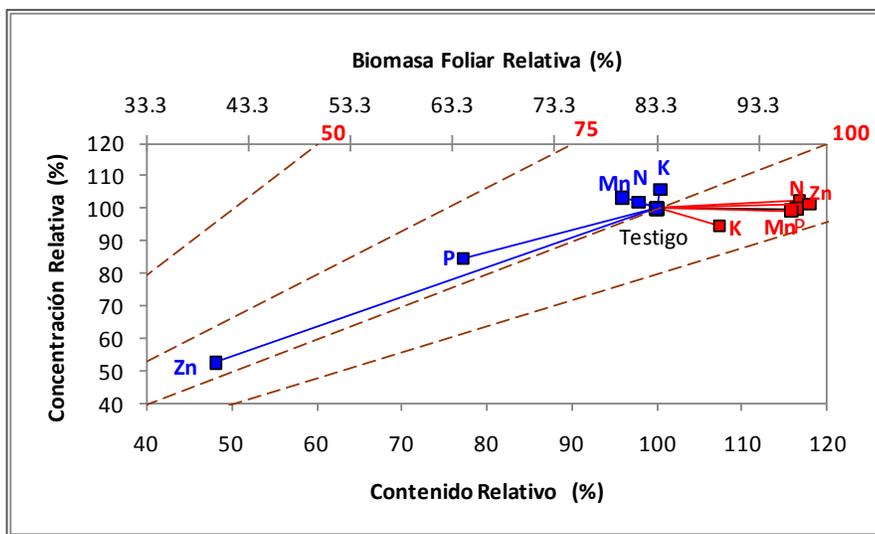


Figura 77. Concentración y contenido de los nutrientes en la fertilización Mn-Zn; corte a 6 cm (rojo), corte a 12 cm (azul).

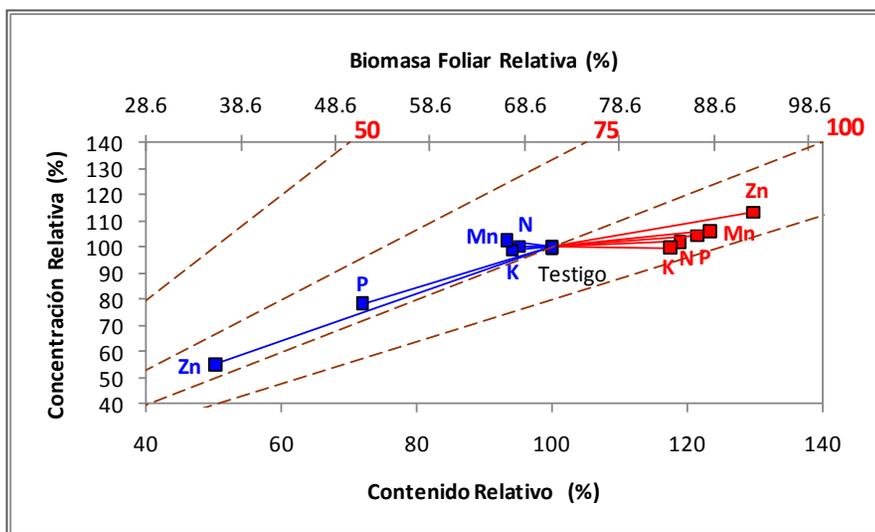


Figura 78. Concentración y contenido de los nutrientes en la fertilización con NPK+Mn-Zn; corte a 6 cm (rojo) y corte a 12 cm (azul).

Según este análisis, el corte que presenta repuesta a las fertilizaciones es el aplicado a 6 cm, pues el aplicado a 12 cm disminuye tanto concentración como contenido nutrimental así mismo la biomasa de las 150 hojas. Lo anterior es consistente para los dos esquemas de fertilización aplicados (Figuras 78 y 79).

Considerando que la biomasa total es similar entre tratamientos de fertilización y examinando las tendencias de las concentraciones, éstas pueden explicarse si se atribuye a vara perilla la capacidad para redistribuir crecimiento, nutrimentos y biomasa después de un disturbio y acompañado de fertilización. Esto lo hacen otros arbustos, como *Erica multiflora*, especie arbustiva que en respuesta a cortes, eliminación de competencia y fertilización fosfatada, tiene la capacidad para modificar tanto las proporciones relativas de nutrimentos en su biomasa aérea como la distribución de dicha biomasa en el arbusto (Sardans, et al., 2006).

Lo anterior también, obedece a una mayor eficiencia nutrimental desarrollada por algunas especies arbustivas como respuesta a la fertilización, a través de la cual el suministro de nutrimentos es utilizado para el crecimiento secundario del arbusto, mientras que la biomasa foliar es sacrificada produciendo hojas más delgadas que implican mayor área foliar. Esto a su vez, permite una mayor eficiencia fotosintética (Gaius *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

En la región de estudio, los nutrimentos limitativos del crecimiento en vara perilla fueron Manganeso, Zinc, Nitrógeno y Potasio. El Fósforo se encontró de manera suficiente.

La fertilización con micro y macronutrimentos fue la que promovió la mayor longitud de rebrotes y del arbusto.

Ambas alturas de corte producen igual número de rebrotes pero el corte a 6 cm responde de mejor manera a la fertilización.

La metodología de tendencias de concentración fue adecuada para el diagnóstico, pues las variables de crecimiento aumentaron sus valores al fertilizar con los nutrimentos determinados.

Las dosis aplicadas remediaron parcialmente las deficiencias manifestadas por la vara perilla.

LITERATURA CITADA

- AGGARWAL, R. K.; PANDAY, S. K. N. Y PAREEK, O. P. 1975. Foliar application of micronutrients on Thompson Seedless grape (*Vitis vinifera*). *Annals of Arid Zone* 14 (2): 191-193
- AVELAR M., J. J.; SÁNCHEZ G., P.; TÉLLIZ O., D. Y ZAVALETA M., E. 2005. El declinamiento y su relación con el estado nutrimental del guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista mexicana de Fitopatología* 23(3): 275-281.
- BALAKRISHNAN, K., C. RAJENDRAN, Y G. KULANDAIVELU. 2000. Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. *Photosynthetica* 38(3): 477-479.
- BARAZA, E.; ZAMORA, R.; HÓDAR, J. A. 2010. Species-specific responses of tree saplings to herbivory in contrasting light environments: an experimental approach. *Écoscience* 17 (2): 156-165
- BREENA, A. N. Y RICHARDSA, J. H. 2008. Seedling Growth and Nutrient Content of Two Desert Shrubs Growing in Amended Soil. *Arid Land Research and Management* 22(1): 46-61.
- BINKLEY, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. First edition. Wiley Interscience. USA. 290 p.
- BURNER, D. M.; POTE, D. H.; MACKOWN, C. T. Y DICKENS, E. D. 2010. Growth and soil nutrient responses to stocking rate and nitrogen source for mid-rotation loblolly pine in west-central Arkansas. *Open Forest Science Journal* 3 Bussum: Bentham Science Publishers: 9-16
- CASTILLO D., E.; SÁNCHEZ S., S.; OBRADOR O., J. J.; CARRILLO A., E.; MENDOZA H., J. H. R. 2008. Growth of cedar (*Cedrela odorata*) in the juvenile phase under irrigation, and fertilizer and insecticide application, and its relationship with the incidence of *Hypsipyla grandella*. *Revista de Agricultura (Piracicaba)* (83)3: 173-181.

- CASTRO-LUNA I., F. GAVI-REYES, J. J., PEÑA-CABRIALES, R. NUÑEZ-ESCOBAR Y J. D. ETCHEVERS-BARRA. 2006. Eficiencia de recuperación de n y K de tres fertilizantes de lenta liberación. *Terra Latinoamericana* 24(2): 277-282
- DANGERFIELD, J.; BRIX, H. 1981. Comparative effects of ammonium nitrate and urea fertilizers on tree growth and soil processes *In* Canadian Forestry Service. 1981 pp. 133-139. Victoria, B.C., Canadá
- ETCHEVERS B. 1994. El diagnóstico visual como apoyo para la fertilización. *Agroproductividad* 1: 15-19
- FANG, X.; JIA, G.; XU D.; WANG, G. 2007. The role of nitrogen in compensatory growth of shrub, *Caragana korshinskii* Kom., following different clipping treatments. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*. 2007(1):x-x
- GAIUS, R. S.; M. BRET-HARTE, S.; JONES, M. H.; JOHNSTONE, J.; GOUGH, L.; LAUNDRE, J. Y CHAPIN, F. S. 2001. Species Composition Interacts With Fertilizer To Control Long-Term Change In Tundra Productivity. *Ecology* 82(11): 3163-3181.
- HERNÁNDEZ G., J. D. y RODRÍGUEZ T., D. A. 2008. Radiación solar y supervivencia en una plantación de vara de perlilla (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.) México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del ambiente*, (México). 14(1): 27-31.
- INEGI. 2000. Carta topográfica 1:50000, Angangueo E14A26 México y Michoacán. Instituto Nacional de Información Geografía y Estadística.
- LARCHER, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Springer. 3a.ed. Berlin, Alemania. 506 p.
- LAGERSTRÖM, A.; BELLINGHAM, P. J.; BONNER, K. I. Y WARDLE, D. A. 2011. The effect of simulated herbivory on growth and nutrient status of focal and neighbouring early successional woody plant species. *Oikos* 120(9): 1380-1392
- LANDIS, T. D.; TINUS R. W.; MCDONALD, S. E. Y BARNET, J. P. 1989. *The Container Tree Nursery Manual. Seedling Nutrition and Irrigation*. U.S.D.A. Forest Service. Agriculture Handbook. 119 p.

- LANDSBERG, J.J. AND S.T. GOWER. 1997. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press, San Diego, 354 p.
- LEA S.M., MORGAN P. 1993. Resprouting response of ninebark (*Physocarpus malvaceus*) shrubs to burning and clipping. Forest Ecology and Management 56(1-4): 199-210.
- LÓPEZ L., M. A. Y ESTAÑOL, B., E. 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. Terra Latinoamericana 25: 9-15.
- MALIK, A.U. 1996. Effect of NPK fertilizations on *Kalmia angustifolia*: implications for forest disturbance and conifer regeneration. Forest Ecology and Management 81(1/3): 135-141
- MANNINEN, O. H.; STARK, S.; KYTÖVIITA, M. M. Y TOLVANEN, A. 2011. Individual and combined effects of disturbance and N addition on understorey vegetation in a subarctic mountain birch forest. Journal of Vegetation Science 22(2): 262-272
- MELNYCHUK, M.C y KREBS, C. J. 2005. Residual effects of NPK fertilization on shrub growth in a Yukon boreal forest. Canadian Journal of Botany. 83: 399–404.
- MENGEL, K. Y A.E. KIRKBY. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4a. ed. por R. J. Melgar y M. Ruiz. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza.
- MENDOZA B., C.; GARCÍA M., F.; RODRÍGUEZ T., D. A.; CASTRO Z., S. 2011. Radiación y calidad de planta en supervivencia y crecimiento de vara perilla (*Symphoricarpos microphyllus* H. B. K.). Agrociencia 44(2): 235-243.
- MONROY, R.; CASTILLO, C., G. y COLÍN, H. 2007. La perlita o perilla, *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. (Caprifoliaceae), especie no maderable utilizada en una comunidad del corredor biológico Chichinautzin, Morelos, México. Polibotánica. (México). N°023: 23-36.
- MORENO CH., L.R., LÓPEZ L., M.A., ESTAÑOL B., E.Y VELÁZQUEZ M., A. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham. en vivero mediante el DRIS. Madera y Bosques 8(1): 51-60.

- MURPHY, J. S. Y BRISKE, D. D. 1992. Regulation of tillering by apical dominance: Chronology, interpretive value, and current perspectives. *Journal of Range Management* 45(5): 419-429.
- PAAVILAINEN., E. 1980 Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf-shrub pine swamp. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 98 (5): 1- 71
- PELC, B. D.; MONTGOMERY, R. A. Y REICH, P. B. 2011. Frequency and timing of stem removal influence *Corylus americana* resprout vigor in oak savanna. *Forest Ecology and Management* 261(1): 136-142
- PEREZ, L. C.; RODRIGUEZ, L. E.; GOMEZ, M. I. 2008. Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*. 26(3): 477-486
- PRIETO R., J.A.; DOMÍNGUEZ C., P.A.; CORNEJO O., E.H.; NAVAR C., J.J.; JIMÉNEZ P., J. y MARMOLEJO M., J.G.; 2002. Efecto de la fertilización en la producción de planta de *Pinus engelmanni* Carr. en vivero. *Ciencia Forestal en México*. 27(92): 79-93.
- RIBA, M. 1998. Effects of intensity and frequency of crown damage on resprouting of *Erica arborea* L. (Ericaceae). *Acta Oecologica*. 19(1):9-16.
- RIVERA C., M.L.; ALBERTI M., P.; VÁZQUEZ G., V y MENDOZA O., M.M. 2008. La artesanía como producción cultural susceptible de ser atractivo turístico en Santa Catarina del Monte, Texcoco. *Convergencia*. 15(46): 225-247.
- ROMAN J., A.R.; VARGAS H., J.; BACA C., G.A.; TRINIDAD S., A. y ALARCON B., M.P. 2001. Crecimiento de plántulas de *Pinus greggi* Engelm. en respuesta a la fertilización. *Ciencia Forestal en México*. 26(89): 19-43.
- RUANO M., J. F. 2008. *Viveros Forestales: Manual de Cultivo y Proyectos*. 2ª. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 288 p.
- RZEDOWSKI, J. 1979. Principales comunidades vegetales *In: Flora fanerogámica del Valle de México*. Volumen 1. RZEDOWSKI J.; RZEDOWSKI., G. C. de. (Eds.) CECSA. México D. F., pp. 47-54.

- SALDIVAR C., J.D. 1982. Ensayo de fertilización en un plantación de cinco especies forestales en Coatlinchán, Méx. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 127p
- SALGADO G. S., R. NÚÑEZ E. J. J, PEÑA C., J. D. ETCHEVERS B., D, J, PALMA L. Y R. M. SOTO. 2001. Eficiencia de recuperación de nitrògeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. *Terra Latinoamericana* 19(2): 155-162.
- SARDANS, L.; PEÑUELAS, J. Y RODÀ, F. 2006. The effects of nutrient availability and removal of competing vegetation on resprouter capacity and nutrient accumulation in the shrub *Erica multiflora*. *Acta Oecologica*. 29(2): 221-232.
- SUMNER, M.E. 1977a. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. *Communique Soil Science Plant Anal.* 8(2): 148-167.
- SUMNER, M.E. 1977b. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Communique Soil Science Plant Anal.* 8(3): 251-267.
- SYERS, J. K., A. E. JOHNSTON Y D. CURTIN. 2008. Efficiency of a soil and fertilizer phosphorus use. FAO, Roma. 123 p.
- TIMMER, V.R. y STONE E. L. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Science Society Of America Proceedings.* 42: 125-130
- TIMMER, V.R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. pp. 113-134. *In*, R. Van Den Driessche (Ed.). *Mineral nutrition of conifer seedlings*. CRC Press Boca Raton, FL, EE.UU.
- TOMOKO, S.; YASUHIRO, Y. Y TOSHIHIKO H. 2004. Effects of ramet clipping and nutrient availability on growth and biomass allocation of yellow nutsedge. *Ecological Research.* 19(6): 603–612.
- VILÀ, M. Y TERRADAS, J. 1995. Sprout recruitment and self-thinning of *Erica multiflora* after clipping. *Oecologia.* (102)1: 64-69
- WANDERA, J. L.; RICHARDS, J. H.; Y. MUELLER, R. J. 1992 The relationships between relative growth rate, meristematic potential and compensatory growth of semiarid-land shrubs. *Oecologia.* 90(3): 391-398,
- WALKER, R. F. 2005. Growth and nutritional responses of juvenile Jeffrey pine to post-planting fertilization. *Journal of Sustainable Forestry.* 20(3): 67-83

- WALWORTH J. L. y SUMNER M. E. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Adv. Soil Sci. B.A. Stewart (Ed.). 6: 149-188. Springer-Verlag. New York. Inc.
- WITKOWSKI, E. T. F. 1989 Effects of nutrients on the distribution of dry mass, nitrogen and phosphorus in seedlings of *Protea repens* (L.) L. (Proteaceae). New Phytologist. 112(4): 481–487.
- WEETMAN, G.P.; MCDONALD, I M.A.; PRESCOTT, C.E. y KIMMINS J.P. 1993. Responses of western hemlock, Pacific silver fir, and western red cedar plantation son northern Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. Can. J. For. Res. 23:1815-1820.
- WHELAN, R. J. 1997. The ecology of fire. Cambridge University Press. Cambridge. 346 p.
- ZHAO, D. H.; KANE, M. Y BORDERS, B. E.2011. Growth responses to planting density and management intensity in loblolly pine plantations in the southeastern USA Lower Coastal Plain. Annals of Forest Science 68 (3): 625-635.

APÉNDICE

Apéndice 1. Formato de toma de datos de campo.

Investigación: **Fertilización y cortes en la producción de vara perilla**
(Symphoricarpos microphyllus H. B. K.)

Número de bloque: ____ Fecha: _____ Unidades experimentales: ____

F	C	Ar	AI	NB	D ₁	L ₁	...								D _n	L _n
		1														
		2														
		3														
		4														
		5														
		6														
F	C	Ar	AI	NB	D ₁	L ₁	...								D _n	L _n
		1														
		2														
		3														
		4														
		5														
		6														
F	C	Ar	AI	NB	D ₁	L ₁	...								D _n	L _n
		1														
		2														
		3														
		4														
		5														
		6														

F: Fertilización, C: Corte, Ar: Arbusto, AI: Altura, NB: Número de rebrotes, D: Diámetro, L: longitud.