



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

“Contenido foliar de Zn, Mn, Cu y Fe en *Pinus*, *Abies* y
Quercus en bosques de Áreas Naturales Protegidas”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L Ó G A

P R E S E N T A:

Jael Maricela Peña Uraga.

Director de Tesis: Dr. Gerardo Cruz Flores
FES Zaragoza, UNAM.

Mayo 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

"El futuro del hombre depende del conocimiento profundo de la interacción e interdependencia que se presentan entre él y la biosfera; por lo tanto, la conservación de los recursos bióticos es parte de la lucha por la sobrevivencia y desarrollo de la humanidad y es en este futuro del hombre donde se encuentra la razón fundamental para la protección y conservación de fauna y flora".

Pensamiento del programa del Hombre y Biosfera (MAB) de la UNESCO.

Esta Tesis forma parte del Proyecto de titulación coordinado por la Secretaría de Educación Pública, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Colegio de Bachilleres.

Dra. Luisa Alba Lois.
Secretaria de Asuntos del Personal Académico.
Coordinadora del Proyecto en la Facultad de Ciencias.

A la UNAM, por ser la más grande y por el orgullo de ser universitaria.

A la Facultad de Ciencias, por la formación recibida en sus aulas y a mis profesores por compartir sus conocimientos conmigo.

A la FES-Zaragoza Campus II, por abrirme sus puertas y la oportunidad que me dio de participar en algunos proyectos.

Al Dr. Gerardo Cruz Flores, por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo, por su gran apoyo para la elaboración de esta tesis pero sobre todo por su gran calidad humana.

A la M. en C. Lourdes Castillo Granada, responsable del Laboratorio de Absorción Atómica, por su asesoría y colaboración en las lecturas de los micronutrientes.

Al Jurado: Dr. Gerardo Cruz Flores, Dra. Luisa Alba Lois, Dra. Rosalía Ramos Bello, Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza y M. en C. Iván Emanuel Reyes Sólis, por sus observaciones y comentarios que mejoraron este trabajo.

A todos mis compañeros del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, Cohetero, Enrique, Belem, Francisco, Adriana, Margarita en fin a todos.

A Felipe, Jonathan, Enrique, Cohetero y Mauro por su gran apoyo para la elaboración de esta tesis.

A los compañeros que forman parte del Proyecto de Titulación Irma, Baza, Víctor y Dolores por su apoyo y todo lo que pasamos juntos.

Al Colegio de Bachilleres, por ser mi primer y único trabajo, por todo lo que me ha dado y he aprendido de él.

Al Lic. Rafael Torres Jiménez

Coordinador Sectorial de la Zona Centro del Colegio de Bachilleres, por su confianza en mí y animarme a concluir este proyecto.

Al Ing. Salvador García Mojica por su gran apoyo y lo que aprendí de usted.

A los directivos y a todo el personal del Colegio de Bachilleres Plantel 12 "Nezahualcóyotl" mi plantel.

A mis queridos compañeros de la Academia de Biología, Química y Anexas por su cariño y gran apoyo, a Martha S., Paty M., Tere R., Lulú, Yola P., Paty S. , Irene M, , Alejandro B., Luis A., Francisco J.G. Goiz, Rafa, Eduardo V., Eduardo P.

A mis compañeros Jefes de Academia y de Área: Luis B., Francisco Javier, Aurora y de la sala de computo Satur, Erika, Elizabeth, Ismael y Daniel.

A mis queridos alumnos.

A mi Padre Celestial, por todo su amor, por lo que ha hecho por mí a lo largo de mi vida, por la familia y los padres que me dio las dos hijas preciosas que tengo y por la oportunidad de conocerle y amarle.

A mi amado Padre Raúl Peña Sánchez por todo lo que fuiste y eres para mí, por haber sido un padre amoroso, por tu apoyo y comprensión en todo momento, por tu gran ejemplo y carácter humano, Dios me conceda el privilegio de verte en aquel gran día papá.

A mi amada Madre Teresa Uraga Hernández por tu entrega incondicional y esa gran fortaleza que tienes y por ser una madre para mis hijas, gracias por lo que has hecho por mí mamá.

A mis preciosas hijas Elaine y Yael por ser el regalo más grande que Dios me ha dado, por ser mi razón de vivir y mi inspiración para seguir adelante.

A mis queridos hermanos Argui, Vini, Rola, Ara, Paty, Raúl y Tere, porque siempre me han alentado a seguir adelante, por su gran amor y apoyo y por los consejos que luego me dan, los amo.

A mis cuñados Felipe, Ángel, Martín, Rocío, Angelina, Luz María y Lidia por todo el apoyo que siempre me han brindado.

A mis queridos sobrinos por su gran cariño.

Gracias a todos.

Hoja de datos del jurado

<p>1.Datos del Alumno.</p> <p>Apellido paterno: Apellido materno: Nombre (s): Teléfono: Universidad: Facultad o escuela: Carrera: No. de cuenta:</p>	<p>1.Datos del Alumno.</p> <p>Peña Uraga Jael Maricela 57 97 53 72, 22 32 86 13 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 080432681</p>
<p>2. Datos del Asesor.</p> <p>Grado Apellido paterno: Apellido materno: Nombre (s):</p>	<p>2. Datos del Asesor.</p> <p>Dr. Cruz Flores Gerardo</p>
<p>Datos del sinodal 1</p> <p>Grado Apellido paterno: Apellido materno: Nombre (s):</p>	<p>Datos del sinodal 1</p> <p>Dra. Alba Lois Luisa Albarina</p>
<p>Datos del sinodal 2</p> <p>Grado Apellido paterno: Apellido materno: Nombre (s):</p>	<p>Datos del sinodal 2</p> <p>Dra. Reyes Ortigoza Amada Laura</p>
<p>Datos del sinodal 3</p> <p>Grado Apellido paterno: Apellido materno: Nombre (s):</p>	<p>Datos del sinodal 3</p> <p>Dra. Ramos Bello Rosalía</p>
<p>Datos del sinodal 4</p> <p>Grado Apellido paterno: Apellido materno: Nombre (s):</p>	<p>Datos del sinodal 4</p> <p>M. en C. Reyes Solís Iván Emmanuel</p>
<p>3. Datos del trabajo escrito.</p> <p>Título: No. de paginas: Año:</p>	<p>3. Datos del trabajo escrito.</p> <p>Contenido foliar de Zn, Mn, Cu y Fe en <i>Pinus</i>, <i>Abies</i> y <i>Quercus</i> en bosques de Áreas Naturales Protegidas. 140 p. 2009</p>

Contenido	Página
INDICE DE FIGURAS	iii
INDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	3
2.1 Definición de suelo	3
2.2 Funciones del suelo	3
2.3 Disponibilidad de nutrimentos en el suelo	6
2.4 Suelos forestales	6
2.4.1 Propiedades físicas	7
a) Textura	7
b) Efectos de la estructura del suelo en el crecimiento de las plantas	7
c) Densidad Aparente	8
d) Espacio poroso	8
e) Conductividad eléctrica	9
2.4.2 Propiedades químicas	9
a) pH	9
b) Efectos indirectos sobre la acidez	10
c) Intercambio iónico	11
d) Capacidad de Intercambio Catiónico	12
e) Materia orgánica	12
2.5 Análisis químico de la planta	13
2.5.1 Niveles y rangos de concentración de la planta	16
2.6 Consideraciones de muestreo de follaje	19
2.7 Micronutrientes	21
2.7.1 Características de Fe, Cu, Mn y Zn	25
2.8 Estudios realizados en <i>Abies religiosa</i> (H.B.K) <i>Schl. Et Cham</i>	37
2.9 Estudios realizados en <i>Pinus radiata</i>	39
3.0 Estudios realizados en el género <i>Quercus</i>	40
3.1 Descripción de especies	42
3.1.1 Género <i>Pinus</i>	42
3.1.2 <i>Pinus hartweggi</i> Lindl	43
3.1.3 <i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	43
3.1.4 <i>Pinus montezumae</i> Lamb	45
3.1.5 <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	47
3.1.6 <i>Pinus pseudoestrobis</i> Lindl var <i>pseudoestrobis</i>	49
3.2.1 <i>Abies religiosa</i> H.B.K Schl. Et Cham	51
3.3.1 Género <i>Quercus</i>	54
4 OBJETIVOS E HIPOTESIS	55
5 ZONAS DE ESTUDIO.	56
5.1 Parque Nacional Izta-Popo, Sierra Volcánica Transversal	56
5.1.1 Ubicación geográfica	57
5.1.2 Geología y suelos	58
5.1.3 Vegetación	63
5.1.4 Bosque de pino	63
5.1.5 Clima	64
5.2 Parque Nacional Benito Juárez, Sierra Madre del Sur	65
5.2.1 Ubicación geográfica	66
5.2.2 Vegetación	66
6 MATERIALES Y MÉTODOS	69
6.1 Delimitación de la zona de estudio	69
6.2 Fase de campo	69
6.3 Toma de muestras foliares	70

6.4	Análisis de laboratorio	71
6.4.1	Determinación de parámetros físicos y químicos del suelo	71
6.4.2	Determinación de Nitrógeno y Fósforo foliar	71
6.4.3	Determinación de Fe, Cu, Mn y Zn foliar	72
6.5	Análisis estadístico	74
6.6	Diagrama de flujo	75
6.7	Descripción fisiográfica de las zonas de estudio	76
6.8	Análisis de parámetros físicos de las zonas de estudio	83
6.9	Análisis de parámetros químicos de las zonas de estudio	84
7	RESULTADOS Y DISCUSION	87
7.1	Estado nutrimental de tejido foliar de Fe, Cu, Mn y Zn en los Parques Nacionales Benito Juárez, Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl	87
7.2	Estado nutrimental del género <i>Pinus</i> en las zonas de estudio	91
7.3	Estado nutrimental de tejido foliar de <i>Abies religiosa</i> H.B.K Schl. Et Cham. en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl	94
7.4	Estado nutrimental de tejido foliar del género <i>Quercus</i> en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	96
7.5	Estado nutrimental entre los Parques Nacionales Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas y Benito Juárez	97
7.6	Estado nutrimental entre géneros	97
7.7	Relación de nutrientes de tejido foliar En Parque Nacional Izta-Popo, Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Benito Juárez	98
7.8	Relación de nutrientes en tejido foliar en las zonas de estudio	104
7.9	Relación de nutrientes de tejido foliar del género <i>Pinus</i> .	105
7.10	Relación de nutrientes de tejido foliar de <i>Abies religiosa</i> (H.B.K) Schl. Et Cham	106
7.11	Relación de nutrientes de tejido foliar de <i>Abies religiosa</i> (H.B.K) Schl. Et Cham. en las zonas de estudio	107
7.12	Relación de nutrientes de tejido foliar del género <i>Quercus</i> en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	108
8.	CONCLUSIONES	109
9.	COMENTARIOS Y SUGERENCIAS	111
10.	LITERATURA CITADA	112
11.	ANEXO	118
12.	APENDICE 1	121
	APENDICE 2	123
	APENDICE 3	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Relación entre abastecimiento nutrimental y crecimiento de las plantas	16
2	Deficiencia de Fe en <i>Pinus caribaea</i>	36
3	Deficiencia de Mn en <i>Pinus caribaea</i>	36
4	Imagen de satélite del Parque Nacional Izta-popo	59
5	Ubicación de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl	60
6	Croquis de la Zona del Parque Nacional Izta-Popo	61
7	Vista panorámica del Parque Nacional Benito Juárez	67
8	Localización de los sitios de estudio	68
9	Toma de muestra foliar	71
10	Secado de muestras foliares	73
11	Molino Thomas Scientific	73
12	Digestión ácida	73
13	Espectrofotómetro de absorción atómica	73

INDICE DE CUADROS.

Cuadro.		Página.
1	Clasificación de suelo con respecto al pH	10
2	Valores de materia orgánica en suelos	13
3	Esencialidad en estructura y función de nutrimentos en las plantas	22
4	Síntomas de deficiencia nutrimental en <i>Pinus radiata</i>	40
5	Descripción fisiográfica del Parque Nacional Benito Juárez	77
6	Descripción fisiográfica del Parque Nacional Izta-Popo	78
7	Descripción fisiográfica del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	79
8	Propiedades físicas del suelo en Parque Nacional Izta-Popo	80
9	Propiedades físicas del suelo en Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	81
10	Propiedades físicas del suelo en Parque Nacional Benito Juárez	82
11	Propiedades físicas y químicas de los suelos en los sitios de estudio	86
12	Cationes intercambiables de las zonas de estudio	86
13	Estado nutrimental de tejido foliar por zonas de estudio	91
14	Contenido nutrimental promedio de tejido foliar de especies del género <i>Pinus</i> entre Áreas Naturales Protegidas	94
15	Contenido nutrimental promedio de micronutrimentos en tejido foliar de <i>Abies religiosa</i> en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Izta-Popo	96
16	Contenido nutrimental promedio de tejido foliar del género <i>Quercus</i> en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	97

APÉNDICE 1.		Página.
17	Intervalo nutrimental del género <i>Pinus</i> reportado en investigaciones	121
18	Concentraciones foliares para algunos pinos mexicanos	121
19	Intervalo nutrimental para <i>Pinus radiata</i>	121
20	Media, intervalo y desviación estándar de nutrimentos en acículas de <i>Pinus radiata</i> en Ayotuxtla Guerrero	122
21	Intervalo de concentraciones de micronutrientes en el follaje de Pino Lodgepole	122
22	Concentración progresiva de micronutrientes de tejido foliar por zonas de estudio	122
23	Concentración progresiva de micronutrientes de tejido foliar por género	122

APÉNDICE 2.		Página.
24	Coefficientes de correlación de nutrientes foliares con diferentes propiedades de suelo del Parque Nacional Benito Juárez	123
25	Coefficientes de correlación de nutrientes foliares con diferentes propiedades de suelo del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	123
26	Coefficientes de correlación de nutrientes foliares con diferentes propiedades de suelo del Parque Nacional Iztaccíhuatl- Popocatepetl.	123
27	Coefficientes de correlación de nutrientes foliares del Parque Nacional Benito Juárez	124
28	Coefficientes de correlación de nutrientes foliares del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	125
29	Coefficientes de correlación de nutrientes foliares del Parque Nacional Iztaccíhuatl- Popocatepetl	125

APÉNDICE 3.		Página.
30	Relación de elementos foliares de macronutrientes y micronutrientes de tejido foliar en Pino Lodgepole	126
31	Relación de nutrientes de tejido foliar para cada zona de estudio	126
32	Relación de nutrientes de tejido foliar por zonas de estudio	126
33	Relación de nutrientes de tejido foliar de especies del género <i>Pinus</i> en las zonas de estudio	126
34	Relación de nutrientes de tejido foliar de <i>Abies religiosa</i> (H.B.K.) <i>Schltdl Et Cham</i> en Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Izta-Popo.	127
35	Relación de nutrientes de tejido foliar de <i>Abies religiosa</i> (H.B.K) <i>Schl. Et Cham.</i> en las zonas de estudio	127
36	Relación de nutrientes de tejido foliar del género <i>Quercus</i> en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	127

CONTENIDO FOLIAR DE Zn, Mn, Cu Y Fe EN *Pinus*, *Abies* Y *Quercus* EN BOSQUES DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en bosques templados de los Parques Izta-Popo (PNIP), Zoquiapan y Anexas (PNZA) y Benito Juárez (PNBJ) debido a la importancia ecológica que tienen estos parques cuya vegetación dominante está compuesta por coníferas y *Quercus*. Se estudió la concentración foliar de micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn y sus relaciones de balance con la concentración de N y P en especies arbóreas de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus*. Se seleccionaron 55 unidades ambientales homogéneas y en cada una, se delimitaron parcelas de 50x20m. Se formaron muestras foliares compuestas, colectadas de fascículos de los dos años más recientes y de 4 a 8 individuos. Dichas muestras se analizaron en laboratorio para cuantificar Fe, Zn, Cu y Mn, solubilizándolos en digestión ácida (HNO₃-HClO₄ 2:1) y cuantificados por absorción atómica. Con la información obtenida se crearon bases de datos que fueron analizadas mediante el análisis de correlaciones de Pearson entre las propiedades físicas y químicas del suelo y del contenido de micronutrientes de tejido foliar utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System). Con los resultados obtenidos se encontró que *Pinus*, *Abies* y *Quercus*, se encontraron dentro de los valores de suficiencia y crecimiento óptimo y no mostraron deficiencias de Fe, Cu, Mn y Zn en ninguno de los Parques Nacionales. El orden decreciente de concentración de los micronutrientes en los parques nacionales fue: Para el PNIP, Zn>Fe>Mn>Cu, en el caso del PNZA el orden fue Fe>Mn>Zn>Cu y finalmente para el PNBj se tuvo Mn>Fe>Zn>Cu. En comparación del estado nutrimental entre *Pinus*, *Abies* y *Quercus*, se encontró que el orden descendente de la concentración de los micronutrientes fue: para el género *Pinus*, Mn>Zn>Fe>Cu, para *Abies*, Fe>Zn>Mn>Cu y en *Quercus*, Mn>Fe>Zn>Cu. Para las concentraciones de Fe y Cu se encontró que en *Abies*>*Quercus*>*Pinus*, para el Mn y Zn estos elementos fueron mayores en *Abies*>*Pinus*>*Quercus*. De las relaciones de balance nutrimental entre los micronutrientes con N y P, se encontró que en el PNIP existe una tendencia a la deficiencia de N en todos los géneros estudiados. Con el análisis de la relación P:Fe en el PNZA y en el Parque Nacional Benito Juárez, se encontró una tendencia a la deficiencia de P, la cual también se acentúa en la observación de las relaciones P:Cu, P:Mn y P:Zn en este Parque.

Palabras clave: bosques templados, *Pinus*, *Abies*, *Quercus*, estado nutrimental.

**Zn, Mn, Cu y Fe CONTENT IN *Pinus*, *Quercus* AND *Abies* IN THE
FOREST OF NATURAL PROTECTED AREAS**

ABSTRACT

This research was conducted in temperate forests of Parks Izta-Popo (PNIP) Zoquiapan and Annexes (PNZA) and Benito Juárez (PNBJ) due to the ecological importance of these parks whose dominant vegetation consists of conifers and *Quercus*. We studied concentration of foliar micronutrients Fe, Cu, Mn and Zn and their balance relations with N and P concentrations in tree species of *Pinus*, *Abies* and *Quercus* genus. We selected 55 environmental units homogenous and each is divided into plots of 50x20m. We formed composite leaf samples collected from fascicles of the most recent two years and from 4 to 8 individuals. These samples were analyzed in the laboratory to quantify Fe, Cu, Mn and Zn, make soluble in acid digestion (HNO₃-HClO₄ 2:1) and quantified by atomic absorption. With the information obtained were created databases that were analyzed by analysis of Pearson correlations between all the physical and chemical soil properties and micronutrient content of leaf tissue using SAS (Statistical Analysis System). From the results, we found that *Pinus*, *Abies* and *Quercus*, were within the range of sufficiency and optimal growth and showed no deficiencies of Fe, Cu, Mn and Zn in any of the National Parks. The order of decreasing concentration of micronutrients in the national parks was: For PNIP, Zn>Fe>Mn>Cu for the PNZA, the order was Fe>Mn>Zn>Cu and finally took the PNBJ Mn>Fe>Zn>Cu. When comparing the nutritional status among *Pinus*, *Abies* and *Quercus*, it was found that the descending order of concentration of micronutrients was for the genus *Pinus*, Mn>Zn>Fe>Cu, for *Abies*, Fe>Zn>Mn>Cu and *Quercus*, Mn>Fe>Zn>Cu. For concentrations of Fe and Cu was found in *Abies*>*Quercus*>*Pinus*, Mn and Zn for these elements were higher in *Abies*>*Pinus*>*Quercus*. The relationship between the nutritional balance of micronutrients with N and P were found in PNIP there is a tendency for the deficiency of N in all genera studied. The analysis of the P:Fe in PNZA National Park and Benito Juárez, was found a tendency to P deficiency, which also reinforces the observation of the relations P:Cu, P:Mn and P:Zn in this park.

Key words: temperate forest, *Pinus*, *Abies*, *Quercus*, nutritional state.

1. Introducción

México es el primer país del mundo en cuanto a diversidad de especies de pino y encino. Las coníferas dominan grandes extensiones del territorio con unos 15 géneros y más de 150 especies. México posee unas 47 especies de pinos, que representan alrededor de 43% del total mundial (Farjon y Styles, 1997 citado por Granados, 2004)

La vegetación predominante de las zonas de estudio del presente trabajo la integran bosques de coníferas y encinos los cuales juegan un papel esencial con relación al ciclo hidrológico, la formación y conservación de suelos y la biodiversidad que sustentan.

El área del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP) y el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas (PNZA), alimentan de recursos hídricos a la cuenca de México, valles de Cuernavaca, Cuautla y Yautepec en el estado de Morelos por lo que la conservación de la cubierta vegetal y el sustrato edáfico son de importancia trascendental para regular la infiltración de agua del subsuelo.

Debido a la presión a la que son sometidos estos Parques han sido fuertemente alterados por las actividades del hombre tales como tala clandestina, ocoteo, los incendios forestales, cambio de uso de suelos de forestales a agrícolas y de estos a urbanos. Los agricultores y ganaderos que emplean prácticas como la "tumba, rosa y quema" y prácticas recreativas como el excursionismo y el montañismo entre otras, que tienden a la degradación del suelo y por ende de la cubierta vegetal ejerciéndose gran presión sobre la vegetación de estos bosques.

Con respecto al Parque Nacional Benito Juárez (PNBJ) la vegetación ha sido modificada por talas clandestinas y contrabando de madera con fines de autoconsumo, además de presentar sobrepastoreo. Otra fuente de disturbio fue, en otros tiempos, el cambio de uso del suelo con fines agrícolas, que

aunado a las otras fuentes de impacto, han deteriorado la calidad del suelo y agua. Se ha observado que los bosques de pino- encino están siendo atacados por muérdago, acentuándose cada día más sobre este tipo de vegetación, sobre todo en el área que colinda con San Andrés Huayapan (SARH, 1993).

Debido a lo anterior es necesario contar con un diagnóstico confiable del estado nutrimental que guardan las especies forestales de estos parques para proponer estrategias de conservación y restauración, en caso de ser necesario, para poder seguir contando con estos recursos.

Por otro lado es imprescindible generar información sobre el estado nutrimental de las principales especies forestales en México ya que esta falta de información dificulta el diagnóstico nutrimental de los bosques (López y Estañol, 2004 citado por Soriano 2006, Tausz *et al.*, 2003)

La presente investigación contribuye al conocimiento del estado de los micronutrientes: Fe, Cu, Mn y Zn y su relación con N y P de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus* en los Parques Nacionales Benito Juárez (PNBJ) en Oaxaca, Zoquiapan y Anexas (PNZA) e Iztaccíhuatl-Popocatépetl (PNIP) que son muy importantes en la captura de carbono, infiltración de agua y el mantenimiento de la biodiversidad; todo esto con el fin de llevar a cabo un aprovechamiento sustentable de estos recursos.

2. Marco teórico.

2.1 Definición de Suelo

El suelo puede considerarse como un sistema dinámico. Es el material no consolidado mineral u orgánico depositado sobre la superficie de la tierra y que ha sido sometido e influenciado por factores como: material parental, clima (agua y temperatura), macro y microorganismos y topografía actuando durante el tiempo generando el suelo que difiere del material del cual se derivó en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas (USDA, 1999).

El suelo es el medio natural del que las plantas superiores extraen el agua y nutrimentos necesarios para su crecimiento y desarrollo, además es utilizado como sustrato para obtener anclaje y soporte. Es un cuerpo natural porque posee límites laterales, inferiores y superiores, es complejo y heterogéneo porque está formado por material mineral y orgánico no consolidado en distintas proporciones y es disperso y trifásico pues en él se presenta una fase sólida (50%), una líquida (25%) y una gaseosa (25%) de la fase sólida el material mineral (38%), el orgánico (12%).

2.2 Funciones del suelo.

Entre las funciones primordiales del suelo están las de mantener:

- a) La productividad de las especies vegetales que en el se establecen.
 - b) La biodiversidad en general.
 - c) La calidad del aire y del agua
 - d) La salud humana y el hábitat
- (Etchevers, 2000).

Los suelos son cuerpos que se forman a una tasa de 1 cm por cada 100 a 400 años a partir de material mineral y orgánico sometido a la influencia del tiempo geológico, a los efectos del clima, topografía, vegetación, fauna y la acción del hombre.

La intensidad de cada uno de los factores formadores de suelo tiene influencia diferencial y así se tiene la formación y desarrollo de diferentes tipos de suelos a partir de material parental del mismo origen geológico y de la misma manera los tipos de vegetación que se desarrollan en algún tipo de suelo podrán o no ser diferentes (Doran y Parkin, 1994 citado por Cruz, 2006)

La vegetación se desarrolla por procesos genético-evolutivos, mecanismos morfofisiológicos de adaptación y de respuesta ante condiciones edáficas adversas.

El establecimiento, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas difícilmente encuentra factores físicos (conductividad eléctrica, textura, agua del suelo), químicos (pH, CIC, materia orgánica) y biológicos (actividad microbiana) favorables que permitan un máximo rendimiento y productividad (Cruz, 2003).

En el ambiente edáfico los agentes químicos son:

- a) pH del suelo
- b) Disponibilidad de nutrimentos.
- c) Toxicidad de elementos

Y condiciones extremas de factores físicos como el agua del suelo, textura y drenaje, con frecuencia ofrecen una serie de impedimentos para el anclaje, crecimiento, respiración y absorción nutrimental así como de la captación de agua por las raíces de las plantas.

Las interacciones entre las fases líquidas, sólida y gaseosa del ambiente edáfico y las que se presentan entre estas con la fase viva del suelo determinan la disponibilidad de nutrimentos tanto en cantidades óptimas como en balance adecuado para el crecimiento, desarrollo y máxima productividad o rendimiento ante una máxima población de individuos de la vegetación lo cual define a la fertilidad ideal de los suelos.

El desarrollo de las plantas depende de varios factores climáticos como son:

1. La temperatura
2. la humedad atmosférica
3. La precipitación
4. La exposición a la luz

Factores edáficos:

1. Textura
2. Contenido de materia orgánica
3. pH
4. Salinidad
5. Disponibilidad de nutrimentos

Factores fisiológicos:

1. Respiración
2. Fotosíntesis

Estos determinan la adquisición, utilización o asimilación de elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo.

El concepto tradicional de fertilidad del suelo, tiene como base el concepto de concentración y cantidad de nutrimentos que dependen tanto del pH (que determina la solubilidad de nutrimentos) como de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que responde a la disminución gradual de nutrimentos en la solución del suelo (Tisdale y Nelson, 1991).

Con referencia a los elementos que son requeridos por las plantas existen en las diversas fases del suelo nutrimentos a corto, mediano y largo plazo, iones en solución de los coloides del suelo y en las rocas y minerales respectivamente.

La nutrición vegetal incluye al conjunto de procesos físico-químicos y biológicos relacionados con la absorción y transporte desde la solución del suelo, de iones de elementos esenciales y de todos los procesos bioquímicos que determinan su asimilación en compuestos orgánicos tanto del tipo estructural como de naturaleza energética.

2.3 Disponibilidad de nutrimentos en el suelo.

Factores físicos (conductividad eléctrica, textura, agua del suelo), químicos (pH, capacidad de intercambio iónico, materia orgánica) y biológicos (poblaciones, actividad microbiana y asociaciones simbióticas) influyen sobre la disponibilidad de nutrimentos (Cruz, 2003).

2.4 Suelos forestales.

Durante mucho tiempo los investigadores de suelos forestales han reconocido la profunda influencia, que las propiedades del suelo tienen sobre el crecimiento y distribución de los árboles, sin embargo, la opinión de que las propiedades físicas eran de importancia primordial para el desarrollo de la vegetación indujo a los primeros investigadores a subestimar e incluso a ignorar la importancia de las propiedades químicas y biológicas del suelo. Actualmente el panorama ha cambiado y existe una opinión mas equilibrada sobre la importancia de todas las propiedades del suelo en el medio ambiente forestal y que implica el reconocimiento de que existe una estrecha interrelación entre las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo y aunque las adecuadas propiedades físicas pueden contribuir a compensar las propiedades químicas o

biológicas deficientes, la productividad del suelo no puede ser sinónimo solamente de las características físicas, por otro lado las propiedades físicas del suelo se alteran con menor facilidad durante el manejo forestal que sus propiedades químicas.

2.4.1 Propiedades físicas.

a) Textura.

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales. Específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire importantes para la vida de las plantas.

Para estudiar las partículas minerales de un suelo, se clasifican por lo regular, en grupos convenientes, según su tamaño. Estos diferentes grupos se llaman fracciones. El análisis mecánico no solo sirve para describir las propiedades físicas del suelo, sino para determinar el nombre de su textura, esto es, si el suelo es arenoso, limoso, arcilloso limoso u otro.

b) Efectos de la estructura del suelo en el crecimiento de las plantas.

La estructura del suelo no afecta directamente a las plantas sino a través de los siguientes factores: aeración, compactación, relaciones de agua y temperatura. Las plantas no penetran fácilmente en las costras o suelos duros, las raíces penetran fácilmente en suelos granulados y en forma lenta o con dificultad en suelos finos y compactos. Si los suelos son muy compactos, las raíces no penetran. Se cree que la compactación del suelo puede tener efectos adversos en las plantas que crecen en él por el impedimento mecánico al crecimiento de las raíces y por alterar la configuración del espacio poroso.

La estructura del suelo tiene influencia prácticamente en la mayoría de los factores del crecimiento de las plantas como por ejemplo exceso o deficiencia de agua, falta de aire, poca actividad microbiana, impedimento al crecimiento de las raíces y cambios químicos perjudiciales, entre otros.

Los tamaños de las partículas minerales y la proporción relativa de los grupos, varían considerablemente de tamaño entre los suelos, pero no se alteran fácilmente en un suelo determinado así la textura del suelo se considera una de sus propiedades básicas.

Todos los suelos minerales constan de una mezcla de partículas o agrupaciones de partículas cuyos tamaños y formas varían ampliamente y la distribución proporcional de las partículas minerales de diferentes tamaños determina de manera considerable muchas de las propiedades básicas de los suelos (Pritchett, 1991).

c) Densidad aparente.

La densidad aparente (DA) es una medida en la relación entre los sólidos y los poros. Depende en gran parte del contenido de agua en los suelos, que se contraen y se hinchan conforme se secan y se mojan.

d) Espacio poroso.

La porosidad del suelo está formada por la suma de los porcentajes de poros de diferente tamaño que actúan como sigue: Los poros grandes sirven para la aeración e infiltración, los poros medianos para la conducción de agua y los poros pequeños para el almacenamiento del agua disponible para la planta.

El espacio poroso (EP) junto con la estructura del suelo se refiere a la distribución espacial y a la organización total del sistema del suelo, expresados por el grado y el tipo de agregación y por la naturaleza y distribución de los poros y espacio poroso. En la mayoría de los suelos las partículas individuales no existen como entidades discretas sino que están agrupadas en agregados o "peds" de forma y tamaño bastante característicos. Los suelos que están formados de modo predominante por arena gruesa son sueltos y sin agregados bien formados, mientras que aquellos formados principalmente por arcilla tienden a ser coherentes y masivos y a formar un número menor de agregados de mayor tamaño.

El grado y tipo de agregación determinan la aereación y la permeabilidad y por lo tanto la capacidad de infiltración y de movimiento del agua (los poros son la parte del suelo ocupada por agua o por la atmósfera del mismo). A menudo determinan el volumen de los poros y del espacio poroso y en consecuencia el volumen de la atmósfera del suelo (Fitzpatrick, 1985).

e) Conductividad eléctrica.

Es un factor físico indicador del contenido de sales del suelo y proporcional a su aumento se presentan problemas de absorción de agua por sus efectos osmóticos.

2.4.2 Propiedades químicas.

a) pH

El método más común para expresar el grado de acidez del suelo es el pH. La evaluación potenciométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ión H mediante el uso de un electrodo y se mide por lo general en una solución de suelo y agua en una relación 1:2 según la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-200-SEMARNAT).

La mayor parte de los suelos forestales van de moderadamente a extremadamente ácidos (Cuadro 1) como resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la capa de

litter y la consiguiente lixiviación de las bases del suelo mineral superficial. Como consecuencia, los tipos de vegetación que crecen sobre el suelo tienen la probabilidad de tener una influencia notable sobre la acidez del suelo debido a diferencias inherentes en el contenido de bases de su *litter*. Los suelos que sostienen a las coníferas tienden a ser más ácidos que los de aquellos que sostienen a especies de árboles de madera dura, en parte debido a que las hojas de la coníferas y su *litter* tienden a tener un menor contenido de bases (Pritchett, 1991).

El pH del suelo afecta significativamente la disponibilidad de nutrimentos para las plantas y los microorganismos y su escala va desde extremadamente ácido (3.5 o poco menos) hasta extremadamente alcalino (9.5 o ligeramente mayor) lo que influye sobre la disponibilidad o toxicidad de elementos, por ejemplo en valores de pH bajos el Al, Fe y Mn son muy solubles y pueden ser tóxicos para las plantas (Cruz, 2003).

Cuadro 1. Clasificación de suelo con respecto al pH*.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 -7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

* NOM-021-RECNAT-200-SEMARNAT.

b) Efectos indirectos de la acidez.

Muchos de los efectos visibles de la acidez del suelo sobre el crecimiento de los árboles pueden ser el resultado de los efectos indirectos sobre las condiciones del suelo tales como la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.

La disponibilidad de micronutrientes como el B, el Cu, el Mn y el Fe, aumenta de manera general cuando la acidez del suelo

aumenta (o sea cuando disminuye el pH). En los suelos en donde las reservas de estos nutrientes son normalmente bajas una reducción significativa en la acidez del suelo puede dar como resultado la deficiencia de uno o más de estos elementos esenciales. Cualquier práctica que reduzca de manera sustancial la acidez del suelo puede causar deficiencia de Fe, Cu o Zn en los suelos que tienen bajas reservas de estos elementos; el Cu a menudo es deficiente en los suelos orgánicos y se han reportado deficiencias de Zn en coníferas exóticas de Australia.

c) Intercambio iónico.

La capacidad del suelo para retener los iones nutritivos en una forma disponible para el uso de las plantas es de especial importancia para los bosques que crecen sobre arenas y en otros suelos con reservas de nutrientes excesivamente bajas. Este fenómeno, llamado intercambio iónico, es un proceso reversible mediante el cual los cationes y aniones se intercambian entre las fases del líquido y del suelo. El intercambio iónico, se asocia en primer lugar con los materiales coloidales del suelo tanto de tipo orgánico como mineral. Por lo general, se espera que los suelos con bajo contenido de partículas del tamaño de las arcillas tengan una baja capacidad de intercambio pero esta pequeña capacidad es sumamente importante en la nutrición del árbol y en el ciclaje eficiente de los nutrientes en suelos arenosos. Las fuentes para el intercambio catiónico en los suelos, son las arcillas, la materia orgánica y los minerales.

La capacidad de intercambio iónico de un suelo es importante porque determina su capacidad para retener iones de forma que impide su pérdida por lavado y con ello las plantas pueden absorber los nutrimentos almacenados.

Los cationes más abundantes en el complejo de intercambio son Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Na^+ , K^+ y Al^{3+} . Las proporciones de los cationes en las superficies coloidales cambian con frecuencia por diferentes razones por ejemplo pérdidas por lavado o por absorción de iones por la planta (Cruz, 2006)

d) Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

La Capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la cantidad de cationes intercambiables por unidad de peso de suelo (base seca) y se mide en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100gr o $\text{cmol}_{(+)}$ kg^{-1} , (Donahue *et al.*, 1981).

La mayor parte de los minerales esenciales son absorbidos por las plantas en forma de cationes. Los cationes cargados positivamente son atraídos hacia las superficies cargadas negativamente de las partículas coloidales del suelo, tanto minerales como orgánicas (la carga negativa en las partículas orgánicas se debe a los grupos $-\text{COOH}$ y $-\text{OH}$). La carga negativa que se desarrolla en los coloides orgánicos y minerales puede neutralizarse por cationes atraídos a la superficie de estos coloides. La cantidad de cationes atraída de esta manera, expresada en miliequivalentes por 100 gramos o $\text{cmol}_{(+)}$ kg^{-1} de suelo secado al horno se llama Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo (Pritchett, 1991).

e) Materia orgánica.

La materia orgánica de los suelos está formada por los restos y productos de descomposición de plantas y animales. La mayor cantidad de materia orgánica del suelo es derivada de las plantas, tanto de sus partes aéreas como de las raíces. Por lo general las hojas y las agujas constituyen el 80% y las raíces el 20%.

Los tipos principales de materia orgánica que se observan en secciones delgadas son la hojarasca y sus productos de descomposición que ocurren en la superficie del suelo (Fitzpatrick, 1985).

La materia orgánica se degrada por la acción de los microorganismos formándose ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas, aminoácidos de alto y bajo peso molecular, bases

púricas, pirimídicas, proteínas de bajo y alto peso molecular, azúcares, grasas y ceras. Aporta al suelo macronutrientes, N, P, S, Ca, Na, Mg y micronutrientes Fe, Cu, Mn, Zn y B e incrementa la capacidad de intercambio catiónico total y actúa como regulador del pH.

La materia orgánica al biodegradarse forma CO₂ que actúa en el intemperismo favoreciendo las propiedades físicas de los suelos, influyendo en la estructura de las capas superficiales (Aguilera, 1989)

Cuadro 2. Valores de materia orgánica en suelos.*

Clase	Materia orgánica %	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 a 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11 – 16	3.6 – 6
Muy alto	>16.1	> 6

* NOM-021-RECNAT-200-SEMARNAT.

2.5 Análisis químico de la planta.

El análisis químico de tejidos vegetales se ha empleado como un instrumento de diagnóstico del estado nutricional de las plantas. Se denomina análisis químico de plantas a la técnica química cuantitativa que permite medir en el laboratorio la concentración total de un elemento en la planta o en unos de sus órganos e indirectamente la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Etchevers, 2000., Brockley, 2001).

La concentración de los nutrientes foliares de árboles son parámetros importantes para evaluar el estado nutricional de los bosques (Marschner, 1995 citado por Tausz *et al.*, 2003).

El órgano que se usa con mayor frecuencia para diagnosticar el estado nutricional es la hoja por lo que también se le llama análisis foliar. Además el análisis foliar se correlaciona mejor con la respuesta a los fertilizantes que el análisis químico de

suelo, otra ventaja es que los niveles de nutrición determinados para una especie y región determinada pueden ser extrapolados a otras regiones lo cual no es válido para las determinaciones hechas para análisis de suelo por lo que los datos obtenidos del tejido foliar se consideran mejores indicadores para evaluar el estado nutrimental de los árboles.

El análisis foliar ofrece un método útil y conveniente para evaluar el estado de los nutrientes en sitios forestales. Está basado en el concepto de que el árbol no el terreno, es el mejor indicador de la disponibilidad de los nutrientes lo que refleja el grado en que los árboles pueden tomar los nutrientes del terreno (Marschner, 1995 citado por Tausz et al., 2003).

La información del análisis foliar puede ser usada para:

1. Diagnosticar posibles causas de condiciones nutricionales pobres que afecten el crecimiento del árbol.
2. Identificar estadios de crecimiento que respondan adecuadamente a la adición de nutriente.
3. Prescribir formulaciones de fertilizantes para corregir deficiencias de nutrientes y estimular el crecimiento.
4. Evaluar la captación del nutriente pos fertilización (Brockley, 2001).

Un adecuado análisis foliar debe cumplir con los siguientes objetivos:

1. Confirmar las deficiencias y/o toxicidad hecho bajo la técnica de síntomas visuales. A menudo los síntomas visuales son difíciles de identificar debido a que varios factores pueden causar síntomas parecidos.

2. Identificar o predecir deficiencias nutricionales que no son aparentes. Es común que las plantas sufran de alguna deficiencia pero los síntomas específicos no se manifiesten microscópicamente. El análisis químico puede dar información

sobre problemas nutricionales antes de que aparezcan los síntomas.

3. Servir como base para hacer recomendaciones de fertilización.

La presencia de niveles anormales de un nutriente ayuda a decidir sobre la necesidad de aplicar un fertilizante que lo contenga.

4. Controlar la efectividad de prácticas de fertilización.

Cuando se aplica un nutriente al suelo y la planta no responde se puede inferir erróneamente que el elemento adicionado estaba en un nivel adecuado en el suelo, sin embargo, es posible que la falta de respuesta pudiera deberse a que el nutriente no fue absorbido o bien que el nutriente no fue colocado en el lugar ni en la época adecuada o que ciertas propiedades del suelo hicieron que este reaccionara con otros componentes o que el estrés hídrico impidió su absorción por las raíces.

5. Estimar el estado nutricional general de ciertas regiones o tipos de suelo. Cuando la técnica se emplea con este propósito recibe el nombre de levantamiento nutricional. Los datos obtenidos permiten establecer la distribución de las categorías de diversos estados nutricionales y a partir de esta información es posible asignar prioridades a los estudios nutricionales.

6. Predecir rendimientos. Los resultados de estudios de los niveles nutricionales han sido empleados para predecir rendimientos en una zona determinada.

7. Estudiar tendencias nutricionales dentro de un año o entre años.

El muestreo y análisis periódico durante una estación de crecimiento puede proporcionar información acerca del cambio de disponibilidad de un nutriente. Esta práctica conducida a través de los años sirve para monitorear los cambios en los niveles de fertilidad del suelo. De esta forma es posible detectar

deficiencias nutricionales o excesos antes de que aparezcan síntomas visuales o reducciones de rendimiento o calidad (López 1993., Etchevers, 2000).

El uso efectivo del análisis de planta requiere que se defina claramente el tipo de información deseado y el grado de precisión requerido para el objetivo que se persigue (Etchevers, 1987., Brockley, 2001).

En los años recientes el interés por esta técnica ha aumentado debido a nuevas técnicas analíticas.

2.5.1 Niveles y rangos de concentración de la planta.

Los rangos críticos son intervalos de concentración que se asocian con algunas zonas determinadas de la curva resultante de relacionar los rendimientos con la concentración del nutriente. En general se conocen las siguientes clases: deficiente, baja o marginal, nivel crítico de deficiencia, suficiente o adecuado, alta, nivel crítico de toxicidad y tóxico (Figura 1).

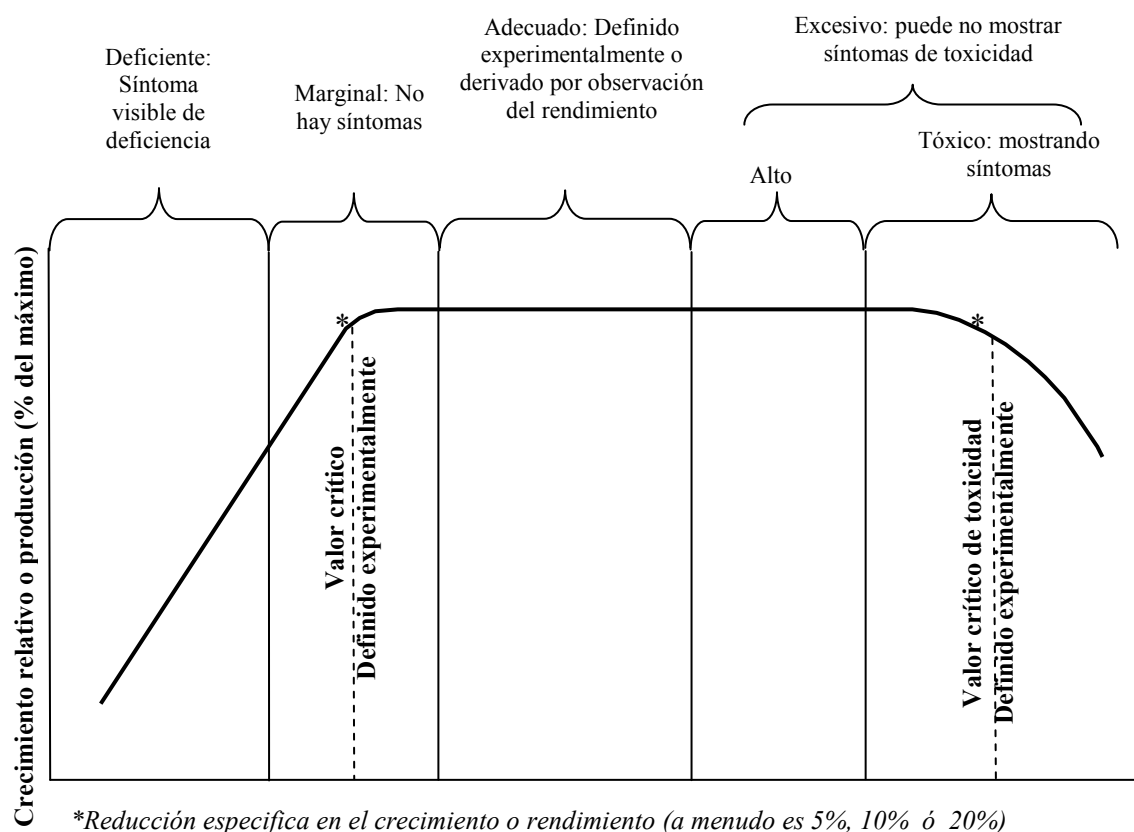


Figura 1. Relación entre abastecimiento nutricional y crecimiento de las plantas (Etchevers, 1981).

Los niveles de concentración son:

Deficiente: es el rango de concentración que se asocia con síntomas visibles de deficiencia en la planta y con una severa reducción del crecimiento y la producción. Cuando se encuentren valores en este rango se deben de tomar medidas correctivas inmediatas.

Bajo o marginal. Rango de concentraciones que se asocia con una reducción del crecimiento o producción pero en el cual la planta no muestra síntomas visibles de deficiencia. Cuando se detectan niveles de este tipo son necesarios algunos cambios en las prácticas de fertilización.

Nivel o concentración crítica de deficiencia. Se define como concentración crítica la concentración de un nutriente en particular determinado en condiciones experimentales donde todos los factores de crecimiento se encuentran en un nivel óptimo, que se asocia con un valor predeterminado del rendimiento o calidad máxima. Normalmente este valor predeterminado, corresponde del 90 al 95% del rendimiento máximo. Este valor está comprendido dentro del rango bajo o marginal. A diferencia de las clases anteriores el nivel crítico de deficiencia (y el de toxicidad) se definen objetivamente. Desde un punto de vista de manejo la concentración de un nutriente siempre debería mantenerse ligeramente arriba del nivel crítico.

Adecuado o suficiente. Dentro de este rango de concentración los cambios que ocurran no provocan aumentos o disminución del crecimiento o producción. Esta clase también se conoce como intermedia, normal o satisfactoria. Si los valores de la planta caen en esta clase no es necesario realizar ningún cambio en las prácticas de fertilización.

Alto. Esta clase representa el rango de concentración comprendida entre los rangos adecuado y tóxico o excesivo. En algunos cultivos esta clase puede definirse objetivamente con una tendencia hacia la producción de calidad o vigor indeseable. El uso de fertilizantes en las plantas que muestren concentraciones nutrimentales en este rango debe reducirse o suspenderse hasta que éstas caigan en el rango adecuado o suficiente.

Tóxico o excesivo. La presencia de concentraciones tóxicas de un nutriente se asocian generalmente con síntomas de toxicidad y algunas veces con reducción del crecimiento y producción y casi siempre con reducción de calidad y vigor excesivo. Cuando se encuentran valores en este rango se deben tomar medidas correctivas inmediatas (Etchevers, 2000).

Una vez que ha sido estimada la concentración de un nutrimento en la planta, el siguiente paso es decidir si el nivel encontrado se considera deficiente, adecuado o alto. Existen varios procedimientos para la interpretación de análisis foliares dos de ellos son los niveles críticos y el sistema DRIS (Diagnosis and Recommendations Integrated System).

La concentración crítica es la concentración de un nutrimento en el tejido por debajo de la cual se produce un declive en el crecimiento significativo y una disminución del rendimiento tanto de calidad como de cantidad. Los niveles críticos se obtienen cultivando plantas en suelo (o en solución nutritiva) agregando todos los nutrimentos, excepto aquel cuya concentración crítica se desea determinar (López, 1993., Brockley, 2001) (Figura 1).

Por diversas razones en nuestro país no existen criterios uniformes para evaluar desde el punto de vista nutricional las plantaciones de coníferas. La necesidad de tal información se acentúa en la medida que se quiere dar impulso al

establecimiento de plantaciones comerciales así como valorar áreas naturales o reforestaciones destinadas a la protección del suelo y del agua sin embargo uno de los obstáculos en la estandarización de los criterios es que existen diferentes técnicas de laboratorio para la determinación de un mismo nutrimento y la exactitud de los datos varía de un laboratorio a otro existe divergencia acerca de la metodología para recolectar, procesar e interpretar los resultados (Brockley, 2001., Gómez, 2003).

Con respecto a la planta la concentración de nutrimentos puede variar con la edad del tejido, la época de colecta y la posición del follaje dentro de la copa del árbol por lo que con el seguimiento de un protocolo específico se podrían estandarizar los procedimientos a seguir y las técnicas (Arteaga et al., 1985., López, 1993., Brockley, 2001., Gómez, 2003).

2.6 Consideraciones de Muestreo de Follaje.

En particular en estudios de coníferas en México pueden unificarse los criterios colectando el follaje en los meses de octubre y noviembre (López, 1993., Brockley, 2001., Gómez, 2003).

Para propósitos de diagnóstico nutrimental es recomendable que se uniformen criterios colectando follaje en otoño, la razón de realizar en esta época la colecta de follaje se debe a que la actividad de crecimiento disminuye y las concentraciones de nutrimentos es más estable y las acículas han logrado casi el total de acumulación de biomasa (Powers, 1984., Fisher y Binkley 2000 citado por Gómez 2003., Arteaga 1985).

Algunos trabajos de Estados Unidos reportan que las hojas de un año de edad son más adecuadas que las hojas nuevas sin embargo para las condiciones de México se recomienda con follaje del año actual (Brockley, 2001., Gómez 2003), por las observaciones directas de campo, se ha visto que algunas especies retienen follaje del año anterior solo por periodos cortos, en otros

casos, el follaje del año anterior está prácticamente inactivo y por esta razón no representa adecuadamente la condición nutrimental de los individuos. Por lo anterior es conveniente dirigir el muestreo a la zona de crecimiento más nueva.

Es importante mencionar que después de la época de crecimiento en los meses de octubre y noviembre las hojas nuevas ya lograron prácticamente todo su crecimiento y por lo tanto el tejido de esas hojas nuevas asegura información de calidad para una evaluación nutrimental.

En cuanto a la zona de muestreo de la copa del árbol se prefiere obtener muestras de follaje con la mayor actividad fotosintética (Wells y Allen, 1985, Troth et al. 1986 citados por López 1993; Brockley, 2001) por lo que se recomienda obtener follaje del tercio superior de la copa del árbol Weetman (1989) citado por Gómez (2003). El muestreo de follaje debe ser de fascículos completamente desarrollados y con una posición favorable para la intercepción de la luz solar (Wells y Allen 1985 citado por López 1993., Brockley, 2001).

Brockley (2001) y Tausz (2003), Sugieren que los árboles a muestrear deben ser los dominantes y codominantes, es recomendable que estos estén en las mejores condiciones, vigorosos y sanos. No se debe coleccionar el follaje de árboles con gran producción de cono y deben de estar libres de plagas (Pritchett, 1986 citado por López 1993., Brockley, 2001).

Con relación a la cantidad de follaje recolectada dependerá si será analizada por cada árbol o bien en una muestra compuesta (reunir el follaje de varios árboles).

Para propósitos de diagnósticos de rutina la muestra compuesta es preferible ya que se requiere una muestra de menor tamaño por árbol reduciendo el número y por consiguiente el costo del análisis químico (Brockley, 2001., Tausz, 2003).

2.7 Micronutrientes.

A comienzos del siglo XIX se puso en evidencia que las plantas contienen elementos minerales, utilizando las técnicas de la química analítica y micrométodos de análisis modernos.

De más de los noventa elementos que pueden contener las plantas superiores, sólo dieciséis han sido reconocidos como esenciales para el crecimiento y reproducción de la planta. Estos elementos son: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

El Cuadro 3 muestra, para cada nutrimento, la forma química más común que es absorbida por las plantas, las concentraciones aproximadas (según los autores) en las que se encuentran los diferentes elementos en el tejido vegetal y las principales funciones en el metabolismo celular en que intervienen y que determinan su esencialidad (Cruz, 2006).

Cuadro 3. Esencialidad en estructura y función de nutrimentos en las plantas (Arnon 1974., Marschner, 1995, citado por Cruz, 2006)

Elemento y forma química absorbida	Concentración con base en tejido seco	Funciones
C, H, O: (CO ₂ ,H ₂ O)	mg kg ⁻¹ C: 45 X 10 ⁴ H: 6 X 10 ⁴ O: 45 X 10 ⁴	C, H y O: componentes de todos los compuestos orgánicos: Carbohidratos, Proteínas, Lípidos y Ácidos Nucleicos. El H además de componente de todos los compuestos orgánicos, es importante en el balance iónico, actúa, como el más importante agente reductor y juega papel clave en la regulación energética de la célula.
N (NO ₃ ⁻¹ , NH ₄ ¹⁺) y S (SO ₄ ²⁻)	N: 15 X 10 ³ S: 1 X 10 ³	N y S: Constituyentes de las proteínas, de enzimas, compuestos de reserva, y componentes de las biomembranas. El S , está además relacionado con algunos procesos energéticos de la célula vegetal y en procesos antioxidantes de la célula y de tolerancia a altas concentraciones de metales pesados como Cd y Zn .
P (HPO ₄ ²⁺ y H ₂ PO ₄ ¹⁺) N (NO ₃ ¹⁻ , NH ₄ ¹⁺)	P: 2 X 10 ³	P y N: nucleótidos, transferencia de energía (ATP), trasferencia de electrones (NADP), información genética (DNA Y RNA) y en el metabolismo de las proteínas. Fosfolípidos-membranas fosfato inorgánico-síntesis de ATP.
K (K ¹⁺)	K: 10 X 10 ³	Ión Potasio: Cofactor en la activación del funcionamiento de varias enzimas del metabolismo de proteínas y carbohidratos, regulador osmótico y iónico.
Ca (Ca ²⁺)	Ca: 5x10 ³	Ión calcio: En complejo con la calmodulina (proteína modulada por Ca) reguladora de actividad enzimática, reguladora de homeostasis citoplasmica. Esta involucrado en la división celular y en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular.
Mg (Mg ²⁺)	Mg: 2x10 ³	Ión Mg: Ion central en el complejo clorofila-fotosíntesis. Cofactor de varias reacciones enzimáticas.
Fe (Fe ²⁺)	Fe:1x10 ²	Fe²⁺: Componente esencial de feroenzimas (Hemo y no hemo) y transportadores de electrones como el citocromo y la ferredoxina. Su función es clave en la fotosíntesis, fijación de N y transferencia de electrones
Cl (Cl ¹⁻) Mn (Mn ²⁺) Zn(Zn ²⁺) B(H ₃ BO ₃) Cu(Cu ²⁺)	Cl:1x10 Mn:50 Zn:20 B:20 Cu:6	Cl¹⁻, Mn²⁺, Zn²⁺, B, Cu²⁺: Asociados con catalizadores o activadores de enzimas, el Cl esta involucrado con la división de la molécula del agua durante la fotosíntesis y también en la osmoregulación de plantas que están en suelos salinos. El Mn esta involucrado en el sistema de evolución de O ₂ en la fotosíntesis y en las enzimas arginasa y fosfotransferasa. El Zn es componente de varias deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas incluidas la anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenada, glutámico deshidrogenasa, y málico deshidrogenasa. El B está involucrado en el metabolismo y síntesis de componentes de la pared celular. El Cu forma parte de la citocromo oxidasa, ácido ascórbico oxidasa y lactosa
Mo(MoO ₄ ²⁺)	0.1	Mo: Componente de enzimas del proceso de fijación de N ₂ , reducción de NO ₃ ¹⁻

Entre las funciones de los nutrimentos en el metabolismo de la planta, esta la utilidad estructural, la de impulsores de procesos energéticos o reguladores de la presión osmótica celular y también como enlace en procesos de transferencia de energía.

Función estructural. El elemento forma parte de la molécula de uno o más compuestos orgánicos (aminoácidos y proteínas). Como impulsores de procesos energéticos los elementos pueden ser constituyentes de enzimas. Se refiere a elementos generalmente metales o elementos de transición que forman parte del grupo prostético de enzimas y que son esenciales en las actividades de las mismas. Este es el caso del Fe, Cu, Mn, Zn, Mo y Ni.

Activador enzimático. Forma parte del grupo prostético o elemento dissociable de la fracción proteica de la enzima y es necesario en las actividades de la misma (Quiroz, 2002 citado por Cruz, 2006).

Las plantas utilizan en su nutrición pequeñas cantidades de ciertos elementos, denominados microelementos, oligoelementos o elementos trazas: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe) manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), zinc (Zn) y sodio (Na). Las plantas los requieren solamente en cantidades muy pequeñas. Los micronutrientes tienen varias propiedades en común, entre las que están la de actuar como activadores de muchas enzimas esenciales para la vida animal y vegetal, aunque cuando están presentes en cantidades elevadas en las soluciones nutritivas o solución del suelo, producen toxicidad (Marschner, 1995).

Las plantas absorben los nutrientes del suelo en forma de iones, los dieciséis elementos esenciales entran a la planta en formas iónicas. Las plantas pueden obtener nutrientes por absorción a través de las hojas o de las raíces (Donahue et al. 1981).

Después de eliminar el agua de los tejidos los macroelementos constituyen aproximadamente el 99,5% de la materia seca, mientras que los microelementos forman cerca del 0,03%. El contenido mineral de los tejidos vegetales es variable, dependiendo del tipo de planta, las condiciones climáticas prevalecientes durante el período de crecimiento, la composición química del medio y la edad del tejido entre otros.

Además de los conocidos, N, P, K, Mg y S, los micronutrientes son también nutrientes esenciales para la vida vegetal, ya que intervienen en variados procesos fisiológicos. Los dieciséis nutrientes cumplen los tres criterios para la condición de esencial:

- 1) Su ausencia impide a la planta alcanzar su ciclo vital
- 2) La deficiencia es específica para el elemento en cuestión; es decir no es reemplazable por otro.
- 3) El elemento está directamente implicado en la nutrición de la planta. Por ejemplo como constituyente de un metabolito esencial requerido para la acción de un sistema enzimático (Hernández, 2002., Marschner, 1995).

Un elemento no es considerado esencial, al menos que su deficiencia haga imposible completar a la planta su ciclo de vida; tal deficiencia específica al elemento en cuestión y sólo puede ser prevenida y corregida suministrando éste elemento y el elemento está directamente envuelto en la nutrición de la planta (Arnon, 1943 citado por Donahue *et al.* 1981).

Los micronutrientes no son elementos plásticos forman parte constitutiva de las enzimas o activadores de ellas y participan en el metabolismo y energía de la planta como la fotosíntesis, oxidación-reducción y el metabolismo de carbohidratos y proteínas, no obstante la deficiencia de cualquier micronutriente puede provocar problemas en el crecimiento de la planta y desarrollo de las raíces, repercutiendo en la producción, tanto en calidad como en cantidad.

Los micronutrientes esenciales son: Boro (B), Zinc (Zn), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn) y Molibdeno (Mo). Los de naturaleza metálica (Fe, Cu, Mn y Zn) se encuentran presentes en los suelos y sustratos principalmente como óxidos, hidróxidos o como otras sales bastante insolubles a pH altos.

Para el diagnóstico de las carencias no es suficiente con un examen visual, puesto que deficiencias de diferentes elementos dan lugar a síntomas externos muy similares; de ahí, que sea necesario realizar análisis de suelo y, preferiblemente, de hojas, la carencia de micronutrientes puede producirse por la falta del elemento en cantidad suficiente en el suelo, por lo que la planta no puede tomarlo en la cantidad precisa. Esta carencia la podríamos llamar "absoluta" y raramente se da, por no encontrarse en el suelo en estado asimilable, es decir, disponible para el cultivo, por estar "bloqueado" en algún componente del suelo o por la presencia de otros elementos. En este caso, la carencia es "inducida", como es el caso de la clorosis férrica inducida por la presencia de bicarbonato o el bloqueo que sufre el B por el Ca.

2.7.1 Características de Fe, Cu, Mn, y Zn.

CINC

Símbolo: Zn, elemento químico, metálico de bajo punto de fusión, perteneciente al grupo IIB (grupo de cinc) de la tabla periódica, esencial para la vida y uno de los metales más ampliamente utilizados. Es un metal blanco cristalino, quebradizo a la temperatura ordinaria. No se encuentra puro en la naturaleza.

Los suelos normales contienen entre 10-30 mg·kg⁻¹ de Zn total, lo que no se correlaciona con su disponibilidad.

El Zn se encuentra en suelos y rocas en la forma divalente Zn^{2+} . El contenido de Zn soluble aumenta al disminuir el pH y viceversa.

En la fracción mineral de los suelos el Zn se encuentra principalmente en minerales ferromagnesianos, tales como la biotita, magnetita, hornblenda y sulfuro de cinc (ZnS). Muchos de estos minerales son meteorizados y el Zn liberado se absorbe probablemente a los coloides, como un catión divalente (Zn^{2+}) o forma complejos con la materia orgánica.

Características generales: El Zn es un microelemento esencial que sirve como cofactor enzimático, es esencial para la actividad, regulación y estabilización de la estructura proteica o una combinación de estas. Existen tres enzimas vegetales donde se ha realizado la determinación del Zn enlazado, que son: deshidrogenasa alcohólica, anhidrasa carbónica y la dismutasa de superóxidos. Sin embargo, la producción de la deficiencia de Zn en plantas con su efecto drástico sobre la actividad enzimática, desarrollo de los cloroplastos, contenido de proteínas y ácidos nucleicos, más la dependencia de algunas enzimas aisladas de la adición de Zn, hacen pensar que las mismas enzimas dependientes de Zn en otros organismos, dependerán de Zn en las plantas superiores también así mismo tiene otras funciones como cofactor de enzimas.

Síntomas de deficiencias en plantas.

Dependiendo del cultivo, el trastorno se denomina con nombres diferentes, tales como la yema blanca (en el maíz y el sorgo), hoja moteada o "frenching" (citrus) y la hoja falcada (cacao). Los síntomas de deficiencia en maíz incluyen la clorosis y el achaparrado de las plantas; también las hojas de los nuevos brotes muestran unas bandas amarillas a blancuzcas en la parte inferior de las hojas.

Proporciones aproximadas en las plantas.

Las proporciones de Zn en las plantas varían entre 3 a 150 mg.kg⁻¹ en base al peso seco, mientras que los niveles de deficiencia del elemento en las hojas se encuentran por debajo de 20 a 25 mg.kg⁻¹ en base al peso seco. Los niveles apropiados caen entre 25 a 150 mg.kg⁻¹, pero cuando sobrepasan los 400 mg.kg⁻¹, pueden ser excesivos, produciendo toxicidad (Hernández, 2002).

Fierro.

Símbolo: Fe, elemento químico metálico de transición, perteneciente al grupo VIII de la tabla periódica, el metal más usado y barato, ferromagnesiano, esencial para la vida biológica. El Fe puro es de color blanco, es dúctil y maleable. No se encuentra libre en la naturaleza, sino formando aleaciones.

Estado natural: El Fe constituye el 5% de la corteza terrestre, segundo en abundancia después del aluminio entre los metales y cuarto en abundancia detrás del oxígeno y sílice. El Fe que constituye el núcleo de la tierra, es el elemento más abundante.

En el suelo existe en forma divalente y trivalente. Muchos suelos cultivados tienen un bajo contenido de Fe disuelto en la solución del suelo y adsorbido en forma intercambiable.

Altas concentraciones de Fe disuelto se encuentran en suelos forestales podzólicos. En la forma ferrosa (Fe²⁺) entra en el complejo de intercambio iónico de los suelos. La forma férrica (Fe³⁺) es fuertemente adsorbida por los coloides del suelo, con los que forma complejos con los ácidos húmicos y coloides orgánicos; sin embargo, puede ser transportado por el agua. El contenido de Fe férrico (Fe³⁺) aumenta al aumentar la acidez,

alcanzando grandes concentraciones solamente en suelos muy ácidos, con pH menores de 3 y en suelos ricos en ácidos húmicos y coloides capaces de formar complejos solubles con Fe. Los suelos bajo condiciones reductoras o anegadas tienen un alto contenido de Fe ferroso (Fe^{2+}) (Hernández, 2002).

El Fe no intercambiable está presente en varios minerales primarios, tales como biotita, hornblenda, augita y olivina. Se encuentra en cantidades apreciables en los minerales oxidados hidratados similares a la goetita y limonita ($\text{FeO}_3\text{nH}_2\text{O}$), y como sulfuros en las piritas (S_2Fe). Se encuentra también presente en complejos orgánicos.

Características generales: El Fe es un microelemento esencial, forma parte de citocromos, proteínas y participa en reacciones de oxido-reducción. En las hojas casi todo el Fe se encuentra en los cloroplastos, donde juega un papel importante en la síntesis de proteínas cloroplásticas. También forma parte de una gran cantidad de enzimas respiratorias, como la peroxidasa, catalasa, ferredoxina y citocromo-oxidasa.

Presumiblemente el ión requerido en el metabolismo es el ferroso (Fe^{2+}), en cuya forma es absorbido por la planta, ya que es la forma de mayor movilidad y disponibilidad para su incorporación en estructuras biomoleculares (Hernández, 2002).

El Fe participa en reacciones de óxido-reducción en proteínas con y sin el grupo hemo. Las metaloproteínas con Fe participan en reacciones de óxido-reducción como deshidrogenasas y agentes reductores (proteínas Fe-S y ferredoxina), acopladas a reacciones de transferencia de electrones (citocromos del tipo b y c), oxidasas (citocromo-oxidasa), peroxidasas (catalasa y peroxidasa), oxigenasas con y sin hemo (citocromo P450, monooxigenasa y dioxigenasa). Aunque sin haber una reacción de oxido-reducción, en la oxigenación reversible de la leghemoglobina (presente en los nódulos de las raíces de leguminosas), participan propiedades de coordinación similares a la asociación porfirina- (Fe^{2+}).

A pesar de que la mayor parte del Fe activo de la planta, participa en reacciones de óxido-reducción a nivel de cloroplastos, mitocondrias, peroxisomas, existe un requerimiento de Fe en la síntesis de porfirinas, la cual se pone de manifiesto en la clorosis producida por carencia de fierro. En la enzima aconitasa el ión ferroso (Fe^{2+}) se une al ión citrato y a la enzima en el sitio catalítico; no conociéndose aún el requerimiento específico del ión ferroso (Fe^{2+}).

Síntomas de deficiencia en plantas.

El efecto más característico de la deficiencia de Fe es la incapacidad de las hojas jóvenes para sintetizar clorofila, tornándose cloróticas, y algunas veces de color blanco. El Fe es virtualmente inmóvil en la planta probablemente porque es precipitado como un óxido insoluble o en las formas de fosfatos férricos inorgánicos y orgánicos.

La entrada de Fe en la corriente floemática es disminuida probablemente por la formación de esos compuestos insolubles. En todo caso, una vez que el Fe es llevado a un órgano por el xilema, su redistribución es fuertemente limitada.

Las deficiencias de Fe en *Pinus caribaea* se caracteriza porque las acículas terminales presentan una clorosis acentuada, que se torna de un amarillo pálido, mientras que las acículas basales permanecen verdes. Las zonas más jóvenes del tallo muestran un color crema claro que se puede tornar blanquecino. Se observa en algunas acículas necrosis apical. Las plantas muestran raquitismo y en la fase más avanzada, se afecta todo el desarrollo de la planta (Figura 2).

Proporciones aproximadas en las plantas: El contenido de Fe en los tejidos normales varía de 10-1500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso seco, dependiendo de la parte de la planta y de la especie.

COBRE

Símbolo: Cu, elemento químico, metal extremadamente dúctil, perteneciente al grupo IB de la tabla periódica, buen conductor del calor y de la electricidad. El Cu rojizo es hallado en estado metálico libre en la naturaleza.

En los suelos el Cu se encuentra presente principalmente en la forma divalente. La concentración de Cu en la solución del suelo ordinario puede llegar a valores tan bajos como 0.01 mg.kg^{-1} ; mientras que la cantidad soluble en agua no excede de 1 mg.kg^{-1} , esto es aproximadamente 1% del Cu total. Se considera que la fracción principal del Cu disuelto existe como complejo soluble de ácidos orgánicos, tales como cítrico y oxálico.

El Cu intercambiable está firmemente adsorbido especialmente por la materia orgánica del suelo. El ión Cu^{2+} en una gran proporción es fijado por el humus, en una forma más estable que por la forma ordinaria intercambiable adsorbida. Se ha demostrado experimentalmente que el Cu es adsorbido más firmemente por los suelos orgánicos, que por los suelos minerales. El Cu no intercambiable se considera unido parcialmente a la materia orgánica, como complejos estables o como constituyentes de residuos de plantas y parcialmente en minerales primarios y secundarios. El Cu orgánico se hace disponible solamente después de la mineralización. La distribución de Cu entre los componentes inorgánicos y orgánicos del suelo varía notablemente con el contenido de humus.

El compuesto más importante de Cu en las rocas primarias es la calcopirita (CuFeS_2) y minerales de las rocas ígneas básicas. En suelos inundados, el Cu se presenta también como CuS o posiblemente como Cu_2S , que al exponerse al aire se oxidan a sulfato. En los suelos se han hallado así mismo, carbonatos y fosfatos de Cu.

Las deficiencias de Cu se detectan en suelos orgánicos ácidos, en suelos derivados de rocas ígneas muy ácidas y en suelos lixiviados de textura gruesa.

Características generales: El Cu es un microelemento constituyente de ciertas enzimas, incluyendo la oxidasa del ácido ascórbico (Vitamina C), tirosinasa, citocromo-oxidasa y la plastocianina que es una proteína de color azul, que se encuentra en los cloroplastos.

El Cu enlazado participa en enzimas de óxido-reducción, con excepción de ciertas amino-oxidasas y galactosa-oxidasas. Este elemento participa en reacciones de óxido-reducción, el Cu provee a la planta con un metal, que en su estado reducido Cu^+ se enlaza y reduce el O_2 . En su forma oxidada (Cu^{2+}), el metal es reducido. En los complejos formados con proteínas, tiene un alto potencial de oxido-reducción. El Cu forma parte de la fenol-oxidasa, que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a cetonas durante la formación de la lignina.

Síntomas de deficiencia: La disponibilidad depende de las cantidades relativas de cobre intercambiable en las formas minerales y complejos orgánicos.

Las plantas presentan muy raramente deficiencias de Cu, ya que este elemento se encuentra disponible en casi todos los suelos, las deficiencias de Cu son conocidas más que todo a partir de estudios en cultivos hidropónicos. En la deficiencia de Cu las hojas jóvenes se colorean de verde oscuro, se doblan y adquieren formas anormales, algunas veces muestran manchas necróticas. En *Pinus radiata* se caracteriza por detención del crecimiento, el tallo se dobla por una lignificación deficiente, que resulta de un nivel insuficiente de Cu para el funcionamiento de la enzima lignina-oxidasa, necesaria para la síntesis de lignina. Proporciones aproximadas en las plantas: Las proporciones

aproximadas de Cu en las plantas varían entre 2 a 75 mg·kg⁻¹ en base al peso seco. Las plantas deficientes presentan cantidades foliares menores de 4 mg·kg⁻¹ en base al peso seco. El rango de Cu para un crecimiento normal cae usualmente de 5 a 20 mg·kg⁻¹, mientras que por encima de 20 mg·kg⁻¹, se pueden observar síntomas de toxicidad (Hernández, 2002).

MANGANESO

Símbolo: Mn, elemento químico, blanco grisáceo, quebradizo, más duro que el hierro, metal de transición perteneciente al grupo VIIB de la tabla periódica, esencial para la fabricación de acero. Se oxida como el Fe, sin embargo no es magnético, no se encuentra libre en la naturaleza.

Estado natural: El Mn en los suelos tiene valencias 2, 3 y 4. En la solución del suelo y en forma intercambiable se presenta principalmente como Mn²⁺, los iones Mn³⁺ y Mn⁴⁺ forman óxidos prácticamente insolubles. La abundancia del manganeso Mn total en suelos minerales varía entre 300 a 7000 mg·kg⁻¹, aunque algunas veces se encuentran contenidos menores o mucho mayores. En muchos suelos la fracción principal del Mn se encuentra bajo la forma no-intercambiable y difícilmente soluble.

El contenido de las diferentes fracciones de Mn en los suelos, es muy variable. Se encuentra en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados, como parte de silicatos y carbonatos.

La parte importante del Mn en suelos se encuentra presente como óxidos insolubles, el más común parece ser la pirolusita como Mn⁴⁺, tanto en la forma hidratada como activa, MnO₂·2H₂O y en la forma cristalizada e inerte MnO₂. Existen evidencias de la presencia de la forma trivalente de óxido de Mn, braunita, Mn₂O₃·nH₂O. Se considera presente en los suelos la husmanita, un óxido mangano mangánico Mn₃O₄. Suelos ligeramente meteorizados pueden contener también cantidades considerables de Mn²⁺ junto con (Fe²⁺) como constituyentes de minerales silicatados, entre los que el silicato oscuro es el que contiene más Mn. La biotita

contiene hasta 1% de MnO, augita 0.4%, hornblenda 0.3% y la moscovita 0.1%. Así mismo la piedra caliza y la dolomita algunas veces tienen alto contenido de Mn.

Los principales factores del suelo que determinan la disponibilidad del Mn son el pH y las condiciones de óxido-reducción. Los valores de pH entre 6 y 6.5 parecen ser críticos. Valores bajos favorecen la reducción, mientras que valores altos favorecen la oxidación.

Las plantas pueden utilizar con seguridad el Mn^{2+} y es casi seguro que no pueden usar el Mn^{4+} mientras que se desconoce su capacidad para absorber apreciables proporciones de Mn^{3+} , el que es muy inestable. Se cree que existe un equilibrio dinámico entre las formas de Mn, de modo que la forma Mn^{4+} es muy probable que se de en suelos alcalinos, la forma Mn^{3+} probablemente está favorecida por valores de pH del suelo próximos a la neutralidad y la forma divalente (Mn^{2+}) se encuentra en suelos ácidos. Se cree que los microorganismos son principalmente responsables de su oxidación entre pH 5 y 7.9, mientras que la oxidación no biológica es marcada solamente por arriba de pH 8.

Características generales: Es un microelemento esencial para la síntesis de clorofila, su función principal está relacionada con la activación de enzimas como la arginasa y fosfotransferasas. Participa en el funcionamiento del fotosistema II de la fotosíntesis, responsable de la fotólisis del agua. El Mn puede actuar en el balance iónico como un contra-ión reaccionando con grupos aniónicos.

El Mn es absorbido por las raíces en la forma de Mn^{2+} que es la forma biológicamente activa, mediante un proceso que demanda energía, el que se retarda en presencia de los iones divalentes Mg^{2+} y Ca^{2+} . Se mueve en la planta principalmente como ión libre en el floema.

Se ha encontrado que un gran número de enzimas aisladas del metabolismo intermedio, son activadas por Mn^{2+} . Las proteínas

lecitinas, como la concanavalina A, enlaza Mg^{2+} y Ca^{2+} a través de residuos carboxilados e imidazoles, atribuyéndose las necesidades de estos cationes para el mantenimiento de la conformación proteica.

En la fotólisis del agua se requiere Mn fuertemente enlazado en el lado oxidante del fotosistema II. La liberación de O_2 por la fotosíntesis depende del enlace en cuatro manganesos por cada centro de reacción de la P680, con una fuerte indicación de que el complejo Mn-proteína, participa directamente en el almacenamiento de los cuatro equivalentes de oxidación, requeridos para la transferencia de 4 electrones de dos moléculas de H_2O , para producir O_2 . No ha sido establecido aún el papel que juega el Mn en las reacciones de óxido-reducción.

Síntomas de deficiencia: Las deficiencias de Mn son más comunes en suelos orgánicos que en inorgánicos. El Mn se encuentra generalmente presente en las mismas formas en los tipos de suelos, sin embargo la proporción de Mn encontrada formando complejos con la materia orgánica es mucho más alta en suelos orgánicos.

Las deficiencias de Mn no son muy comunes, a pesar de que ciertos desórdenes como la "mancha gris" de la avena (*Avena sativa*) es conocida desde hace muchos años y es controlada tratando las plantas con sales de manganeso. Los síntomas de deficiencia de Mn pueden ocurrir tanto en hojas jóvenes como en hojas viejas y comprenden una amplia variedad de formas cloróticas y manchas necróticas. Los síntomas iniciales son frecuentemente una clorosis entre las venas, tanto en hojas jóvenes como viejas, dependiendo de las especies, seguida de lesiones necróticas.

La deficiencia de Mn en *Pinus caribaea* se caracteriza porque las acículas terminales y en fascículo presentan una clorosis ligera. Las acículas situadas cerca del meristemo apical muestran un mosaico necrótico progresivo, con una coloración que varía de crema a gris. En un estado avanzado de deficiencia se

desecan las acículas de la mitad de la planta hacia arriba, esta necrosis puede comenzar de la parte media de la acícula, avanzando luego en varias direcciones. Las plantas deficientes en Mn se marchitan y tienen aspecto raquítico (Figura 3).

Proporciones aproximadas en las plantas: Varían entre 5 y 1500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en base al peso seco. En muchas plantas, las hojas con síntomas de deficiencia poseen niveles de Mn menores de 20 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en base al peso seco. Los niveles aceptables y no excesivos de Mn, caen en el rango de 20-500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, mientras que cantidades superiores a 700 ppm se consideran tóxicas. El contenido de Mn en acículas de *Pinus caribaea* que crecían en soluciones nutritivas completas fue de 144.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, mientras que las plantas que mostraban los síntomas de deficiencia del elemento tenían una concentración de 22.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Hernández, 2002).

Alvarado *et al.* (1993) citado por Rivera *et al.* (2006) encontró que en la rizosfera de árboles dañados de oyamel en el Desierto de los Leones existían deficiencias de Mn y Zn en el follaje de individuos de la misma especie y determino deficiencias de Mn.

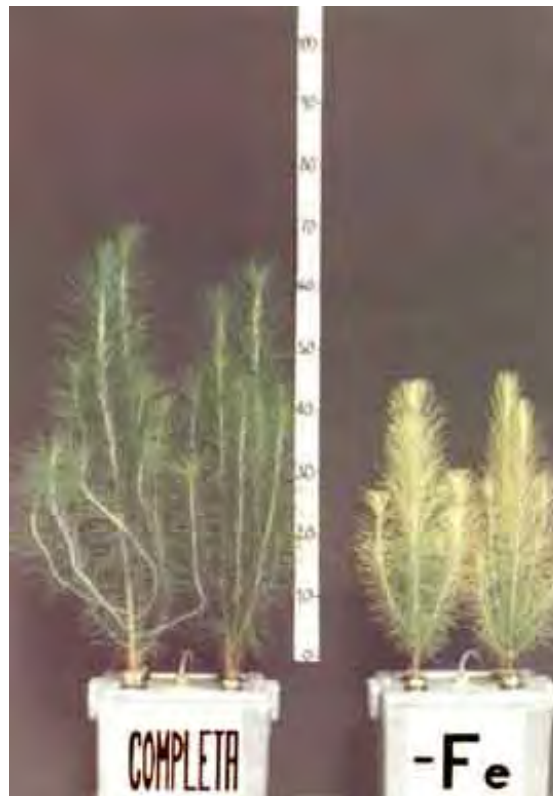


Figura 2. Deficiencia de Fe en *Pinus caribaea*



Figura 3. Deficiencia de Mn en *Pinus caribaea*

2.8 Estudios realizados en *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. Et Cham.

En estudios realizados, en *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. Et Cham en el Desierto de los Leones se observó un proceso de declinación, el cual se manifestó por clorosis y enrojecimiento de las hojas lo que provocó debilitamiento de los árboles afectando a varias especies siendo esta especie una de las más dañadas, Cibrián (1989) reportó que en 1986 había muerto aproximadamente el 36% del volumen de madera de oyamel que inicialmente existía en el parque, generándose varias áreas con porcentajes de mortalidad cercanos al 100%.

Se observó que uno de los síntomas que repercutió en el debilitamiento de los árboles fue el amarillamiento del follaje o clorosis apareciendo en el follaje de un año de edad o más, Alvarado et al. (1993) citado por Rivera et al. (2006), encontró que en la rizosfera de árboles dañados de oyamel en el Desierto de los Leones existían deficiencias de Mn y Zn y en el follaje de individuos de la misma especie.

El bronceado del follaje fue otro de los síntomas que presentó esta especie en la misma localidad en los meses de octubre a noviembre, gran parte del follaje de algunos árboles (cerca del 60%) tomaba una coloración café rojiza brillante, las hojas adoptaban una textura coriácea, morían y se desprendían de la ramilla lo cual ocurría a mediados o finales de la época de crecimiento que sucedía al periodo otoño-invierno en que se origina el síntoma.

Debido a esto se hicieron estudios en tejido foliar para determinar la concentración de Fe, Mn y Zn y determinar la relación que guardaron estos síntomas con el estado nutricional de los árboles. Se relacionó la presencia de clorosis y bronceado con el estado nutricional del oyamel. En este estudio las concentraciones nutrimentales de los elementos Zn, Fe y Mn fueron comparadas con las concentraciones de follaje de un brinzal (individuo menor de un metro de altura) de oyamel que presentó elevadas tasas de crecimiento (árbol de alto rendimiento) de la misma edad de los brinzales de la zona de

estudio de 1.5 años de edad, López (1993) citado por Rivera (2006). Este árbol de referencia fue al que al aplicarle la formulación del DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) presentó menor índice de desbalance nutricional lo que significa que la concentración de nutrimentos en su follaje es cercana a la óptima.

En el estudio se encontró que todos los niveles de clorosis (25, 50, 75 y 100) mostraron deficiencias de Mn en un rango de concentración de 50 a 110 mg·kg⁻¹ comparado con el brinjal de alto rendimiento 240 mg·kg⁻¹. Este hallazgo concordó con lo encontrado por Alvarado *et al.* (1993) quien comparó las concentraciones de nutrimento en el follaje del oyamel del Desierto de los Leones con el de la estación experimental Zoquiapan en el estado de México encontrando bajas concentraciones de este nutrimento.

Por otro lado la concentración de Fe en el follaje pareció tener relación con el grado de enrojecimiento del follaje ya que los mayores grados de bronceado correspondieron a los niveles más altos de Fe. Según datos reportados por Alvarado *et al.* (1993) la concentración de Fe en el follaje de oyamel en declinación tiene mayores concentraciones de este nutrimento, 276.7 mg·kg⁻¹ comparado con el de árboles sanos de Zoquiapan México con un valor de 377 mg·kg⁻¹. Por otro lado López *et al.* (1998) encontró que el Fe es el segundo nutrimento más deficiente, después del K en follaje de oyamel en el Desierto de los leones. Las concentraciones de Fe en el follaje son muy variables Mengel y Kirkby (1982) citado por Rivera *et al.* (2006) y dos estudios el de Alvarado *et al.* (1993) y el de Rivera *et al.* (2006) reportaron altas concentraciones de Fe en follaje en declinación por lo que es necesario realizar estudios más detallados al respecto.

Con respecto al Zn la concentración de este nutrimento tuvo variaciones siendo superior a la del brinjal de referencia, por lo que se concluyó que es poco probable que este nutrimento sea responsable del síntoma de enrojecimiento del follaje.

2.9 Estudios realizados en *Pinus radiata*.

En una plantación de *Pinus radiata* en Ayotoxtla Guerrero se encontraron deficiencias de Fe y Cu, del 78% y 9%, respectivamente de los árboles, los cuales tenían concentraciones considerados marginales (de 50 a 100 mg·kg⁻¹ y de 2 a 4 mg·kg⁻¹) lo cual coincidió con el diagnóstico visual ya que algunos árboles presentaban deformaciones en las ramas laterales. En países como Nueva Zelanda y Chile, los síntomas visuales de los desórdenes nutrimentales de esta especie han recibido atención considerable (Arteaga et al. 1985) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Síntomas de deficiencia nutricional en *Pinus radiata* (Arteaga *et al.*, 1985).

Nutriente deficiente	Síntomas	Fuente
N (móvil)	Acículas verdes-amarillentas con decoloración más pronunciada en la parte baja de la copa y follaje viejo; cuando la deficiencia en severa se observa clorosis y necrosis en los ápices de las acículas adultas. Copa estrecha y ramas finas.	Stone y Will, 1965; Will, 1978
P (móvil)	Acículas de tamaño reducido. Clorosis en el ápice de las acículas terminales de ramas laterales y secundarias. Muerte de la yema terminal del fuste, con desarrollo de copas como espiral con ramas cortas, con pocos fascículos.	Gentle et al. 1968; Weston, 1956; Will, 1978.
K (muy móvil)	Clorosis de ápices de las acículas (amarillo intenso) progresado hacia la base en acículas viejas. Ápices neuróticos en follaje más antiguo. Las acículas caen a los 18 meses o 2 años en lugar de los 3 o 4 años.	Gentle et al 1968; Purnull, 1958.
Ca (totalmente inmóvil)	Las acículas primarias de las plántulas pueden desarrollarse normalmente, pero las secundarias pueden atrofiarse y morir. Se ha observado muerte regresiva en el follaje y ramas.	Gentle et al 1968
Mg (móvil)	Las acículas toman un color amarillo dorado en el ápice, seguido de necrosis y amarillento progresivo hacia la base especialmente en el follaje viejo. Clorosis de todas las agujas de la misma edad en una misma rama. Clorosis más severa en la parte superior de la copa en acículas completamente desarrolladas. El problema se agudiza por condiciones de sequía y podas.	Gentle et al 1968; Will, 1966, 1968.
Mn (móvil)	Copa estrecha. Retención de acículas reducidas, lo que resulta en agrupamiento de follaje corto, verde pálido en el extremo de ramillas. Acículas cortas, rígidas, con necrosis en los extremos. Cuando las deficiencias son severas se ha observado muerte en las yemas terminales y laterales.	Rocuant et al 1979
Zn (inmóvil)	Arrosetamiento, ramas laterales cortas y ángulos agudos. Acículas reducidas, las cuales caen antes de tiempo. En casos extremos los verticilos superiores del árbol pueden morir, mientras las ramas inferiores permanecen normales. Acículas amarillas o verdes con extremos amarillos o pardos.	Knight, 1975; Stoate, 1950.
Cu (inmóvil)	Deformación de ramas (retorcidas) y ángulo de inserción más abierto. Desgajamiento de la yema apical terminal, incidencia a la fusión de acículas, extremo de acículas "quemadas".	Adams, 1978; Knight, 1975; Koow, 1980; will, 1972.
Fe (inmóvil)	Los brotes nuevos muy atrofiados y cloróticos. Las acículas viejas y la copa inferior permanecen verdes. En las plántulas, los cotiledones permanecen verdes. Raro en las coníferas, excepto en suelos calcáreos o alcalinos.*	Daniel et al. 1982
B (totalmente inmóvil)	Muerte de yemas terminales o de todo el tallo durante el período de rápida elongación. Acículas de tallo con crecimiento corto, extremos amarillos; manchas blancas de resina son comunes. La médula en zonas de transición presenta a menudo manchas de color café. La abundancia de nuevos tallos, que emergen de yemas laterales o de fascículos, aumentan la densidad de la copa o causan "arbustamiento" extremo de los árboles.	Know, 1980; Stone y Will, 1965; tollenaar, 1969; will, 1978.

* Síntomas de deficiencia nutricional para coníferas en general.

3 Estudios realizados en el género *Quercus*.

El género *Quercus* reviste gran importancia por su diversidad y que incluye numerosas especies de árboles dominantes de los bosques templados. Se calcula que existen alrededor de 300 a 500 especies a nivel mundial. México posee una diversidad muy alta, ya que existen alrededor de 200 especies (Rzedowski, 1981.,

González, 1993) de las cuales 125 son endémicas lo que coloca a nuestro país como el de mayor diversidad de encinos; en el continente americano se encuentran desde el sur de Canadá hasta el norte de Colombia.

En México los encinares junto con los pinares constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de las zonas montañosas. Predominan en áreas de clima templado aunque se pueden encontrar en otras condiciones climáticas desde tropicales hasta semiáridas. Existen encinos en todos los estados de la Republica excepto en Yucatán y Quintana Roo (Rzedowski, 1981); sin embargo a pesar de la gran diversidad florística y ecológica de los encinares mexicanos, existen grandes carencias en el conocimiento biológico y del estado nutrimental de las especies mexicanas de encinos. Este conocimiento resulta indispensable si se pretende frenar el deterioro ecológico en las zonas montañosas templadas del país o bien si se pretende restaurar ecológicamente zonas que fueron ocupadas por encinos.

Debido a que los bosques de encino generalmente se localizan en regiones climáticas favorables para la población humana y a que originalmente ocupaban áreas particularmente aptas para el desarrollo de la agricultura han sido de los tipos de vegetación más afectados por el impacto del hombre (Rzedowski, 1981). Esto ha tenido como resultado su eliminación casi total en los terrenos bajos y poco accidentados, mientras que en los terrenos escarpados sufren un fuerte deterioro causado por la introducción de ganado o por estar sujeto a explotación forestal. En el primer caso el pastoreo intensivo y la aplicación frecuente de fuego ocasionan problemas que van desde la ausencia de regeneración y la degradación del sotobosque, hasta problemas serios de erosión. En el caso de la explotación forestal el impacto varía dependiendo del terreno y de la intensidad de la misma pero en casos severos puede llevar a la desaparición extensiva de las zonas boscosas.

De acuerdo con Rzedowski (1981) grandes extensiones de encinares se consumieron en el siglo pasado debido a su explotación

desmedida para la obtención de carbón vegetal, que fue el principal combustible de uso doméstico durante muchos años en amplias regiones del país. En la actualidad a la explotación comercial de encinares se añade el consumo local de los asentamientos rurales, cuyo impacto es considerable, ya que la leña de encino es el combustible doméstico preferido por la población campesina de las zonas templadas del país.

Los encinares son el hábitat de una gran variedad de animales y ocupan sitios estratégicos en muchas cuencas hidrológicas por lo que su deterioro tiene efectos dañinos, no solo en la zona en donde se produce el disturbio, sino a un nivel regional. Además de la pérdida de biodiversidad que conlleva su eliminación, ésta puede ocasionar erosión, desecación de manantiales e inundaciones entre otros efectos (Gómez, 1985).

Los encinos se han empleado en la rehabilitación y restauración de bosques, pues aunque no se consideran especies pioneras, pueden reclutarse en etapas tempranas de la sucesión ecológica, además son árboles idóneos para las reforestaciones urbanas, ya que su lento crecimiento evita las interferencias con el cableado aéreo de las calles.

3.1 Descripción de especies.

3.1.1 Género *Pinus*.

El bosque de pino se encuentra en zonas altas y frías, a una altitud entre 3000 y 4000 msnm. Los pinares se encuentran generalmente en lugares con suelo poco profundo y poca humedad Gómez-pompa (1978) citado por Blanco et al. (1981) y se desarrollan en suelos ácidos. Los bosques de Pinos ocupan alrededor del 15% del territorio del país (Flores et al. citado por Rzedowski, 1994). En cuanto a su riqueza forestal constituyen un recurso muy importante debido a la alta demanda de su madera y en especial por su amplia distribución (Rzedowski, 1994).

Las pináceas constituyen una de las familias más importantes del Reino Vegetal. Son árboles o arbustos siempre verdes, más o

menos resinosos, con hojas simples o agrupadas, aciculares (en forma de aguja), lineares o escamiformes; con flores dioicas y monoicas y fruto en forma de cono o globuloso, seco o algo pulposo, compuestos de escamas que protegen a las semillas (Martínez, 1992).

3.2.2 *Pinus hartwegii* Lindl.

La especie de *Pinus hartwegii* Lindl o mejor conocido como pino de las alturas, es el único en México que se encuentra en el límite de la vegetación arbórea a una altura de alrededor de los 2800 a 4200 msnm, Campos (1993) citado por Iglesias et al. (2006)). Algunas de las poblaciones naturales de esta especie en México se encuentran seriamente amenazadas por factores naturales y antropogénicos, constituyendo en la actualidad poblaciones reducidas, fragmentadas y aisladas entre sí (López, 1993 citado por Iglesias et al. 2006).

El crecimiento de esta especie está limitado principalmente por las condiciones ambientales predominantes en dichas zonas, bajas temperaturas y escasa precipitación (Hernández et al. 2005 citado por Iglesias et al. 2006).

3.1.3 *Pinus ayacahuite* Ehren.

Nombres comunes: Se le conoce como Acalocahuite en Veracruz; Acalorote en Cd. Cerdán, Puebla.; A'cxua't (lengua totonaca) en el Norte de Puebla; Ayacahuite, Ayaucuáhuatl (lengua nahuatl); Ocote Blanco, Pino Real en Oaxaca; Ocotegretado-Colcoján; Pinabete en Las Casas, Chiapas.; Pino Cahuite en Hidalgo; Pino Tabla en el Porvenir, Chiapas; Salacahuite, Acanita, Canite en Coahuila; Pino Blanco, Pino Huiyoco en Chihuahua; Acolote en Cofre de Perote Veracruz.

Origen: Es originario del Centro de México hasta Centroamérica.

Forma biológica: Árbol de 35 - 40 m de altura y diámetro normal de 2 m; 20 - 30 m de altura, con copa cónica y crecimiento moderado, vive cerca de 100 años. Se caracteriza por sus escamas

delgadas, frágiles, largas y angostas, gradualmente atenuadas hacia la base; y por el ala de sus semillas también larga y estrecha; de hojas Perennifolias. Los frutos maduran de septiembre a octubre.

Asociación vegetal: Bosque de coníferas y *Quercus*.

Entidades: Típica del SE de México, aunque se extiende hasta el centro del país. Puede mezclarse con otros pinos y abetos en las montañas de México; hay grupos considerables en las montañas de Chiapas, Oaxaca y Guerrero; además de un pequeño grupo en Puebla y Tlaxcala.

Altitud: 2000 - 3200; más frecuente entre los 2700 msnm.

Suelo Profundidad: De 0.30 a 2 m; desde 1 m en lomeríos a 3 m en valles.

Textura: Arcillosa, franco arcillosa y franco limosa. Franco arenosa, arcilla de 9.14 a 15.14 %; limo de 10 a 30.73 %, arena de 52.5 a 80.5 %.

Características químicas: pH 5 - 8, 4.3 a 6.9.

Otras: Se establece en suelos francos, derivados de cenizas volcánicas con presencia de alófanos.

Usos: Se utiliza para reforestación en las zonas urbanas y suburbanas, también en la elaboración de muebles, moldes de fundición, y en la construcción. La resina se utiliza en la elaboración de diversos productos. Entre los usos no maderables de esta especie, destaca la extracción de trementina y brea de las cuales se obtienen diversos productos para uso doméstico e industrial. Otro uso no maderable es como leña combustible en las zonas rurales. En el aspecto medicinal, la resina suele usarse para el tratamiento de trastornos respiratorios, para calmar la tos y como ungüento para el tratamiento de infecciones

del oído. En la veterinaria, se usa en casos de envenenamiento y padecimientos de la piel en animales (CONAFOR, 2008).

La madera es de buena calidad, suave y manejable, útil en la artesanía, aserrío, triplay, celulosa, papel, puntales para minas, construcciones y ebanistería. Se recomienda para parques y jardines o campos deportivos, por su belleza apariencia (SIRE, 2007).

3.1.4 *Pinus montezumae* Lamb.

Nombres comunes: Pino, Ocote, Pino montezuma, Chalmaite Blanco en Veracruz; Pino Real, Yutnu-Santu en Oaxaca; Pino blanco, Ocote Macho.

Origen: nativo de México, se extiende hasta Guatemala.

Forma biológica: Árbol de 25 a 30 m y diámetro normal de 50 a 90 cm; con un crecimiento de rápido a moderado.

Fenología: Hojas perennifolias, flores de febrero a abril.

Frutos: La maduración de los conos generalmente ocurre 26 meses después de la polinización, de abril a junio, la apertura de los conos se ve favorecida por la ocurrencia de las altas temperaturas en esa temporada. Es común que la producción de conos se concentre en "años semilleros", los cuales se pueden presentar cada 3 a 5 años dependiendo de las condiciones climáticas.

Asociación vegetal: Bosque de *Quercus* y bosque de coníferas.

Distribución en México: Se presenta una amplia distribución, extendiéndose sobre la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y Sierra Madre de Chiapas. Se ha reportado en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Veracruz, México, Michoacán, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; Colima, Morelos, Querétaro, Tamaulipas, Zacatecas y Distrito Federal.

Requerimientos Ambientales: altitud media 2500, mínima de 1150 a 2000 msnm, máxima de 3150 a 3200 msnm.

Clasificación del suelo (FAO): Andosol (CONABIO verificado carta para Michoacán, Morelos y Jalisco).

Características físicas: Suelos moderadamente profundos a profundos.

Textura: migajón-arenosa, arenosa, areno-limosa.

Pedregosidad: no pedregosos.

Drenaje: bien drenados.

Características químicas: pH 5 a 7.

Otros: Los suelos donde se desarrolla esta especie son de origen volcánico, ubicados en las mesetas altas y pendientes bajas de las montañas, sitios donde se encuentran los mejores ejemplares. En condiciones naturales esta especie se encuentra creciendo en suelos erosionados. Es una especie muy resistente a heladas y condiciones de alta montaña.

Usos: Su madera se utiliza para la fabricación de muebles, estructuras, celulosa, cajas de empaque, puntales para minas, durmientes, postes, duelas, cercas, construcciones pesadas y livianas, chapa, triplay y extracción de resina. La resina (trementina) se emplea en la fabricación de aguarrás y brea.

Comercial: Especie maderable de gran importancia económica. Clasifica como excelente para la fabricación de papel con un grado de calidad III, se recomienda incorporar esta especie en proyectos de plantaciones cuyo objetivo futuro sea la producción de pulpa de papel (SIRE, 2007).

3.1.5 *Pinus patula* Schl. et Cham.

Nombres comunes: Pino Patula, Ocote, Pino Llorón, Pino Triste, Pino Colorado, Pino Chino, Pino Xalocote, Pino Macho, Ocote liso, Ocote Colorado en México, Veracruz e Hidalgo.

Forma biológica: árbol de 30 a 35 m de altura y de 50 a 90 cm de diámetro normal. Su copa es abierta y redondeada, hojas aciculares, 3 o 4 por fascículo, laxas. Tronco recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m, con una raíz profunda y poco extendida. Es de rápido crecimiento, $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

El crecimiento se detiene sensiblemente entre los 30 y 35 años de edad.

Fenología: Hojas perennifolias. El renuevo de hojas ocurre en dos períodos, en febrero brotan las hojas del primer internado (maduran en marzo), en mayo comienza la aparición de nuevas hojas en el segundo internado (maduran en junio), al tiempo que caen las formadas al inicio del año.

Flores: Se presentan de enero a abril. La polinización es anemófila y en marzo el polen queda en libertad.

Frutos: Los frutos son conos seróticos. La maduración de los frutos se presenta hasta el final del año siguiente, el ciclo fenológico desde el inicio de la floración hasta la madurez de la semilla, es aproximadamente de 24 meses. El período de fructificación se presenta cada cuatro o cinco años, "año semillero"; sin embargo, en condiciones climáticas favorables se puede presentar producción anual.

Distribución en México: Se distribuye naturalmente sobre las formaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre de Oaxaca, en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Querétaro, Distrito Federal y Tlaxcala. En los Estados de

Hidalgo, Puebla y Veracruz, se encuentran las poblaciones más grandes y con los mejores desarrollos. Existen plantaciones en Puebla, México, Michoacán y Distrito Federal.

Asociación vegetal: Bosque de pino y Bosque de Pino-Encino.

Requerimientos Ambientales: Altitud media, óptima entre los 1800 y 2400, mínima de 1600 a 1500, máxima de 3100 msnm.

Profundidad del suelo: de moderada a muy profunda; de moderada a muy profunda en sitios con pendiente pronunciada, ésta es superior a un metro.

Textura: De Arenosa a arcillosa; de francas a migajosas en el horizonte A; arcillosas en la partes más profundas.

Pedregosidad: No pedregosos a escasa pedregosidad.

Drenaje: Bien drenados.

Características químicas: pH de 3.8 a 6.6; los valores más ácidos se encuentran en los horizontes superficiales.

Temperatura media: 10 a 20°C, mínima: -14°C y máxima 40°C.

Otros Ambientes: Se desarrolla principalmente en zonas templadas con exposiciones norte y aquellas que reciben una gran cantidad de niebla durante el año, es posible encontrarla en lugares donde llegan los vientos húmedos del Golfo de México, aunque también pueden crecer en donde no exista humedad relativa alta. Crece en terrenos de topografía plana y lomerios con pendientes moderadas y hasta de 45°. Se menciona que la regeneración natural de *P. patula* se presenta con mayor frecuencia al pie de arbustos de *Baccharis conferta*, supuestamente debido a la protección mecánica que reciben las plántulas contra el pastoreo.

Usos: La madera es de buena calidad se recomienda para construcciones que requieran resistencia, para postes, durmientes, pilotes, armaduras y vigas. Se emplea para la elaboración de cajas de empaque y para acabados interiores y exteriores. También es muy apreciada en la fabricación de papel debido a la longitud de sus fibras.

Comercial: Por su potencial productivo y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y suelos no forestales, es ampliamente utilizado para la producción de madera de aserrío y de material celulósico. Extensamente utilizado en plantaciones comerciales en Sudáfrica y países de América del Sur (SIRE, 2008).

3.1.6 *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus*.

Nombres comunes: Mocohtaj (lengua tojolobal) en Altamirano, Chiapas; Pacingo en Michoacán; Pino Blanco en Michoacán y México; Pino Ortiguillo en Michoacán; Pino real en Durango.

Origen: Es originario de México, Guatemala y Honduras.

Forma Biológica: Árbol con alturas de 30 a 40 m, ocasionalmente hasta 45 m, y en diámetro normal de 40 a 80 cm; fuste recto, libre de ramas de 30 a 50% de su altura total.

Fenología: Perennifolio; flores de febrero a marzo, la maduración de los conos es de noviembre a diciembre en México y América Central.

Distribución: En México es encontrado en Jalisco, Michoacán, Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas. Se distribuye escasamente en el norte de México.

Asociación vegetal: Bosque de coníferas, bosque de pino-*Quercus*.

Altitud: desde 2400 a 2800 msnm; sin embargo, en México se ha encontrado en laderas de montaña con elevaciones de 1600 a 3200 msnm.

Unidades taxonómicas de suelos: Andosol.

Profundidad: De 1 a 3 m.

Textura: migajón-arenosa y areno-arcillosa.

Drenaje: bien drenados.

pH del suelo: de 5.5 a 6.5 ; de 4.5 a 7.0.

Otros: Crecen en suelos profundos derivados de material volcánico, en sitios con bajo contenido de Fósforo, medianos contenidos de Calcio y Potasio. En el noreste del país se ha encontrado en suelos calizos y delgados. Existen reportes que los árboles más altos han sido encontrados en el oeste de Michoacán a elevaciones de 2000 a 2400 msnm.

Temperatura: Media 14.7°C, mínima de 9°C, máxima de 40°C.

Usos: Es buen productor de resina, es ampliamente explotada en los estados del centro y sur del país. La madera es de buena calidad se usa en aserrío, triplay, chapa, para cajas de empaque, molduras, en la construcción, en la fabricación de ventanas y muebles finos, artesanías, ebanistería y pulpa para papel. Es una especie recomendable para plantaciones comerciales, también para su uso ornamental en campos deportivos y parques, debido a que su follaje semicolgante desprende un aroma agradable a resina (SIRE, 2008).

3.2.1 *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. Et Cham.

El bosque de oyamel esta distribuido en México en forma dispersa y localizada se presenta en la mayoría de los casos en forma de manchones aislados en cerros, laderas y cañadas. Las áreas continuas de mayor extensión son las serranías que rodean al valle de México, las montañas del Eje Neovolcánico Transversal y en la Sierra Madre del Sur (Rzedowski, 1994). La extensión total que ocupan en México es de 0.16% (Flores *et al.*, citado por Rzedowski, 1994), se pueden encontrar en sitios de alta montaña entre 2400 y los 3600 msnm. y generalmente se encuentran debajo de los pinares. Se caracteriza por ser un bosque muy húmedo y se desarrolla en suelos ligeramente ácidos. El hombre ha afectado su permanencia debido a los desmontes y a la tala inmoderada con el propósito de utilizar los terrenos con fines agrícolas; su madera es la materia prima de la industria de la celulosa y el papel, se emplea como combustible y para aserrar, también se cortan las puntas o los árboles para usarlos como árboles de navidad (Rzedowski, 1994).

Nombres comunes: Abeto - Veracruz; Acshoyatl - México; Bansú (lengua otomí)- Hidalgo; Ocopetla - Teotepec, Gro.; Oyamel - México, Hidalgo; Pinabete - Michoacán y Jalisco; Thúcum (lengua tarasca) - Michoacán; Ueyomel- Ixcaltepec, Gro.; Xólocotl - México.

Origen: es originario de México.

Forma biológica: Árbol monoico de 35 a 40 m de altura, en ocasiones hasta 60 m, diámetro normal hasta de 1.80 m.

Fenología: Perennifolio, flores las estructuras masculinas y femeninas se presentan desde diciembre. La fructificación se presenta de noviembre a enero, la dispersión de las semillas ocurre entre marzo y abril.

Distribución en México: Distrito Federal, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, México, Guerrero y Tlaxcala.

Asociación vegetal: Bosque de coníferas, las masas puras formadas por esta especie son también conocidas como bosques de *Abies*, bosque de abetos o bosque de oyamel.

Altitud: Óptima 3 200 msnm, mínima 2 800 msnm, máxima 3 500 msnm.

Unidad taxonómica de suelo: Histosol, Inceptisol.

Profundidad: Generalmente profundos aunque también en suelos someros.

Textura: Limo-arenosa, arcillo-arenosa, arenosa.

Pedregosidad: De ligera a moderada.

Estructura del suelo: Granular o en bloque.

Drenaje del suelo: bien drenados.

Color del suelo: Pardo oscuro ó rojizo.

pH: de 5 a 7.

Temperatura: media de 7 a 15°C, mínima - 12°C.

Otros: Crecen en suelos profundos derivados de material volcánico, en sitios con bajo contenido de Fósforo, medianos contenidos de Calcio y Potasio. En el noreste del país se ha encontrado en suelos calizos y delgados. Existen reportes que los árboles más altos han sido encontrados en el oeste de Michoacán a elevaciones de 2000 a 2400 msnm.

Los suelos donde se establece el oyamel son muy jóvenes, de origen volcánico (andesitas, basaltos o riolitas) y presentan geofomas con pendientes muy pronunciadas, aunque generalmente se establecen en suelos profundos, en el Estado de México y en Jalisco se encuentran sobre una capa muy delgada de cenizas volcánicas; las propiedades físicas del suelo influyen más en el desarrollo del oyamel que las químicas, la profundidad, el drenaje, la textura, estructura y el contenido de humus son propiedades decisivas en el desarrollo del oyamel.

Usos: El uso más importante es como "árbol de navidad", además de sus ramas que se utilizan para hacer adornos en ceremonias religiosas. La madera no es de muy buena calidad, pero se recomienda para fabricar papel, ya que la pulpa es de muy buena calidad; como madera aserrada se puede utilizar en la fabricación de cajas, puertas, marcos y techos interiores, fabricación de postes que transmiten energía eléctrica, cercas, durmientes y palos de escoba. La textura de la madera es mediana, de veteado suave y sin olor ni sabor; el peso específico de la madera verde es de 0.860 g cm^{-3} y de 0.360 g cm^{-3} con 12% de humedad. Por su color claro, peso ligero, ausencia de manchas y de resina, y su carencia de olor se recomienda como apropiada en la fabricación de empaques para alimentos, como pescado, azúcar, etc. La trementina, "aceite de palo" "aceite de abeto", es recomendada para su empleo medicinal; la corteza de árboles viejos es utilizada para carbón y la madera en la construcción de casas (SIRE, 2008).

3.3.1 Género *Quercus*.

Los encinos junto con los pinos constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de las áreas de clima templado, según Flores 1971, (citado por Rzedowski, 1994); ocupa el 5.5% de la superficie del país y 13.7% de los bosques mixtos de pino y encino. Los encinos forman relaciones con los pinos debido a que comparten afinidades ecológicas. Se encuentran entre los 1200 y 3100 msnm y crecen en suelos de acidez moderada. Son muy explotados a nivel local puesto que son de troncos muy delgados (Rzedowski, 1994).

4 Objetivo General.

Generar información del contenido nutrimental mediante la determinación de la concentración foliar de Fe, Cu, Mn y Zn en comunidades de *Pino*, *Quercus* y *Abies* en bosques templados de tres Áreas Naturales Protegidas en México.

Objetivos particulares.

- Establecer intervalos de concentraciones para Fe, Cu, Mn y Zn en las especies de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus*.
- Determinar la concentración foliar de Fe, Cu, Mn y Zn en las especies de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus* y sus relaciones con N y P.

Hipótesis.

Derivado de material volcánico, los suelos de los Parques Nacionales Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Benito Juárez en Oaxaca proporcionan niveles nutrimentales óptimos para el desarrollo foliar de las comunidades de *Pinus*, *Abies* y *Quercus* en México.

5 Descripción de las Zonas de estudio.

La SEMARNAT a través de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) decretó que las Áreas Naturales Protegidas (ANP) constituyen porciones terrestres ó acuáticas del territorio nacional representativas de los diferentes ecosistemas y de su biodiversidad, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado por el hombre y que están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo. Dentro de estas áreas se encuentran los parques Nacionales que según la LGEEPA (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental) " Se constituyen conforme a esta Ley y la Ley Forestal , en terrenos forestales, tratándose de representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo y de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna de importancia nacional, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones de interés general análogas." (LGEEPA, 2006).

5.1 Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, Sierra Volcánica transversal.

El Decreto que establece el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl se emitió el 29 de octubre de 1935 y se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 7 de noviembre del mismo año, durante el gobierno del Gral. Lázaro Cárdenas.

Con un impulso similar, se decretó la creación del Parque Nacional "Zoquiapan y Anexas" (porción noroeste de la sierra nevada), el 19 de febrero de 1937. Entró en vigor el 13 de marzo del mismo año, cuando se publicó en el Diario Oficial de la Federación.

Estos decretos fueron elaborados con fundamento en la Ley Forestal de 1926.

Con 25679 ha de extensión, limita al norte y oeste con Tlalmanalco, Amecameca, Atlautla y Ecatzingo, municipios del Estado de México, al este con San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco municipios de Puebla) y al sur con Tetela del Volcán, estado de Morelos. Se localiza en el Eje Neovolcánico. Los suelos presentes en esta zona son el Regosol dístico, Litosoles, Andosol mólico y Cambisol eútrico. Presenta cuatro ríos (Amecameca, Molinos, Akal y Atila) así como escurrimientos perennes menores. En la zona se presentan dos tipos de clima: muy frío, lluvias en verano, temperatura media anual menor de -2°C , la del mes más caliente menor de 0°C . Semifrío subhúmedo, temperatura media anual de 5 a 12°C , mes más frío de 3 a 18°C .

5.1.1 Ubicación geográfica.

El Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatépetl, Zoquiapan y Anexos forman parte de un mismo corredor biológico se han conjuntado como uno solo denominándose Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas. Estos dos parques conforman una unidad geográfica y biótica importante. El Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas, tiene una superficie de 45097 ha (25679 ha para el Izta-Popo y 19418 ha para Zoquiapan). Forman parte de los Municipios de Texcoco, Ixtapaluca y Tlalmanalco, Amecameca, Atlautla y Ecatzingo en el Estado de México, así como Tlahuapan, San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco, en el estado de Puebla y Tetela del Volcán en Morelos.

Localizados en los límites de los Estados de México, Puebla y Morelos, los parques quedan comprendidos dentro del macizo montañoso denominado Sierra Nevada, mismo que flanquea el oriente de la Cuenca de México en el área de confluencia de los estados de Puebla, México y Morelos. Forma parte de la provincia fisiográfica conocida como Sistema o Eje Volcánico Transmexicano, presenta importantes elevaciones entre las cuales se destacan el Iztaccíhuatl y el Popocatépetl, con

alturas máximas de 5280 msnm y 5482 msnm respectivamente, constituyen dos de las cumbres más elevadas del país. Se ubican entre las coordenadas geográficas 18°59' y 19°16'25" de latitud norte y 98°34'54" y 98°16'25" de longitud oeste. Hacia la parte norte del Iztaccíhuatl, en el área de Zoquiapan y Anexas, las elevaciones más notables son el Tláloc (4120 m), el Yoloxóchitl (3900 m), el Telapón (4060 m) y el Papayo (3600 m) (Figuras 4, 5 y 6).

5.1.2 Geología y suelos

La conformación geológica de la Sierra Nevada es de indudable interés científico y de un alto valor escénico.

Su formación inicia a mediados de la era Terciaria, cuando se considera que se constituyeron las bases de lo que hoy conocemos como la Sierra Nevada, en un proceso que se denomina como Formación Xochitepec, el cual consiste en la acumulación de productos volcánicos por alrededor de 20 millones de años y que han formado estratos de considerable espesor, así como afloramientos en grandes superficies que se extienden hasta las aplanadas cumbres situadas al noreste del Iztaccíhuatl. Las primeras erupciones de dacitas y andesitas se abrieron paso a través de grietas en los pliegues de los estratos subyacentes del Cretácico; posteriormente, como producto de erupciones por estrechas chimeneas, se formaron extensos flujos de lava basáltica.

Durante el Plioceno se desarrollaron en la base de la Sierra extensos abanicos aluviales, que se conocen como Formación Tarango, la cual consta de horizontes de suelos y conglomerados casi planos que se formaron en las condiciones de un clima semiárido, en el que a pesar de las escasas lluvias, se lograron arrastrar y depositar aluviones de un espesor considerable (CONANP, 2008).



Figura 4. Imagen de satélite del Parque Nacional Izta-Popo.
CONANP 2008.

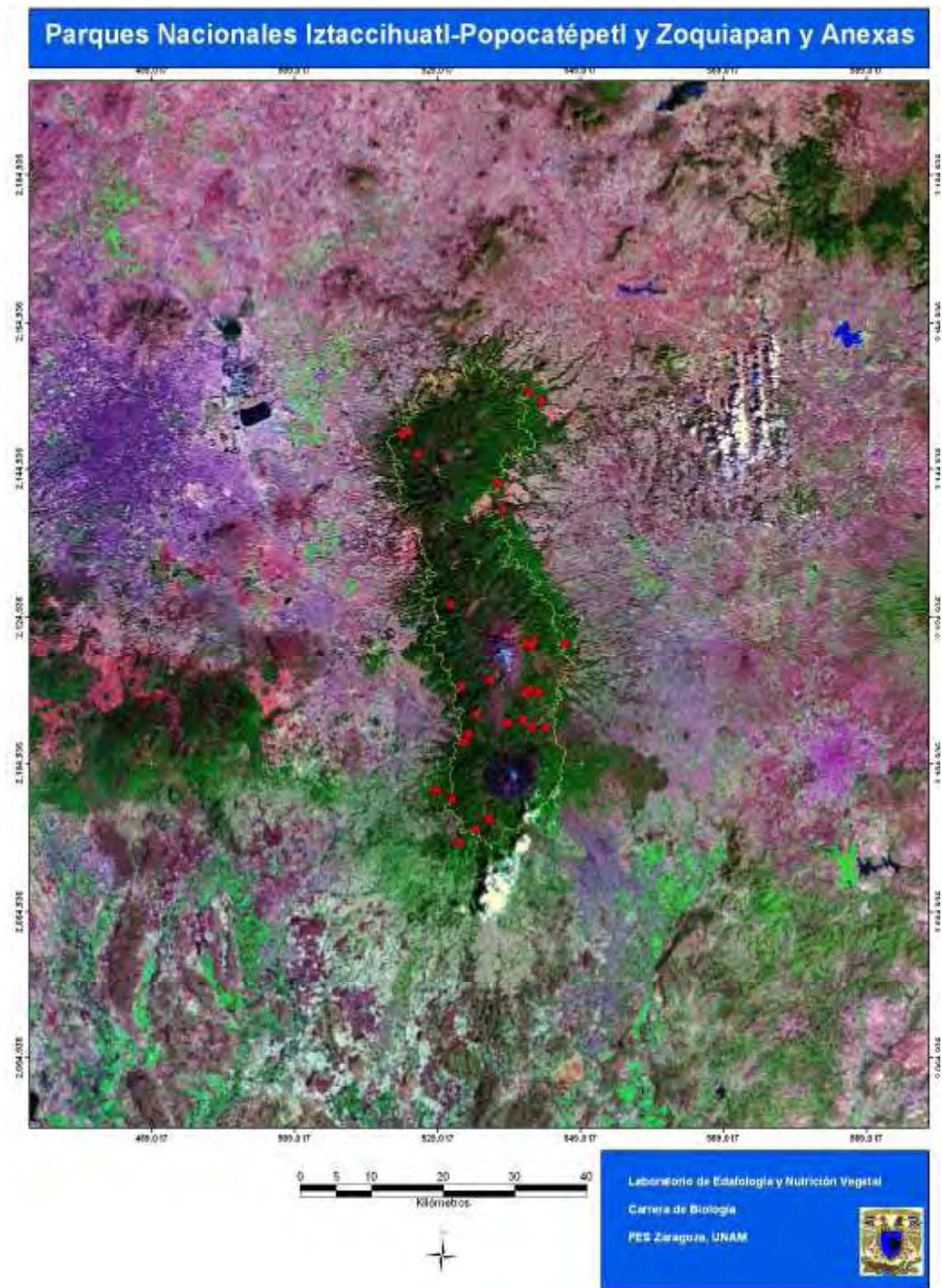


Figura 5. Localización de las zonas de estudio CONANP 2008.

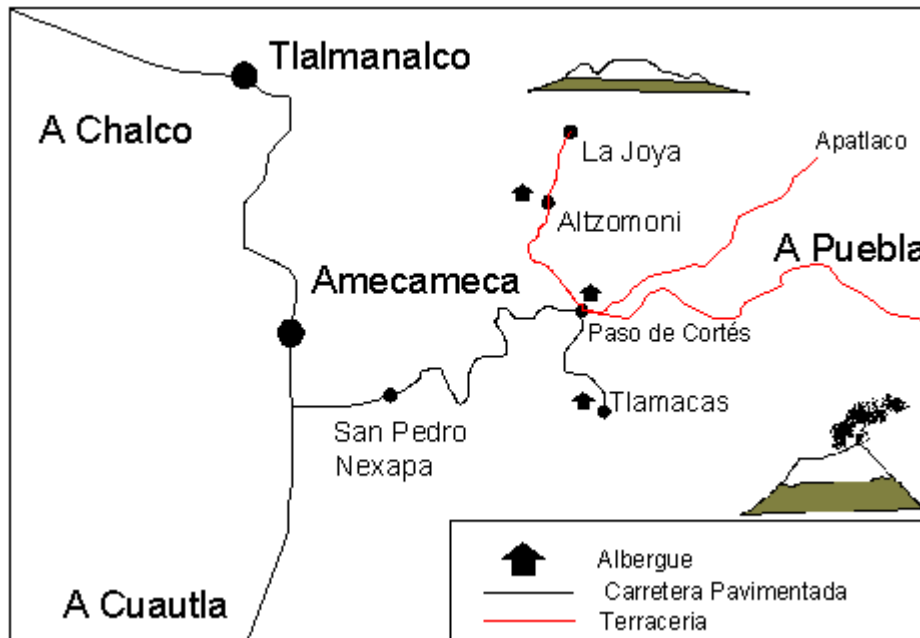


Figura 6. Croquis de la Zona del Parque Nacional Izta-Popo. CONANP 2008.

Durante el Cuaternario, los primeros movimientos de la Fractura Clarión dieron origen al Iztaccíhuatl y el Ventorrillo, los cuales están formados por lavas de andesita porfirítica de piroxena. Los derrames dacíticos y riodacíticos constituyen la unidad del Popocatepetl, pero su base está cubierta por abanicos aluviales que en su parte sur muestran un espesor considerable.

La conformación geológica de la Sierra Nevada se dio a partir de emisiones de lava que emergieron a través de calizas plegadas que afloraron en la parte baja al sur del Popocatepetl; las emisiones fueron sucesivamente de dacitas que forman los picos de la parte central de la Sierra: Tláloc y Telapón; andesitas que conforman el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl; y grandes cantidades de basaltos arrojados por pequeños conos de formación reciente (CONANP, 2008).

Las unidades de suelo presentes en el área del Parque según la World Referente Base for Soil Resources (1994), son:

Litosoles. Son suelos someros, con menos de 0.1 m de espesor, formados sobre tepetates y que conservan las características del material parental. Aunque esos suelos pueden estar asociados con Regosoles y Andosoles en ciertas áreas muy restringidas, generalmente, son poco desarrollados debido a la velocidad de percolación del agua que impide el establecimiento de algún tipo de vegetación, lo que aunado al clima presente a altitudes mayores de 4000 msnm, dificulta el desarrollo del suelo.

Regosoles. Son suelos formados a partir de material suelto como arena, grava o piedra; se localizan, dentro del Parque a altitudes por debajo de los 3900 m y normalmente son pobres en contenido de materia orgánica y nutrientes.

Andosoles. Se derivan de cenizas volcánicas recientes, por lo que son suelos ligeros con alta retención de humedad y buen contenido de nutrientes, así como con un alto contenido de materia orgánica; por su contenido de materia orgánica y la proporción de vidrios volcánicos presentes, pueden formar Andosoles húmicos, que se presentan en áreas forestales poco alteradas; también pueden formar Andosoles vítricos en zonas con vegetación de coníferas, cuando presentan más del 60% de vidrios, ceniza volcánica y texturas gruesas.

Cambisoles. Son suelos mejor desarrollados, con horizontes A y B bien definidos, pero pobres en contenido de nutrientes; presentan potencial para el desarrollo forestal, con adecuadas prácticas de manejo para la conservación de suelo y captación de humedad.

Fluvisoles. Son suelos formados en cañadas, escurrimientos y zonas de depósitos de material reciente; de textura gruesa, su fertilidad es baja debido al escaso contenido de nutrientes. (CONANP, 2008).

5.1.3 Vegetación.

En el Parque y de acuerdo a su ubicación, los bosques responden principalmente a gradientes altitudinales y de topografía, como es el caso entre cañadas húmedas y secas, lo que hace posible encontrar una gran diversidad de hábitat, como en las partes bajas donde se presenta el bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de oyamel y pastizales amacollados. Aunque con diferentes grados de alteración o perturbación e incluso de degradación, basándose fundamentalmente en cuanto a la intensidad en que han sido explotados sus recursos naturales. Es conveniente aclarar que dentro del Parque no se tienen autorizados permisos de extracción forestal, la tala que se llega a dar dentro del Parque es tala clandestina, en el área de influencia del Parque los ejidos y comunidades tienen permisos de aprovechamientos forestales emitidos por la SEMARNAT, por lo que son aprovechamientos regulados y que no ponen en serio riesgo a los ecosistemas presentes en el Parque. De acuerdo con la clasificación de Rzedowski los principales tipos de vegetación son:

5.1.4 Bosque de Pino.

En el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas crecen varias especies de pinos, se presentan básicamente 2 estratos: uno superior, arbóreo y otro inferior con pastos amacollados, escasos arbustos y hierbas.

En general de los 2500 a los 4000 msnm encontramos bosques perennifolios del género *Pinus*, en la franja más alta predominan el *Pinus hartwegii*, seguido de *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus rudis*; acompañados algunas veces por *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote*. A veces se presentan conviviendo con *Quercus*, *Juníperus* o *Alnus*, en suelos Andosol o Litosol.

Bosque de Oyamel.

Entre los 2500 y 3500 msnm en suelos Andosoles ricos en materia orgánica, profundos, bien drenados y húmedos durante todo el año, encontramos el Bosque de *Abies religiosa* (Oyamel); acompañado en ocasiones por *Pinus ayacahuite*, *Alnus jorullensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, *Prunus serotina*, *Capuli* y *Cupressus lindleyi*.

Bosques Mixtos.

Entre los 2500 y los 3500 msnm también podemos apreciar combinaciones de Bosques Mixtos como los de Pino-Aile y Aile-Pino o bien el de Pino-Encino; donde las combinaciones pueden ser de varias especies de pinos y *Alnus jorullensis*; o bien asociaciones de *Pinus* mezclados con diversas especies del género *Quercus*.

Como resultado de esta diversidad, en la zona están representados el 44.13 % de las 2071 especies reconocidas para el valle de México.

5.1.5 Clima.

El Parque tiene una de sus características principales en torno a las diversas condiciones climáticas, debido a su topografía y ubicación. La variedad de clima abarca desde un clima de tipo templado húmedo hasta un clima frío a muy frío. Existe una red de estaciones meteorológicas en el área de influencia del Parque, sin embargo no se cuenta con estaciones a una altura mayor a 4000 m por lo que no se tienen registros de las zonas más frías donde se presentan los glaciares y las nieves perpetuas.

De acuerdo con su latitud, el Parque se ubica en la región de los vientos alisios en una zona donde predominan las circulaciones de tipo convectivo local, lo cual hace posible una gran estabilidad meteorológica durante la mayor parte del año.

Sin embargo, a pesar de que durante el verano el país recibe la influencia de los vientos provenientes del Caribe y del Atlántico, los cuales inciden con vientos húmedos que son altamente favorables; en cambio, durante el invierno, el cinturón de altas presiones y la faja de vientos del Este, son desplazados hacia el Ecuador, con lo que se forman vientos del Oeste sobre las partes altas del país y debido a que son más secos que los vientos alisios, durante esta época la Altiplanicie tiende a tornarse más seca (CONANP, 2008).

5.2 Parque Nacional Benito Juárez, Sierra Madre del Sur.

El Decreto que establece el Parque Nacional Benito Juárez, se emitió el 30 de diciembre de 1937 publicándose en el Diario Oficial de la Federación.

Con el nombre de Benito Juárez se declara Parque Nacional una superficie de terrenos forestales inmediatos a la ciudad de Oaxaca, Incluye los municipios: San Pablo Etla, San Agustín Etla, San Andrés Huayapan, Oaxaca, con una Superficie de 3180 ha y cuyos linderos se expresan a continuación: Partiendo del punto denominado El Trino que es vértice de los terrenos de la Hacienda de Viguera, terrenos comunales de San Felipe del Agua y terrenos de la Hacienda de Guadalupe, se continúa con rumbo Este hasta llegar al punto conocido por Cruz de Buey, para continuar hacia el Sureste en una distancia de 700 metros aproximadamente hasta encontrar el lugar denominado Visaquitus o La Mesa; de este punto y hacia el Noroeste se llega al lugar conocido por El Potrero; de este lugar y con dirección Noreste se miden aproximadamente 900 metros; de aquí la línea cambia hacia el Noroeste hasta llegar a los puntos conocidos por la Federación y Piedra de la Mina; de este lugar se continúa con dirección Oeste hasta llegar al cerro de Piedra León, de este punto se continúa con dirección Noroeste tocando La Loma de Estaca y el Cerro de la Escalera; de aquí con dirección Suroeste se llega al Cerro de Ocolecuate; de este punto y con dirección Suroeste continúa la línea hasta llegar al punto Trino, lugar de partida.

Tiene una altitud que va de los 1650 a los 3050 msnm. Presenta clima semicálido subhúmedo y templado subhúmedo. Los ríos Huayapan y San Felipe cruzan el parque y son enriquecidos por varios arroyos de la zona y que en la actualidad aún son permanentes, pero cuentan con muy poca agua.

5.2.1 Ubicación geográfica.

Entre 17° 06' y 17 10' 05" Latitud Norte. Entre 96° 40' y 96 44' 20" Longitud Oeste.

Tiene un rango altitudinal que va de los 1650 a los 3050 msnm. Presenta dos tipos de climas: Semicálido subhúmedo, con isoterma de 18 a 30°C e isoyeta de 700 milímetros. Templado subhúmedo (Vargas, 1984).

En cuanto a la fauna silvestre, en este parque aún se pueden observar diversos géneros de aves y mamíferos, como conejos, ardillas, calandrias y chinitos, estos últimos representando poblaciones relictuales de buen tamaño; sin embargo la cacería que se realiza en zonas muy cercanas a los límites del parque, así como la presencia de bándalos con resorteras dentro del mismo, han disminuido notablemente la fauna silvestre, sin contar las pérdidas por modificaciones del hábitat, incendios y sequía (SARH 2003).

5.2.2 Vegetación.

En el parque se encuentran varios tipos de vegetación: Bosque de pino y encino en las partes altas de la serranía, con *Pinus michoacana*, *P. oocarpa*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *Quercus*, *Arbutus* y *Alnus*. Mientras que en las faldas se encuentran matorrales de encino. Y en las cañadas existe selva baja caducifolia (Figura 7).

Es necesario señalar que a pesar de que el bosque de pino-encino del parque es de crecimiento secundario, conserva áreas no muy perturbadas y bellas, que pueden ser manejadas como zonas de uso restringido, para la exclusiva observación de la vida silvestre.



Figura 7. Vista panorámica del Parque Nacional Benito Juárez, Oaxaca.



Figura. 8 Localización de los sitios de estudio. 1 . Parque Nacional Izta-Popo
2. Parque Nacional Zoquiapan y Anexas, declive oriental 3. Parque Nacional Benito Juárez,
Sierra Madre del Sur, Oaxaca.

6 Materiales y Métodos.

6.1 Delimitación de las zonas de estudio.

Con base a la cartografía (cartas climática, geológica, hidrológica, topográfica, edafológica, de uso actual y de uso potencial, etc.) así como con apoyo de fotomapas y fotografías aéreas, se definieron, con base a un gradiente de precipitación, tres zonas de bosques templados en el país, el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP), el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas (PNZA) en el Eje Neovolcánico Transversal y el Parque Nacional Benito Juárez (PNBJ) en la Sierra Madre del Sur, estos parques se caracterizan por tener bosques templados (Figura 8).

En cada una de la zonas se realizó la toma de muestras foliares de las especies arbóreas dominantes *Pinus*, *Abies* y *Quercus*.

Con uso de mapas topográficos y con base en reconocimientos en campo, se delimitaron unidades ambientales homogéneas en composición, estructura de la vegetación y tipo de suelo con un total de 55 unidades ecológicas (UE); 24 en el PNIP, 20 en el PNZA y 11 en el PNBj.

6.2 Fase de campo.

En cada unidad se delimitaron parcelas de 50×20 m (0.1 ha) con su eje principal perpendicular a la pendiente y en cada una se seleccionaron entre cuatro y ocho individuos de las especies presentes de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus* que no mostraron daño aparente de enfermedades, por ocoteo, incendios severos, tala o plaga. Se determinó la ubicación geográfica mediante el registro de coordenadas UTM y altitud con el GPS GARMIN, pendiente con clisímetro y la exposición con brújula Brunton.

6.3 Toma de muestras foliares.

Se seleccionaron de cuatro a ocho individuos vigorosos y sanos, se colectaron fascículos foliares de 2 años recientes (Figura 9) con los que se formaron muestras foliares compuestas para su análisis, trasladadas en bolsa de papel con los siguientes datos: nombre del sitio, fecha de colecta, género y especie. Las muestras se secaron (entre 65 y 70°C) en estufa marca Felisa hasta obtener peso constante (Figura 10), se molieron y tamizaron en molino marca Thomas Scientific con malla No. 20, modelo 5KH39QN5525A (Figura 11). Las muestras se guardaron en frascos de plástico debidamente etiquetados con los siguientes datos: Fecha de colecta, localidad, género y especie.



Figura 9. Toma de muestra foliar.

6.4 Análisis de laboratorio.

6.4.1 Determinación de parámetros físicos y químicos del suelo.

- pH activo suelo-agua, relación 1:2. Método potenciométrico (Jackson, 1982).
- pH potencial relación 1:2 con KCl 1N. Método Potenciométrico (Jackson, 1982).
- Conductividad eléctrica de la solución del suelo, relación 1:5 (Jackson, 1982).
- Textura. Método de Boyoucos (Boyoucos, 1963, citado por Palmer & Trough, 1989).
- Densidad aparente, método de la probeta (Domínguez & Aguilera, 1987)
- Materia Orgánica, Método de Walkley & Black (Jackson, 1982).
- Bases intercambiables Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} por extracción de acetato de amonio 1N y cuantificación de espectroscopia de absorción atómica (Rodríguez, 2002).

6.4.2 Determinación de Nitrógeno y Fósforo foliar.

- Nitrógeno. Método semimicro-kjeldahl (Bremmer., 1965 citado por Jackson, 1982).
- Fósforo total, método de Vanadato-molibdato (Allan, 1971)

6.4.3 Determinación de Fe, Cu, Mn y Zn foliar.

- Solubilización de Fe, Zn, Cu, y Mn por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ relación 2:1 y cuantificación por absorción atómica (Allan, 1971).

Por análisis químico de tejido foliar se determinó Fe, Cu, Mn y Zn. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Zaragoza, posterior a una digestión ácida en la que se utilizó HNO_3 y HClO_4 en relación 2:1 (Figura 12). Los micronutrientes se cuantificaron por absorción atómica (Allan, 1971; figura 13), (Anexo).



Figura 10. Secado de muestras foliares.



Figura 11. Molino Thomas Scientific.



Figura 12. Digestión ácida con HNO_3 y HClO_4

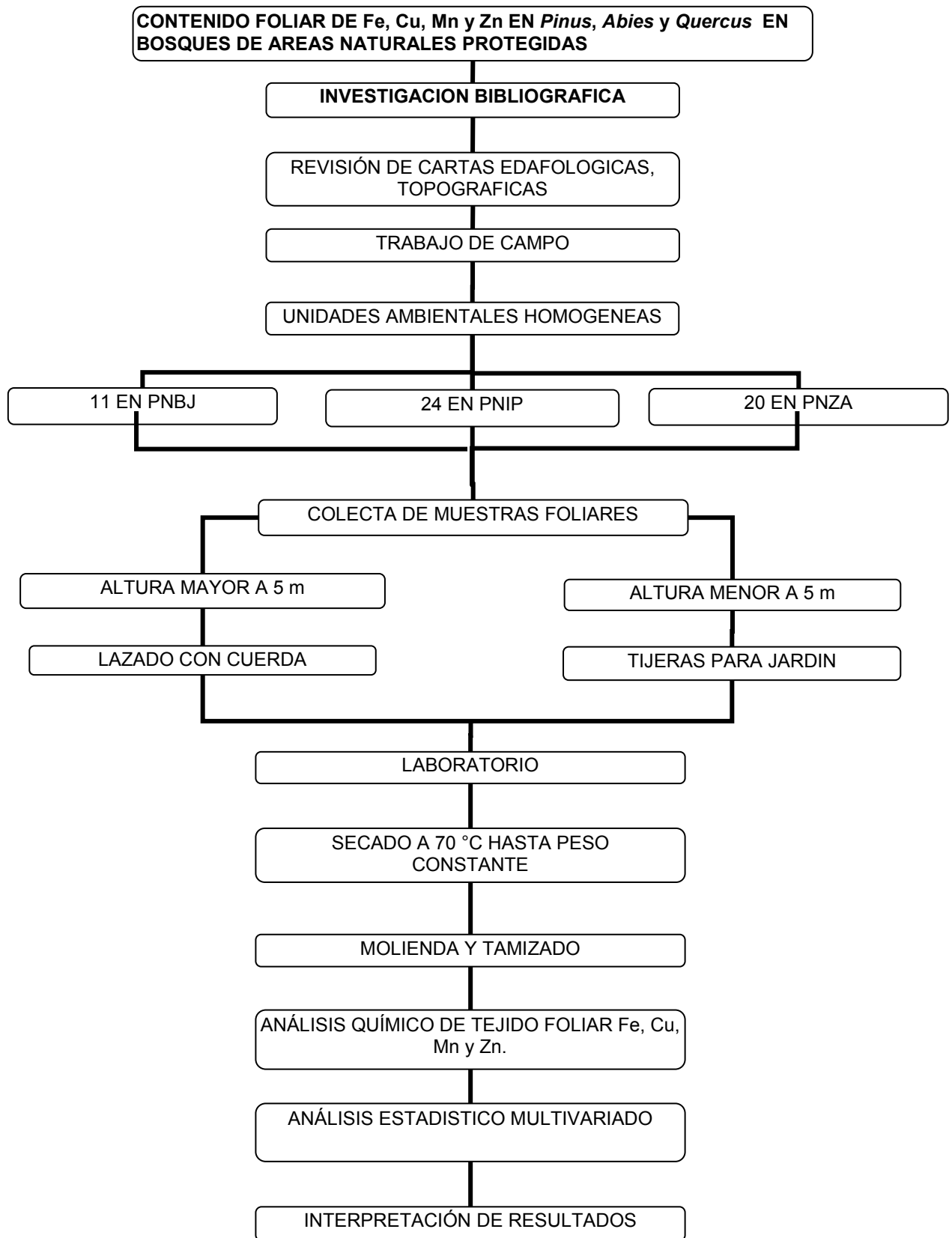


Figura 13. Espectrofotómetro de Absorción atómica

6.5 Análisis estadístico.

Con los datos obtenidos del análisis químico del tejido foliar y los datos del análisis físico y químico del suelo, tomados de la base general del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza para los parques Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas y Benito Juárez se realizaron bases de datos en Excel. Posteriormente se realizó un análisis de correlaciones entre los parámetros físicos (textura, densidad aparente (DA), espacio poroso (EP) y conductividad eléctrica (CE)) y químicos, pH del suelo y los nutrimentos de tejido foliar con el programa SAS (Statistical Analysis System).

6.6 Diagrama de flujo



6.7 Descripción fisiográfica de las zonas de estudio.

El muestreo de tejido foliar del PNZA se realizó de enero a septiembre de 2004, se trabajó en un intervalo altitudinal entre 2864 a 3537 msnm y pendientes del terreno de 25 a 80 % (ligeras a extremadamente inclinadas). Se encontró que con respecto al gradiente altitudinal el género más frecuente fue *Abies* (presente en 8 de los 20 sitios) seguido de *Pinus* y *Quercus* presentes en 5 sitios respectivamente, Rzedowski, (1994) refiere que a los bosques de coníferas se les encuentra prácticamente desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación arbórea entre 1500 a 3000 msnm.

Abies religiosa se encontró entre los 2950 y 3537 msnm en exposiciones principalmente NE aunque también se encontró en SW y SE, *Pinus* se encontró entre los 2950 y 3537 msnm en exposición SE, NE y N y *Quercus* entre los 3003 y 3066 msnm en exposición E y NE. (Cuadro 7).

En el PNIP el muestreo se llevó a cabo de junio a diciembre de 2004 se trabajó en un intervalo altitudinal entre 2650 a 3892 msnm y pendientes del terreno de 8% y 60 %.

La vegetación arbórea dominante estuvo representada por los géneros *Pinus* y *Abies*. *Pinus* se encontró en todo el gradiente altitudinal entre 2650 y 3892 msnm con pendientes del terreno entre 8 y 60% y exposiciones E y NW principalmente con las siguientes especies *P. ayacahuite*, *P. teocote*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae* y *P. hartweggi*. *Abies* se encontró en exposición NW y en intervalo altitudinal de 2834 y 3225 msnm (Cuadro 6).

Para el PNBJ el muestreo se llevó a cabo de noviembre de 2005 a abril de 2006. El intervalo altitudinal fue de 1818 a 2755 msnm con pendientes del terreno de 23 a 70 %. Se encontró que el género más frecuente fue *Pinus*, presente en diez de los once sitios y con exposiciones predominantes hacia el N y O.

De este género las especies más abundantes fueron *P. teocote* (en 6 de los 11 sitios), *P. montezumae* (en 4 sitios) e individuos del género *Juniperus* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Descripción fisiográfica del Parque Nacional Benito Juárez.

Localidad	LAT N	LONG E	Altitud	Exposición	Pendiente	Especie
	-----UTM-----		m		%	
Santa Catarina Ixtepexi (Yuvila)	1900065	757636	2662	oeste	23°	<i>Pinus montezumae</i>
Santa Catarina Ixtepexi (Yuvila)	1900065	757636	2662	oeste	23°	<i>Pinus teocote</i>
Yuvila	1899152	755813	2755	este	70	<i>Pinus montezumae</i>
La Cumbre Rumbo a Guelatao	-	-	-	-	-	<i>Pinus montezumae</i>
La Cumbre Rumbo a Guelatao	-	-	-	-	-	<i>Pinus montezumae</i>
San Jerónimo Xola	1918646	707559	1818	-	50	<i>Pinus teocote</i>
San Jerónimo Xola	1918646	707559	1818	-	50	<i>Juniperus</i>
A 25 Km. De Oaxaca	1911191	714640	2003	norte	50	<i>Pinus teocote</i>
Camino de Oaxaca a Guelatao	1896519	753176	2114	norte	60	<i>Pinus teocote</i>
Camino de Oaxaca a Guelatao	1896519	753176	2114	norte	60	<i>Pinus teocote</i>
Camino / Tlalixtac a Ixtepexi	1897552	754441	2430	norte	60	<i>Pinus teocote</i>

Cuadro 6. Descripción fisiográfica del Parque Nacional Izta - Popo .

Localidad	LAT N	LONG E	Altitud	Exposición	Pendiente	Especie
	-----UTM-----		m		%	
O16	2100270	531 169	3225	-	55	<i>Abies religiosa</i>
F1	2 111 637	534 534	3553	W	20	<i>Pinus hortwegii</i>
W-D14	2 101 465	528 925	2650	N		<i>Pinus pseudostrobus</i>
La Joya	2 116 230	536 507	3892	N	51	<i>Pinus pseudostrobus</i>
Valle	2 126 706	530 838	3301	NW	24	<i>Pinus teocote</i>
Valle	2 126 706	530 838	3301	NW	24	<i>Abies religiosa</i>
Valle	2 126 706	530 838	3301	NW	24	<i>Pinus teocote</i>
Valle	2 126 706	530 838	3301	NW	24	<i>Abies religiosa</i>
Agua Escondida	2 110 002	542 286	3333	E	60	<i>Pinus teocote</i>
Agua Escondida	2 110 002	542 286	3333	E	60	<i>Pinus teocote</i>
Agua Escondida	2 110 002	542 286	3333	E	60	<i>Pinus montezumae</i>
La Ventana	2 109 851	544 221	3127	E	16	<i>Pinus ayacahuite</i>
La Ventana	2 109 851	544 221	3127	E	16	<i>Pinus pseudostrobus</i>
Barranca Apaxco	2 094 455	532 177	2834	NW	60	<i>Abies religiosa</i>
Barranca Apaxco	2 094 455	532 177	2834	NW	60	<i>Abies religiosa</i>
Barranca Apaxco	2 094 455	532 177	2834	NW	60	<i>Pinus montezumae</i>
Barranca Apaxco	2 094 455	532 177	2834	NW	60	<i>Abies religiosa</i>
Norte Barranca Mata Leones	2 097 553	536 262	3312	S	20	<i>Abies religiosa</i>
Norte Barranca Mata Leones	2 097 553	536 262	3312	S	20	<i>Abies religiosa</i>
Norte Barranca Mata Leones	2 097 553	536 262	3312	S	20	<i>Abies religiosa</i>
Norte Barranca Mata Leones	2 097 553	536 262	3312	S	20	<i>Pinus hortwegii</i>
Sur de el Salto	2 096 137	534 478	3099	NW	8	<i>Abies religiosa</i>
Sur de el Salto	2 096 137	534 478	3099	NW	8	<i>Pinus patula</i>
Sur de el Salto	2 096 137	534 478	3099	NW	8	<i>Pinus patula</i>

Cuadro 7. Descripción fisiográfica del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas .

Localidad	LATN	LONG	Altitud	Exposición	Pendiente	Especie
	-----UTM-----		m		%	
O1 Sn.Pedro	2 108 985	533 405	3286	SW	60	<i>Abies religiosa</i>
Pto. 8	2 115 364	533 405	3231	NE	65	<i>Cupressus sp</i>
Pto. 8	2 115 364	533 405	3231	NE	65	<i>Abies religiosa</i>
D11 Cañada La Coquia	2 107 890	533 405	2965	SW	25	<i>Abies religiosa</i>
D11 Cañada La Coquia	2 107 890	533 405	2965	SW	25	<i>Cupressus sp</i>
Sn Miguel Tlaixpan	2 150 047	524 251	3066	E	55	<i>Quercus sp</i>
Sn Miguel Tlaixpan	2 150 047	524 251	3066	E	55	<i>Quercus sp</i>
Sn Miguel Tlaixpan	2 150 047	524 251	3066	E	55	<i>Quercus sp</i>
Cañada Atlapulco	2 149 554	524 251	3003	NE	35	<i>Abies religiosa</i>
Cañada Atlapulco	2 149 554	524 251	3003	NE	35	<i>Quercus sp</i>
Cañada Atlapulco	2 149 554	524 251	3003	NE	35	<i>Quercus sp</i>
Puerto Mancilla	2 146 877	526 376	3537	SE	28	<i>Abies religiosa</i>
Puerto Mancilla	2 146 877	526 376	3537	SE	28	<i>Abies religiosa</i>
Puerto Mancilla	2 146 877	526 376	3537	SE	28	<i>Pinus sp.</i>
S de la Vaquería	2 155 277	541 879	2950	NE	-	<i>Pinus sp.</i>
S de la Vaquería	2 155 277	541 879	2950	NE	-	<i>Abies religiosa</i>
S de los Colgados	2 254 106	543 584	2864	-	-	<i>Pinus sp.</i>
S de la Barranca del Paso de Muerto	2 143 075	537 553	3036	-	80	<i>Abies religiosa</i>
S de la Barranca del Paso de Muerto	2 143 075	537 553	3036	-	80	<i>Pinus sp.</i>
NW de Texola	2 139 414	538 309	2876	N	33	<i>Pinus sp.</i>

Cuadro 8. Propiedades físicas del suelo en el Parque Nacional Izta - Popo.*

Localidad	CE dSm ⁻¹	DA Mg.cm ⁻³	EP	Arcilla %	Limo	Arena	Clase textural
O16	0.06	1.2	43.7	8.7	26	65.3	Migaron arenoso
F1	0.04	1.3	44.4	4.1	20	75.9	Arena migajonosa
W-D14	0.03	1.3	42.7	8.1	18	73.9	Migaron arenoso
La Joya	0.07	0.8	70.7	8.7	44	47.3	Migajon
Valle	0.05	0.7	73.8	18	32	50	Migajon
Valle	0.05	0.7	73.8	18	32	50	Migajon
Valle	0.05	0.7	73.8	18	32	50	Migajon
Valle	0.05	0.7	73.8	18	32	50	Migajon
Agua Escondida	0.06	1.1	32.1	6.4	16	77.6	Arena migajonosa
Agua Escondida	0.06	1.1	32.1	6.4	16	77.6	Arena migajonosa
Agua Escondida	0.06	1.1	32.1	6.4	16	77.6	Arena migajonosa
La Ventana	0.03	1.3	36.9	6.7	14	79.3	Arena migajonosa
La Ventana	0.03	1.3	36.9	6.7	14	79.3	Arena migajonosa
Barranca Apapaxo	0.05	1.0	52.3	8.4	20	71.6	Migaron arenoso
Barranca Apapaxco	0.05	1.0	52.3	8.4	20	71.6	Migaron arenoso
Barranca Apapaxco	0.05	1.0	52.3	8.4	20	71.6	Migaron arenoso
Norte Barranca Mata Leones	0.04	1.1	45.1	6	20	74	Arena migajonosa
Norte Barranca Mata Leones	0.04	1.1	45.1	6	20	74	Arena migajonosa
Norte Barranca Mata Leones	0.04	1.1	45.1	6	20	74	Arena migajonosa
Norte Barranca Mata Leones	0.04	1.1	45.1	6	20	74	Arena migajonosa
Sur de el Salto	0.04	1.1	24.8	6.7	22	71.3	Migaron arenoso
Sur de el Salto	0.04	1.1	24.8	6.7	22	71.3	Migaron arenoso
Sur de el Salto	0.04	1.1	24.8	6.7	22	71.3	Migaron arenoso

CE= conductividad eléctrica; DA= densidad aparente; EP= espacio poroso.

* Datos tomados de la base original de datos del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Cuadro 9. Propiedades físicas del suelo en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas . *

Localidad	CE dSm ⁻¹	DA Mg.cm ⁻³	EP	Arcilla %	Limo	Arena	Clase textural
O1 Sn.Pedro	0.13	0.9	37.4	8	26	66	Migajon arenoso
Pto. 8	0.04	1.1	36.4	6.1	26	67.9	Migajon arenoso
Pto. 8	0.04	1.1	36.4	6.1	26	67.9	Migajon arenoso
D11 Cañada La Coquia	0.05	1.2	31	8.2	22	69.8	Migajon arenoso
D11 Cañada La Coquia	0.05	1.2	31	8.2	22	69.8	Migajon
Sn Miguel Tlaixpan	0.10	0.9	52.2	16.6	38	45.4	Migajon
Sn Miguel Tlaixpan	0.10	0.9	52.2	16.6	38	45.4	Migajon
Sn Miguel Tlaixpan	0.10	0.9	52.2	16.6	38	45.4	Arena migajonosa
Cañada Atlapulco	0.07	0.9	52.9	20.7	32	47.3	Arena migajonosa
Cañada Atlapulco	0.07	0.9	52.9	20.7	32	47.3	Arena migajonosa
Cañada Atlapulco	0.07	0.9	52.9	20.7	32	47.3	Migajon arenoso
Puerto Mancilla	0.05	1.0	46.5	16.4	26	57.6	Migajon arenoso
Puerto Mancilla	0.05	1.0	46.5	16.4	26	57.6	Migajon arenoso
Puerto Mancilla.	0.05	1.0	46.5	16.4	26	57.6	Migajon
S de la Vaqueria	0.05	0.9	67.4	16.7	32	51.3	Migajon
S de la Vaqueria	0.05	0.9	67.4	16.7	32	51.3	Migajon
S de los Colgados	0.02	0.8	65.3	24.1	32	43.4	Migajon arenoso
S de la Barranca del Paso de Muerto	0.04	0.9	73.5	14	40	46	Migajon arenoso
S de la Barranca del Paso de Muerto	0.04	0.9	73.5	14	40	46	Migajon arenoso
NW de Texola	0.07	0.7	69.4	12.7	38	49.3	Migajon

CE= conductividad eléctrica; DA= densidad aparente; EP= espacio poroso.

* Datos tomados de la base original de datos del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Cuadro 10. Propiedades físicas del suelo en el Parque Nacional Benito Juárez.*

Localidad	CE dSm ⁻¹	DA Mg.cm ⁻³	EP	Arcilla %	Limo	Arena	Clase textural
Santa Catarina Ixtepeji (Yuvila)	0.4	-	53.7	51	35	14	Migajon arcilloso
Santa Catarina Ixtepeji (Yuvila)	-	-	-	51	35	14	Migajon arcilloso
Yuvila	0.2	1.1	55.8	43	29	28	Migajon arcilloso
La Cumbre Rumbo a Guelatao	0.02	1.2	12.3	37	17	46	Migajon arcilloso
La Cumbre Rumbo a Guelatao	0.02	1.2	13.3	37	17	46	Migajon arcilloso
San Jerónimo Xola	-	-	-	-	-	-	-
San Jerónimo Xola	-	-	-	-	-	-	-
A 25Km. de Oaxaca	0.05	1.4	48.3	27	2	71	Arena limosa
Camino de Oaxaca. A Guelatao	0.04	-	-	27	2	71	Arena limosa
Camino de Oaxaca. A Guelatao	-	-	-	27	2	71	Arena limosa
Camino/Tlalixtac a Ixtepexi	-	-	-	27	2	71	Arena limosa

CE= conductividad eléctrica; DA= densidad aparente; EP= espacio poroso.

- Datos tomados de la base original de datos del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

6.8 Análisis de parámetros físicos de las zonas de estudio.

Con respecto a los datos obtenidos de densidad aparente (DA) los valores se encontraron bajos para los suelos de los 3 parques. Para el PNBJ fueron de 0.9 a 1.4 g cm^{-3} , para el PNIP de 0.7 a 1.3 g cm^{-3} y para el PNZA los valores fueron de 0.7 a 1.2 g cm^{-3} (Cuadro 11), por lo que estos suelos son friables y porosos, esto permite la infiltración del agua y la penetración de las raíces de los árboles favoreciendo el buen desarrollo de las diferentes especies de estos parques (la DA de los suelos forestales va de 0.2 a 1.9 cm^{-3} en las arenas gruesas).

Granados (2003) reportó valores de 0.86 a 1.33 g cm^{-3} para el PNIP y Valderrábano (2005) reportó intervalos de 0.64 a 1.28 para el PNZA, Soriano (2008), 0.69 a 1.15 g cm^{-3} para el PNIP, 0.91 a 1.12 g cm^{-3} para el PNZA y 0.72 a 1.44 g cm^{-3} para el PNBJ. La Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000) da valores de DA <1 para suelos volcánicos y orgánicos.

Las clases texturales dominantes fueron para el PNBJ migajón arcilloso y arena limosa en este parque predominó el porcentaje de arena con 52.3% en promedio, para el PNIP fueron predominantemente arena migajonosa, migajón arenoso y migajón predominando el porcentaje de arena con 68.8% en promedio y para el PNZA las clases predominantes fueron migajón arenoso, migajón y arena migajonosa predominando el porcentaje de arena con 54% (Cuadro 11), Valderrábano (2005) reportó que la textura arena-migajonosa se encontró asociada con *Pinus-Abies* y *Pinus-Quercus* en el PNZA, las especies del género *Pinus* prefieren los suelos arenosos y sueltos que por su textura gruesa permiten la infiltración hacia los mantos freáticos constituyéndose en importantes captadores de agua.

Los suelos de estos parques son considerados de textura gruesa, Bockheim (1991) reportó que los suelos forestales con vegetación de pinos, oyameles y robles se caracterizan por sus texturas gruesas.

Se encontraron valores de conductividad eléctrica (CE) muy bajos de 0.02 a 0.05 dSm^{-1} para el PNBJ y de 0.03 a 0.07 dSm^{-1} para el PNIP. Los valores para el PNZA fueron de 0.02 a 0.13 dSm^{-1} lo que confirma que estos suelos no tienen propiedades salinas (Cuadro 11).

6.9 Análisis de parámetros químicos de las zonas de estudio.

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios del suelo debido a que controla reacciones químicas y biológicas en él. La determinación del pH es afectada por varios factores: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo así como la concentración de sales en la solución y las relaciones de la suspensión suelo:agua y la temperatura.

Gómez (2003), Granados (2003) y Valderrábano (2005), encontraron en suelos forestales que el pH es una propiedad ligada a la calidad del suelo y reportaron valores entre 5.4 y 6.7 para suelos donde se desarrolla *Pinus* y *Abies*.

En este trabajo se encontró que el pH activo para el PNBJ los valores fueron de 3.3 extremadamente ácidos hasta 6 moderadamente ácidos, para el PNIP los valores obtenidos para las diferentes zonas de estudio fueron de 4.8 muy fuertemente ácido a 6.1 moderadamente ácido y para el PNZA los valores fueron de 4.9 a 6 muy fuertemente ácido a moderadamente ácido (Cuadro 11). De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-200-SEMARNAT) la mayor parte de los suelos forestales están en una escala de pH entre los 3.5 a 6.5 aproximadamente, es decir, de moderada a extremadamente ácidos (Cuadro 1), las especies forestales se encuentran bien adaptadas a las condiciones de suelos ácidos y crecen mejor en un suelo moderadamente ácido. Las especies de *Abies* y *Pinus* crecen mejor en suelos muy ácidos (Pritchett, 1986). La tendencia a una mayor

acidez, puede atribuirse a la naturaleza del suelo formado por andesitas, a la descomposición de hojarasca del mantillo en el que predomina las pináceas y a la precipitación pluvial que en estas zonas supera los 900 mm al año (Granados, 2003).

Con respecto al pH potencial para el PNBJ los valores fueron 4.1 a 4.2, para el PNIP 4.1 a 5.3 y para el PNZA de 4.7 a 5.3. En estos suelos, como en la mayor parte de los suelos forestales, se presenta una reserva sustancial de acidez potencial (pH potencial) (Pritchett, 1991) (Cuadro 11).

En relación al porcentaje de MO en el PNBJ se encontró un porcentaje promedio de 7.4, para el PNZA de 6.5 y el PNIP de 6.7, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-200-SEMARNAT) para suelos volcánicos, los tres parques se encuentran en la clase media, estos valores de materia orgánica son adecuados. La MO actúa como regulador del pH en los suelos de estos parques.

En cuanto a los cationes intercambiables los valores encontrados fueron para el PNBJ de 0.05 a 4.8 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ con un promedio de 2.6 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$, para el PNIP el rango encontrado fue de 4.7 a 15.6 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ y un promedio de 10.6 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ y para el PNZA de 10.6 a 26 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ con un promedio de 17.4 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de acuerdo a la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT-200-SEMARNAT) (Cuadro 11), el PNBJ se encontró en un valor muy bajo, el PNIP en un valor bajo y el PNZA en un valor medio. De los cationes determinados el Ca^{2+} y el Mg^{2+} presentaron los valores promedios mas altos, con 13.7 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el PNZA y 8 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el PNIP con respecto al Ca^{2+} y de 2 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el PNZA y 1.2 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el PNIP con respecto al Mg^{2+} . El Na^{+} se encontró con valores de 0.6 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el PNZA y el PNIP y de 0.07 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el PNBJ, finalmente el K^{+} en cantidades que van de 1.2 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para PNZA, 0.8 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para PNIP y 0.04 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el PNBJ (Cuadro 12).

Cuadro 11. Propiedades físicas y químicas de los suelos en los sitios de estudio

SITIO		pH		CE	Arcilla	Limo	Arena	DA	EP	MO	Cationes Intercambiables
		H ₂ O	KCl								
PNBJ	X ± DE	4.5±1.21	4.1± 0.03	0.03±0.01	34.4 ± 9.91	13.2 ±13.83	52.3±23.73	1.2±0.16	29.6±21.05	7.4±6.9	2.6 ± 2
	intervalo	3.3 – 6	4.1 – 4.2	0.02 – 0.05	26.56 – 50.56	2 – 35.28	14.16 – 71.44	0.91 – 1.44	11.64 – 57.73	0.1 - 21	0.05 a 4.8
PNIP	X ± DE	5.5±0.4	4.8±0.7	0.05±0.01	8.8± 4.3	26.4±7.2	68.8±10.6	1.1±0.2	47.1±16.1	6.7±3,3	10.6±4.2
	intervalo	4.8 – 6.1	4.1 -5.3	0.03 – 0.07	4.1 – 24.6	14- 44	47.3 – 79.3	0.7 – 1.3	24.8 – 73.8	0.9 – 10.6	4.7-15.6
PNZA	X±DE	5.5±0.3	5±0.1	0.06±0.03	14.8±5.2	31.2±6	54±9.5	0.9±0.1	52±13.7	6.5±2.3	17.4±5
	intervalo	4.9 – 6	4.7 – 5.3	0.02 – 0.13	6.1 – 24.6	22 – 40	43.4 – 69.8	0.7 – 1.2	31 – 73.5	3.4 - 10	10.6-26

CE= conductividad eléctrica; DA= densidad aparente; EP= espacio poroso; MO= materia orgánica.

Cuadro 12. Cationes intercambiables de las zonas de estudio.

ANP		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ Cationes Intercambiables
		cmol ₍₊₎ kg ⁻¹				
PNBJ	X ± DE	1.92±1.8	0.02± 0.03	0.07± 0.04	0.04± 0.02	2.6 ± 2
	Intervalo	0.01-4.58	0.03-0.08	0.01-0.12	0.02-0.08	0.05 a 4.8
PNZA	X ± DE	13.7± 4.6	2±0.4	0.6± 0.1	1.2± 0.2	17.4± 5
	Intervalo	7.6-22	1.4-3	0.5-1	0.9-1	10.6 a 26
PNIP	X ± DE	8± 4	1.2± 0.3	0.6± 0.1	0.8± 0.1	10.6 ± 4.2
	Intervalo	2.3-12.7	0.7-1.7	0.02-0.8	0.5-1.1	4.7 a 15.6

7. Resultados y Discusión.

7.1 Estado nutrimental de tejido foliar en los Parques Nacionales Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas y Benito Juárez.

Con base en estándares determinados por otros autores y del Análisis Químico realizado, se determinaron valores mínimo, máximo, promedio y desviación estándar para establecer intervalos nutrimentales para cada uno de los micronutrientes.

Para conocer el grado de asociación entre la concentración de nutrientes y propiedades físicas y químicas del suelo se hizo un análisis de correlación de Pearson. Estos análisis se basan en las relaciones que se establecen entre la concentración de los nutrientes y las diferentes variables físicas como la textura, la densidad aparente (DA), el espacio poroso (EP), y la conductividad eléctrica (CE) así como con propiedades químicas como el pH.

Así mismo con la prueba de Pearson se pueden dar a conocer la existencia de asociaciones entre los micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn.

La correlación entre dos variables "X" y "Y" es positiva cuando en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra y la relación es negativa en la medida que aumenta una variable disminuye la otra.

Zn. Este elemento estuvo en un intervalo de 85.6 a 169 mg·kg⁻¹ con un valor promedio de 128 mg·kg⁻¹, el valor más bajo se tuvo en el PNBJ con 85.6 mg·kg⁻¹ y el más alto en el PNIP con 169 mg·kg⁻¹ (Cuadro 13). Will (1978) citado por Arteaga (1983), reportó para *Pinus radiata* intervalo de 5 a 10 mg·kg⁻¹ y Arteaga et al. (1983) para la misma especie de Ayotoxtla, Guerrero concentraciones de 22 a 48 mg·kg⁻¹. Brockley (2001), reportó para el Pino Lodgepole un intervalo de 10 a 15 mg·kg⁻¹, Tausz et al. (2003), reportó para *Pinus canariensis* intervalos de 20 a 39 mg·kg⁻¹, Gómez (2003) reportó al Zn en intervalos que van de 23.4 a 41.8 mg·kg⁻¹ para pinos michoacanos así como para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 10.2 a 48 mg·kg⁻¹ y para *Pinus greggi* de Metepec Estado de México de 15.7 a 43.7 mg·kg⁻¹, Bergmann (1993),

citado por Tausz *et al.* (2003), reportó para *Pinus radiata* intervalos de 20 a 50 mg·kg⁻¹ y Zolt (1973) citado por Touzet (2003), reportó para todos los pinos, intervalos de 10 a 80 mg·kg⁻¹. Los valores de Zn de tejido foliar en el PNBJ, PNZA y PNIP se encontraron en los intervalos señalados por los autores citados (Apéndice 1).

Del estudio de correlaciones de nutrientes foliares con las propiedades del suelo del PNBJ se observó una correlación negativa entre el Zn y la densidad aparente (DA) ($r=-0.74$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 24, Apéndice 2).

En el PNZA el contenido de Zn foliar relacionó positivamente el EP ($r=0.53$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 25, Apéndice 2).

Del estudio de correlaciones de nutrientes foliares en el PNBJ se encontró que al aumentar la concentración de Zn foliar disminuye la relación P:Zn ($r=-0.62$; $p\leq 0.05$), para el PNIP el Zn se relaciona positivamente con el Cu ($r=0.93$; $p\leq 0.05$) y el Fe ($r=0.64$; $p\leq 0.05$) lo que indica que puede existir una relación sinérgica entre el Zn con el Cu y el Fe (Cuadro 27, 29, Apéndice 2).

Mn. Se encontró en un intervalo de 110.9 a 282.1 mg·kg⁻¹ con un promedio de 179.2 mg·kg⁻¹ siendo el valor más bajo para el PNIP y el más alto para el PNBJ (Cuadro 13). Will, (1978) citado por Arteaga (1983) reportó para *Pinus radiata* intervalo de 5 a 10 mg·kg⁻¹ y Arteaga *et al.* (1983) para la misma especie de Ayotoxtla, Guerrero concentraciones de 26 a 375 mg·kg⁻¹. Brockley (2001) reportó para el Pino Lodgepole de la Columbia Británica intervalos de 15 a 25 mg·kg⁻¹, Zolt (1973) citado por Touzet (2003) reportó para todos los pinos intervalos de 20 a 800 mg·kg⁻¹, Tausz *et al.* (2003), reportaron para *Pinus canariensis* intervalos de 104 a 313 mg·kg⁻¹, Bergmann (1993) citado por Tausz *et al.* (2003), reportó para *Pinus radiata* intervalos de 50 a 500 mg·kg⁻¹, Gómez (2003) en estudios con pinos michoacanos reportó intervalos de 80.3 a 435.7 mg·kg⁻¹, para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 38.4 a 298.1 mg·kg⁻¹ y para *Pinus greggi* de Metepec Estado de México de 47.4 a 216.6 mg·kg⁻¹ (Apéndice 1).

Los valores de Mn de tejido foliar en el PNB, PNZA y PNIP se encontraron en los intervalos señalados por los autores citados.

Del estudio de correlaciones de nutrientes en tejido foliar con las propiedades del suelo del PNB se observaron correlaciones negativas entre Mn y pH acuoso ($r=-0.80$; $p\leq 0.05$) y el espacio poroso ($r=-0.99$; $p\leq 0.05$), el PNZA correlacionó negativamente con el pH acuoso ($r=-0.51$ $p\leq 0.05$) (Cuadro 24, 25. Apéndice 2).

Se tienen reportes de que el Mn en suelos muy ácidos puede llegar a ser muy tóxico (Marschner, 1995) en estos suelos que tienen valores de pH de 4.5 a 5.5 como promedio, lo cual puede explicar el valor negativo de la relación entre el pH del suelo y Mn en tejido foliar.

Cu. Se encontró en un intervalo de 7.5 a 14.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con un promedio de 10.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ siendo el valor más bajo para el PNB y el más alto para el PNIP (Cuadro 13). Will (1978), citado por Arteaga (1983), reportó para *Pinus radiata* intervalo de 2 a 4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y Arteaga *et al.* (1983), para la misma especie de Ayotxtla, Guerrero concentraciones de 3 a 9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Brockley (2001), reportó para el Pino Lodgepole de la Columbia Británica intervalos de 1 a 3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Zolt (1973) citado por Touzet (2003), reportó para todos los pinos intervalos de 4 a 6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Tausz *et al.* (2003), reportó para *Pinus canariensis* intervalos de 1.9 a 3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Bergmann (1993), citado por Tausz *et al.* (2003), reportó para *Pinus radiata* intervalos de 4 a 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Gómez (2003), en estudios con pinos michoacanos reportó intervalos de 0.9 a 2.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 0.2 a 2.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y para *Pinus greggi* de Metepec, Estado de México de 0.1 a 5.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La concentración de Cu de tejido foliar en el PNB, PNZA y PNIP se encontró por arriba de los intervalos señalados por los autores citados (Apéndice 1).

Del estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar de individuos del PNBJ se encontró que al aumentar la concentración de Cu disminuye la concentración de Fe ($r=-0.63$; $p\leq 0.05$) así como la relación N:Cu ($r=-0.78$) no así el Cu y la relación N:Fe ($r=0.75$; $p\leq 0.05$) que se encontró positiva para el PNZA el Cu se correlacionó positivamente con el Fe ($r=0.57$; $p\leq 0.05$) y en el PNIP con respecto al contenido de este elemento se encontró una relación positiva entre el Cu y el Zn ($r=0.93$; $p\leq 0.05$), (Cuadro 27, 28, 29. Apéndice 2).

Fe. Se encontró en un intervalo de 114 a 150.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ con un promedio de 137 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ siendo el valor más bajo para el PNBJ y el más alto para el PNIP (Cuadro 13). Leaf (1978), citado por Arteaga (1983), reportó para *Pinus radiata* intervalo de 50 a 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y Arteaga et al. (1983), para la misma especie de Ayotoxtla, Guerrero concentraciones de 46 a 242 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Brockley (2001), reportó para el Pino Lodgepole de la Columbia Británica intervalos de 20 a 30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cuadro 14), Zolt (1973), citado por Touzet (2003), reportó para todos los pinos intervalos de 45 a 200 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Tausz et al. (2003), reportaron para *Pinus canariensis* intervalos de 443 a 719 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Gómez (2003), en estudios con pinos michoacanos reporta intervalos de 186.5 a 261.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 45 a 143 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y para *Pinus greggi* de Metepec, Estado de México de 59 a 339 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de acuerdo con estos valores la concentración de Fe en tejido foliar en el PNBJ, PNZA y PNIP se encontró en los intervalos señalados por los autores citados excepto para Brockley (2001), cuyo rango es inferior, Tausz et al. (2003), cuyo rango de concentración es mayor y Gómez (2003), para pinos michoacanos (Apéndice 1).

Del estudio de correlaciones de nutrientes foliares con las propiedades del suelo con respecto al contenido de Fe del PNIP se tiene que aumenta ligeramente al aumentar el pH activo ($r=0.54$; $p\leq 0.05$) esto se debe a que la disponibilidad de

nutrientes como el Fe, Cu y Mn aumenta al aumentar el pH. Para el PNZA el Fe se correlacionó positivamente con la DA ($r=0.66$; $p\leq 0.05$), el porcentaje de arena ($r=0.76$; $p\leq 0.05$) y negativamente con el EP ($r=-0.70$; $p\leq 0.05$) y el porcentaje de limo ($r=-0.66$; $p\leq 0.05$) (Cuadros 25 y 26. Apéndice, 2).

Con respecto a las asociaciones de nutrientes foliares para el PNIP con relación al contenido de Fe se encontraron positivas con el Cu ($r=0.56$; $p\leq 0.05$) y el Zn ($r=0.64$; $p\leq 0.05$) lo que puede suponer relaciones sinérgicas entre estos elementos para el PNBJ se encontró una relación negativa con respecto a la relación N:Fe ($r=0.79$; $p\leq 0.05$), (Cuadro 27, 29. Apéndice, 2).

CUADRO 13. Estado nutrimental de tejido foliar por zonas de estudio.

ANP	Zn	Mn	Cu	Fe
	mg. kg ⁻¹			
PNBJ	85.6 _{CO}	282.1 _{CO}	7.5 _{CO}	114 _{CO}
PNZA	129.8 _{CO}	144.7 _{CO}	9.8 _{CO}	146.6 _{CO}
PNIP	169 _{CO}	110.9 _{CO}	14.3 _{CO}	150.5 _{CO}
X ± DE	128.1 ± 41.7	179.2 ± 90.7	10.5 ± 3.5	137 ± 20
Intervalo	85.6-169	110.9-282.1	7.5-14.3	114-150.5

CO = crecimiento optimo A = adecuado; S = suficiente; D = deficiente, según estándar para *Pinus* (Zolt, 1973).

7.2 Estado nutrimental del género *Pinus* Parque Nacional Izta-Popo, Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Nacional Benito Juárez.

Zn. Al hacer el comparativo entre el contenido nutrimental entre las especies del género *Pinus* se encontró que para el Zn este elemento estuvo en un intervalo de concentración entre 78.7 y 202.7 mg·kg⁻¹ el valor más bajo se observó en *Pinus teocote* en el PNBJ y el más alto en *Pinus montezumae* en el PNIP (Cuadro 14). Will (1978), citado por Arteaga (1983), reportó para *Pinus radiata* intervalo de 5 a 10 mg·kg⁻¹ y Arteaga et al. (1983), para la misma especie de Ayotoxtla, Guerrero concentraciones de 22 a 48 mg·kg⁻¹. En otros trabajos sobre el estado nutrimental en *Pinus*, Brockley (2001), reportó para el Pino Lodgepole un intervalo de 10 a 15 mg·kg⁻¹, Tausz et al. (2003), reportó para *Pinus canariensis* intervalos de 20 a 39 mg·kg⁻¹, Gómez (2003), al

estudiar especies de pinos en Michoacán reportó al Zn en intervalos que van de 23.4 a 41.8 mg·kg⁻¹ así como para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 10.2 a 48 mg·kg⁻¹ y para *Pinus greggi* de Metepec, Estado de México de 15.7 a 43.7 mg·kg⁻¹, Bergmann (1993), citado por Tausz et al. (2003), reportó para *Pinus radiata* intervalos de 20 a 50 mg·kg⁻¹ y Zolt (1973), (citado por Touzet (2003), reportó para todos los pinos intervalos de 10 a 80 mg·kg⁻¹ al comparar estos valores con los reportados en esta investigación se encontró que están por arriba de los autores citados (Apéndice 1).

Mn. Este elemento se encontró en un intervalo de 39.8 a 464 mg·kg⁻¹ siendo el valor más bajo para *Pinus montezumae* del PNIP y el más alto para la misma especie del PNBJ (Cuadro 14). Will (1978) citado por Arteaga (1983), reportó para *Pinus radiata* citado en la literatura intervalo de 5 a 10 mg·kg⁻¹ y Arteaga et al. (1983), para la misma especie de Ayotoxtla, Guerrero concentraciones de 26 a 375 mg·kg⁻¹. Brockley (2001), reportó para el Pino Lodgepole de la Columbia Británica intervalos de 15 a 25 mg·kg⁻¹, Zolt (1973), citado por Touzet (2003), reportó para todos los pinos intervalos de 20 a 800 mg·kg⁻¹. Tausz et al. (2003), reportó en *Pinus canariensis* intervalos de 104 a 313 mg·kg⁻¹. Bergmann (1993), citado por Tausz et al. (2003), reportó para *Pinus radiata* intervalos de 50 a 500 mg·kg⁻¹. Gómez (2003), en estudios con pinos michoacanos reportó intervalos de 80.3 a 435.7 mg·kg⁻¹, para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 38.4 a 298.1 mg·kg⁻¹ y para *Pinus greggi* de Metepec, Estado de México de 47.4 a 216.6 mg·kg⁻¹. Las concentraciones reportadas en la presente investigación caen dentro de los rangos de estos autores excepto para Tausz et al. (2003), para *Pinus canariensis* cuyo rango inferior es más alto (104 mg·kg⁻¹) así como para Gómez (2003), para los pinos michoacanos con 80.3 mg·kg⁻¹ (Apéndice, 1).

Cu. Este elemento se encontró en intervalo de 5.5 a 27 mg·kg⁻¹ siendo el valor más bajo para *Pinus ayacahuite* del PNIP y el más alto para *Pinus montezumae* del mismo parque (Cuadro 14). Will (1978), citado por Arteaga (1983), reportó en *Pinus radiata* intervalo de 2 a 4 mg·kg⁻¹ y Arteaga et al. (1983), para la misma especie de Ayotoxtla, Guerrero concentraciones de 3 a 9 mg·kg⁻¹. Brockley (2001), reportó para el Pino Lodgepole de la Columbia Británica intervalos de 1 a 3 mg·kg⁻¹, Zolt (1973), citado por Touzet (2003), reportó para todos los pinos intervalos de 4 a 6 mg·kg⁻¹, Tausz, et al. (2003) reportó para *Pinus canariensis* intervalos de 1.93 a 3.04 mg·kg⁻¹, Bergmann (1993), citado por Tausz et al. (2003), reportó para *Pinus radiata* intervalos de 4 a 10 mg·kg⁻¹, Gómez (2003), en estudios con pinos michoacanos reportó intervalos de 0.9 a 2.6 mg·kg⁻¹, para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 0.2 a 2.9 mg·kg⁻¹ y para *Pinus greggi* de Metepec, Estado de México de 0.1 a 5.7 mg·kg⁻¹. Los valores de Cu de tejido foliar se encuentran dentro del intervalo propuesto por Zolt (1973), citado por Touzet (2003), para todos los pinos excepto para Will (1978) citado por Arteaga (1983), Brockley (2001), Bergmann (1993) (citado por Tausz et al. (2003) y Gómez, (2003) (Apéndice 1).

Fe. Este nutrimento se encontró en un intervalo de 79 a 141.8 mg·kg⁻¹ el valor más bajo lo presento *Pinus montezumae* del PNBJ y el más alto *Pinus ayacahuite* del PNIP (Cuadro 14). Leaf (1978) citado por Arteaga (1983) reportó para *Pinus radiata* intervalo de 50 a 100 mg·kg⁻¹ y Arteaga et al. (1983) para la misma especie de Ayotoxtla, Guerrero concentraciones de 46 a 242 mg·kg⁻¹. Brockley (2001), reportó para el Pino Lodgepole de la Columbia Británica intervalos de 20 a 30 mg·kg⁻¹, Zolt (1973), citado por Touzet (2003), reportó para todos los pinos intervalos de 45 a 200 mg·kg⁻¹, Tausz et al. (2003), reportó para *Pinus canariensis* intervalos de 443 a 719 mg·kg⁻¹, Gómez (2003), en estudios con pinos michoacanos reporta intervalos de 186.5 a 261.5 mg·kg⁻¹, para *Pinus greggi* de Huachinango Puebla de 45 a 143 mg·kg⁻¹ y

para *Pinus greggi* de Metepec Estado de México de 59 a 339 mg·kg⁻¹ de acuerdo con estos valores la concentración de Fe en de tejido foliar se encontró en concentraciones para crecimiento óptimo en los intervalos señalados por los autores citados excepto para lo reportado por Brockley (2001), cuyo rango de concentración es inferior, Tausz et al. (2003), con rango de 443 a 719 mg·kg⁻¹ y Gómez (2003), para pinos michoacanos con concentraciones de 186.5 a 261.5 mg·kg⁻¹ (Apéndice 1).

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el estado nutrimental de las especies del género *Pinus* de los parques PNBj, PNIP y PNZA se encontró que no existen deficiencias nutrimentales encontrándose dentro de los valores normales o de suficiencia para crecimiento óptimo de acuerdo con lo reportado por Zolt (1973), citado por Touset (1987), y Bergmann (1993), citado por Tausz (2003), y Brockley (2001), sin embargo no hay alta certidumbre para la propuesta de intervalos de suficiencia nutrimental.

Cuadro 14. Contenido nutrimental de tejido foliar de especies del género *Pinus* entre Áreas Naturales Protegidas.

Especie	ANP	Zn	Mn	Cu	Fe
----- mg.kg ⁻¹ -----					
<i>Pinus montezumae</i>	PNBJ	103.01co	464co	7.6co	79.0co
<i>Pinus montezumae</i>	PNIP	202.7co	39.8co	27co	110.2co
<i>Pinus teocote</i>	PNBJ	78.7co	196.4co	7.3co	131.4co
<i>Pinus teocote</i>	PNIP	163.3co	63.2co	6.6co	94.9co
<i>Pinus hartweggi</i>	PNIP	148.9co	188.4co	6co	105.6co
<i>Pinus pseudoestrobis</i>	PNIP	122.6co	79.8co	6.5co	106.9co
<i>Pinus ayacahuite</i>	PNIP	131co	128.3co	5.5co	141.8co
<i>Pinus patula</i>	PNIP	129.4co	68.5co	5.7co	100co
<i>Pinus sp</i>	PNZA	163.3co	107co	6.2co	91.4co
X ± DE		138±36.5	148.4±130.3	8.7±6.9	106.8±19.5
intervalo		78.7-202.7	39.8-464	5.5-27	79-141.8

CO= crecimiento optimo A= adecuado; S= suficiente; D= deficiente, según estándar para *Pinus* (Zolt, 1973)

7.3 Estado nutrimental de *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. Et Cham en Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Izta-Popo.

Zn. En referencia a *Abies religiosa* la concentración más baja en tejido foliar se encontró en el PNZA con $142 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y la más alta se encontró en el PNIP con $192 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un promedio general de $167 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cuadro 15), López (1993), citado por Rivera et al. (2006), reportó concentraciones de Zn de $\sim 40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en brinzales de alto rendimiento de oyamel. Los valores encontrados en esta investigación están por arriba de este valor, así mismo Epstein y Bloom (2005), han reportado que el Zn se encontró aproximadamente en $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (reportó intervalos entre 10 y $250 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) por lo que los individuos de *Abies religiosa* no parecen tener deficiencia de este elemento.

Mn. Este elemento se encontró en un intervalo de 134 a $197 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ siendo el PNIP quien presento el valor más bajo y el PNZA el valor más alto (Cuadro 15), López (1993), citado por Rivera et al. (2006), reportó concentraciones de Mn de $\sim 240 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en brinzales de alto rendimiento de oyamel, los valores encontrados en esta investigación están por abajo de este valor, aún sin poder establecer si la concentración de Mn este en los intervalos de deficiencia, suficiencia ó alto pues debe ampliarse el estudio y la investigación de los micronutrientes en *Abies religiosa*.

Cu. Para este elemento se encontró que para el PNZA el valor mas bajo fue de $13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y el más alto en el PNBJ con $21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (cuadro 15), López (1993), citado por Rivera et al. (2006), no reportó concentraciones para este elemento, Epstein y Bloom (2005) reportaron que el Cu se ha encontrado entre 2 y $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ aunque aclaran que $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ es un promedio que puede encontrarse en plantas cultivadas acotando que en plantas silvestres la información es muy escasa.

Fe. Para el Fe la menor concentración correspondió al PNZA con 182 mg·kg⁻¹ y la mayor en el PNIP con 217 mg·kg⁻¹ (Cuadro 15). López (1993), citado por Rivera et al. (2006), reportó concentraciones de Fe de ~125 mg·kg⁻¹ en brinzales de alto rendimiento de oyamel, los valores encontrados para este elemento en esta investigación están por arriba de ese valor, aún dentro del intervalo encontrado por Epstein y Bloom (2005), quienes reportan concentraciones entre 20 y 600 mg·kg⁻¹.

Cuadro 15. Contenido nutrimental promedio de micronutrientes en tejido foliar de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlttl & Cham en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Izta-Popo.

Especie	ANP	Zn	Mn	Cu	Fe
		mg.kg ⁻¹			
<i>Abies religiosa</i>	PNZA	142	197	13	182.3
<i>Abies religiosa</i>	PNIP	192	134	21.2	217.2
X ± DE		167±35	165 ±44	16.9±6	200±25
intervalo		142 – 192	134 – 197	13 – 21.2	182 – 217.3

7.4 Estado nutrimental del género *Quercus* en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.

Algunos individuos del género *Quercus* coexisten con los géneros *Pinus* y *Abies* a altitudes cercanas a 3066 msnm, sin embargo se sabe que esta especie se desarrolla en altitudes que van desde el nivel del mar hasta por arriba de 2800 msnm.

Zn. Para este género el Zn en tejido foliar osciló entre 97.4 y 110.2 mg·kg⁻¹ con una media de 105 mg·kg⁻¹.

Mn. Este elemento se encontró en un intervalo de 80.5 a 244.5 mg·kg⁻¹ con un promedio de 147.4 mg·kg⁻¹.

Cu. Se encontró en un intervalo de 7 a 21.6 mg·kg⁻¹ con un promedio de 14.3 mg·kg⁻¹.

Fe. Estuvo en un intervalo de 109.6 a 169.5 mg·kg⁻¹ y un promedio de 139.5 mg·kg⁻¹ (Cuadro 16).

Cuadro 16. Contenido nutrimental de tejido foliar del género *Quercus* en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.

Especie	Zn	Mn	Cu	Fe
mg.kg ⁻¹				
<i>Quercus sp</i>	102.1	81.9	7	109.6
<i>Quercus sp</i>	97.4	80.5	-	-
<i>Quercus sp</i>	108.3	93.1	21.6	169.5
<i>Quercus sp</i>	106.9	236.9	-	-
<i>Quercus sp</i>	110.2	244.5	-	-
X ±DE	105±5.2	147.4±85.4	14.3±10.3	139.5±42.3
Intervalo	97.4-110.2	80.5-244.5	7 – 21.6	109.6 -169.5

7.5 Estado nutrimental entre los Parques Nacionales Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas y Benito Juárez.

Al comparar el estado nutrimental entre los parques se encontró que la concentración de los nutrimentos fue la siguiente: PNIP Zn>Fe>Mn>Cu, PNZA Fe>Mn>Zn>Cu y PNBj Mn>Fe>Zn>Cu (Cuadro 22. Apéndice 1).

7.6 Estado nutrimental entre los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus*.

Al comparar el estado nutrimental entre los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus* se encontró que la concentración de los nutrimentos fue la siguiente: para el género *Pinus* Mn>Zn>Fe>Cu, *Abies* Fe>Zn>Mn>Cu y *Quercus* Mn>Fe>Zn>Cu. Para la concentración de Fe se encontró que *Abies*>*Quercus*>*Pinus*, Para el Cu *Abies*>*Quercus*>*Pinus*, para el Mn *Abies*>*Pinus* >*Quercus* y para el Zn *Abies*>*Pinus* >*Quercus* (Cuadro 23. Apéndice 1).

7.7 Relación de nutrientes de tejido foliar en Parque Nacional Izta-Popo, Parque Nacional Zoquiapan y Anexas y Parque Nacional Benito Juárez.

La proporción de los nutrientes determina la relación que existe entre ellos ya que el exceso de un elemento en forma aprovechable puede causar deficiencia de otro. En el presente trabajo además se determinó la relación de N y P con los micronutrientes Fe, Cu, Mn y Zn en tejido foliar.

Nitrógeno.

El nitrógeno es de los elementos más importantes debido a que su contenido en la planta varía de 2 a 4% en la materia seca y de éste el 80 y 85% corresponde a proteínas y 10% a los ácidos nucleicos.

El nitrógeno es constituyente de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, nucleoproteínas y clorofila entre otros.

Fósforo.

Después del nitrógeno el fósforo es el segundo macronutriente en importancia para la planta, es esencial para su crecimiento y ningún otro elemento puede sustituirlo. Participa en las reacciones de la planta en las que hay intercambio de energía además de ser el elemento más importante en el trifosfato de adenocina (ATP). Las plantas pueden absorber el P del suelo aún en concentraciones muy bajas.

El fósforo es un constituyente de enzimas, de proteínas como las fosfoproteínas, fosfolípidos, glucosa, ATP, y ácidos nucleicos por lo que juega un papel importante en el ciclo de vida de las plantas (Marschner, 1995)

N:Zn.

La relación N:Zn osciló de 7:1 a 26:1 con un promedio de 15:1 en el PNBJ mientras que en el PNIP el valor más bajo fue 23:1 y el más alto 88:1, con un promedio de 57:1 y para el PNZA los valores fueron de 35:1 y 107:1 con un promedio 63:1. Estos

valores muestran que no hay deficiencia de Zn porque considerando los resultados de Brockley (2001), y al calcular la relación N:Zn no se presentó deficiencia de este micronutriente (Cuadro 30, 31. Apéndice 3).

Del estudio de correlaciones de nutrientes en tejido foliar con las propiedades del suelo en el PNZA para la relación N:Zn se encontró positiva para el pH acuoso ($r=0.49$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 25, apéndice 2). Esto se debe a que el pH afecta significativamente la disponibilidad de nutrimentos para las plantas aumentando de manera general cuando este aumenta y en el caso del PNZA el pH se encontró de 4.9 a 6.

Para el estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar con respecto a la relación N:Zn del PNBJ se encontraron asociaciones positivas con el Cu ($r=0.97$; $p\leq 0.05$) y la relación N:Fe ($r=0.77$; $p\leq 0.05$) y negativas con el Fe ($r=-0.64$; $p\leq 0.05$) y la relación N:Cu ($r=-0.78$). Para el PNIP se encontraron asociaciones significativas negativas con el Cu y el Zn con valores de ($r=-0.66$; $p\leq 0.05$) y ($r=-0.72$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 27, 29. Apéndice 2).

N:Mn.

Para la relación N:Mn los valores del PNBJ estuvieron entre 2:1 y 22:1 con 7:1 como promedio. En el PNIP el valor más bajo fue de 34:1 y el más alto de 299:1 con un promedio de 102:1 y para el PNZA los valores fueron de 14:1 a 190:1 con una media de 75:1 (Cuadro 31. Apéndice 3).

Estos valores muestran que no hay deficiencia de Mn considerando los resultados de Brockley (2001), y al calcular la relación N:Mn no se presentó deficiencia de este nutrimento (Cuadro 30. Apéndice 3).

Del estudio de correlaciones de los micronutrientes en tejido foliar con las propiedades del suelo del PNBJ la relación N:Mn

se obtuvo que esta aumenta al incrementarse el pH acuoso ($r=0.64$; $p\leq 0.05$) para el PNZA se encontró la misma asociación con el pH acuoso ($r=0.48$; $p\leq 0.05$) y para el PNIP se observó que la relación N:Mn tiene un ligero aumento cuando el porcentaje de limo del suelo aumenta ($r=0.43$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 24, 25, 26. Apéndice 2).

Para el estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar, en el PNBJ se obtuvo que la relación N:Mn aumenta con el incremento de la relación P:Mn ($r=0.92$; $p\leq 0.05$), (Cuadro 18) y para el PNZA se obtuvo que al aumentar la relación N:Mn disminuye el Mn ($r=-0.68$; $p\leq 0.05$), (Cuadro 27, 28, Apéndice 2).

N:Fe.

La relación N:Fe osciló de 4:1 a 34:1 con un promedio de 14:1 en el PNBJ mientras que en el PNIP estuvo entre 32:1 y 114:1 con un promedio de 69:1. Para el PNZA los valores fueron de 13:1 y 188:1 con un promedio 71:1 (Cuadro 31. Apéndice 3).

Estos valores muestran que no hay deficiencia de Fe considerando los resultados de Brockley (2001), y al calcular la relación N:Fe no se presentó deficiencia de este nutrimento (Cuadro 30. Apéndice 3).

Del estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar con las propiedades del suelo para la relación N:Fe del PNZA se encontró que correlacionó positivamente con el porcentaje de arcilla ($r=0.69$; $p\leq 0.05$) y negativamente con DA ($r=-0.58$; $p\leq 0.05$) y el porcentaje de arena ($r=-0.66$; $p\leq 0.05$) para el PNIP la relación N:Fe se asocio negativamente con el pH activo, es decir, al aumentar el valor de pH, existe la tendencia a la deficiencia de N. ($r=-0.52$; $p\leq 0.05$), (Cuadro 25, 26. Apéndice 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por García (2003), quien en un estudio con *Abies religiosa* encontró niveles bajos de N en tejido foliar.

Para el estudio de correlaciones de micronutrientes de tejido foliar del PNBJ se encontraron correlaciones positivas con Cu ($r=0.75$; $p\leq 0.05$), la relación N:Zn ($r=0.77$; $p\leq 0.05$) y la relación P:Fe ($r=0.96$; $p\leq 0.05$) y negativas con respecto al Fe foliar ($r=-0.79$; $p\leq 0.05$), la relación N:Cu ($r=-0.73$; $p\leq 0.05$) y la relación P:Cu ($r=-0.61$; $p\leq 0.05$), el PNZA se asoció negativamente con el Fe ($r=-0.82$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 27, 28. Apéndice 2).

N:Cu.

La relación N:Cu osciló de 103:1 a 254:1 y promedio de 165:1 en el PNBJ mientras que en el PNIP estuvo entre 122:1 y 2927:1 con promedio de 1319:1. Para el PNZA los valores fueron de 414:1 y 1723:1 con promedio 984:1 (Cuadro 31. Apéndice 3)

Estos valores muestran que no hay deficiencia de Cu considerando los resultados de Brockley (2001) y al calcular la relación N:Cu no se presentó deficiencia de este nutrimento (Cuadro 30. Apéndice 3).

Del estudio de correlaciones de micronutrientes foliares del PNBJ se obtuvo que al incrementarse la relación N:Cu aumentan las relaciones P:Zn ($r=0.70$; $p\leq 0.05$), la relación P:Cu ($r=0.82$; $p\leq 0.05$) y la P:Fe ($r=0.68$; $p\leq 0.05$) y disminuyen el Zn foliar ($r=-0.78$; $p\leq 0.05$) y la relación N:Fe ($r=-0.73$), para el PNZA la correlación significativa se encontró con el Cu ($r=-0.74$; $p\leq 0.05$) y el Fe en tejido foliar ($r=-0.59$; $p\leq 0.05$) y para el PNIP la relación N:Cu se asocio negativamente con el Cu ($r=-0.70$; $p\leq 0.05$) y el Zn ($r=-0.67$; $p\leq 0.05$), (Cuadro 27, 28, 29. Apéndice 2).

P:Zn.

La relación P:Zn osciló de 65:1 a 326:1 y promedio de 134:1 en el PNBJ mientras que en el PNIP estuvo entre 2:1 y 21:1 con promedio de 10:1 y para el PNZA los valores fueron de 5:1 y 11:1 con promedio 11:1 (Cuadro 31. Apéndice 3)

Del estudio de correlaciones de micronutrientes foliares con las propiedades del suelo del PNZA se observaron correlaciones positivas con pH acuoso ($r=0.44$; $p\leq 0.05$) y negativas para EP ($r=-0.57$; $p\leq 0.05$), para el PNIP se obtuvo que la relación P:Zn tiene un ligero aumento al incrementar el porcentaje de arcilla ($r=0.61$; $p\leq 0.05$), y el limo ($r=0.52$; $p\leq 0.05$) y disminuye cuando aumenta el porcentaje de arena ($r=-0.60$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 25, 26. Apéndice 2).

Del estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar del PNBJ se encontró que la relación P:Zn aumenta al incrementar la relación P:Cu ($r=0.90$; $p\leq 0.05$) y disminuye al aumentar la concentración de Zn foliar ($r=-0.62$; $p\leq 0.05$), para el PNZA se observó una correlación negativa con el Zn foliar ($r=-0.65$; $p\leq 0.05$) y para el PNIP con respecto a la relación P:Zn se encontraron correlaciones negativas con Cu, Fe y Zn foliar con ($r=-0.46$; $p\leq 0.05$), ($r=-0.29$; $p\leq 0.05$) y ($r=-0.63$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 27, 28, 29. Apéndice 2).

P:Mn.

La relación P:Mn osciló de 11:1 a 270:1 y promedio de 68:1 en el PNBJ mientras que en el PNIP estuvo entre 4:1 y 50:1 con un promedio de 17:1. Para el PNZA los valores fueron de 2:1 y 57:1 con un promedio 15:1 (Cuadro 31, Apéndice 3).

Del estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar con las propiedades del suelo del PNZA para la relación P:Mn se observó una asociación negativa con el porcentaje de arcilla ($r=-0.47$; $p\leq 0.05$), (Cuadro 25, Apéndice 2).

Del estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar del PNBJ la relación P:Mn aumenta con el incremento de la relación N:Mn ($r=0.92$; $p\leq 0.05$) para el PNZA se observó una relación negativa con el Mn ($r=-0.57$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 27, 28. Apéndice 2).

P:Cu.

La relación P:Cu osciló de 707:1 a 3841:1 con un promedio de 1455:1 en el PNBJ mientras que en el PNIP estuvo entre 21:1 y 436:1 con un promedio de 207:1. Para el PNZA los valores fueron de 49:1 y 361:1 con promedio de 166:1 (Cuadro 31, Apéndice 3).

Del estudio de correlaciones de micronutrientes en tejido foliar del PNBJ con respecto a la relación P:Cu se encontró que esta aumenta al incrementar la relación P:Zn ($r=0.90$; $p\leq 0.05$) y la relación N:Cu ($r=0.82$; $p\leq 0.05$) y disminuye al aumentar la relación N:Fe ($r=-0.61$; $p\leq 0.05$), para el PNZA se encontró relación negativa con el Cu ($r=-0.69$; $p\leq 0.05$) (Cuadro 27, 28. Apéndice 2).

P:Fe.

La relación P:Fe osciló de 29:1 a 244:1 y promedio de 113:1 en el PNBJ mientras que en el PNIP estuvo entre 3:1 y 23:1 con un promedio de 11:1. Para el PNZA los valores fueron de 4:1 y 40:1 con un promedio 13:1 (Cuadro 31, Apéndice 3).

Los valores de las relaciones P:Zn, P:Mn, P:Cu y P:Fe muestran que hay deficiencia de P en el PNBJ, considerando los resultados de Brockley (2001), y al calcular la relación P:Cu se presentó deficiencia de este nutrimento (Cuadro 31, Apéndice 3).

Así mismo del estudio de correlaciones entre micronutrientes en tejido foliar con las propiedades del suelo del PNZA para la relación P:Fe se observó correlación negativa con la DA ($r=-$

0.58; $p \leq 0.05$) (Cuadro 25, apéndice 2) lo cual puede ser indicio de deficiencias de P, García (2003), en un estudio con *Abies religiosa* encontró niveles de P en tejido foliar bajos, Granados (2003), reportó en un estudio que el P es un limitante para el desarrollo de pinos. La información anterior acentúa la posibilidad de que exista deficiencia de este elemento.

Del estudio de micronutrientes foliares del PNBJ para la relación P:Fe se observaron correlaciones positivas significativas con el Cu ($r=0.83$; $p \leq 0.05$), la relación N:Fe ($r=0.96$; $p \leq 0.05$) y la relación N:Zn ($r=0.80$; $p \leq 0.05$) y asociaciones negativas con el Fe ($r=-0.76$; $p \leq 0.05$) y la relación N:Cu ($r=-0.68$; $p \leq 0.05$), el PNZA se correlaciono negativamente con el Fe ($r=-0.69$; $p \leq 0.05$) (Cuadro 27, 28. Apéndice 2).

7.8 Relación de nutrientes de tejido foliar en las zonas de estudio.

N:Zn. La relación N:Zn promedio del PNBJ, PNIP y PNZA fue de 40:1 con el valor mas alto para el PNZA con 63:1 y el más bajo para el PNBJ con 15:1.

N:Mn. Para la relación N:Mn el promedio del PNBJ, PNIP y PNZA fue de 53:1 con el valor mas alto para el PNIP con 79:1 y el más bajo para el PNBJ con 7:1.

N:Fe. Para la relación N:Fe el promedio fue de 50:1 con el valor mas alto para el PNZA con 71:1 y el más bajo para el PNBJ con 13:1.

N:Cu. Para la relación N:Cu el promedio fue de 719:1 con el valor mas alto para el PNIP con 1010:1 y el más bajo para el PNBJ con 165:1.

P:Zn. Para la relación P:Zn el promedio fue de 52:1 con el valor más alto para el PNBJ con 134:1 y el más bajo para los parques PNZA y PNIP con 11:1 respectivamente.

P:Mn. Para la relación P:Mn el promedio fue de 34:1 con el valor mas alto para el PNBj con 68:1 y el más bajo para el PNZA con 15:1.

P:Fe. Para la relación P:Fe el promedio fue de 47:1 con el valor mas alto para el PNBj con 113:1 y el más bajo para el PNZA con 13:1.

P:Cu. Para la relación P:Cu el promedio fue de 626:1 con el valor mas alto para el PNBj con 1455:1 y el más bajo para el PNZA con 166:1.

(Cuadro 32, Apéndice 3).

7.9 Relación de nutrientes de tejido foliar del género *Pinus*.

N:Zn. La relación N:Zn en especies de *Pinus* osciló de 12:1 a 64:1 con un promedio de 46:1, el valor mas bajo se observó en *P. montezumae* del PNBj y el más alto en *P. hartweggi* del PNIP.

N:Mn. Estos elementos estuvieron en un intervalo entre 4:1 a 262:1 con un promedio de 89:1, el valor mas bajo se observó en *P. montezumae* del PNBj y el mas alto para la misma especie del PNIP.

N:Fe. La relación N:Fe osciló de 10:1 a 101:1 con un promedio de 66:1, el valor mas bajo se observó en *P. teocote* del PNBj y el más alto en *Pinus sp* del PNZA.

N:Cu. La relación N:Cu osciló de 157:1 a 1582:1 con un promedio de 1030:1, el valor mas bajo se observó en *P. teocote* del PNBj y el más alto en *P. hartweggi* del PNIP.

P:Zn. La relación P:Zn osciló de 8:1 a 135:1 con un promedio de 32:1, el valor mas bajo se observó en *P. montezumae* del PNIP y el más alto en *P. teocote* del PNBj.

P:Mn. La relación P:Mn osciló de 8:1 a 61:1 con un promedio de 25:1, el valor mas bajo se observó en *P. hartweggi* del PNIP y el más alto en *P. teocote* del PNBj.

P:Fe. La relación P:Fe osciló de 8:1 a 134:1 con un promedio de 36:1, el valor mas bajo se observó en *P. hartweggi* del PNIP y el más alto en *P. montezumae* del PNBj.

P:Cu. La relación P:Cu osciló de 135:1 a 1470:1 con un promedio de 464:1, el valor mas bajo se observó en *P. montezumae* del PNIP y el más alto en *P. teocote* del PNBJ.

(Cuadro 33, Apéndice 3).

7.10 Relación de nutrientes de tejido foliar de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. en el Parque Nacional Izta - popo y Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.

N:Zn. La relación N:Zn en *Abies religiosa* osciló de 23:1 a 88:1 con un promedio de 59:1 en el PNIP mientras que en el PNZA estuvo entre 2:1 y 70:1 con un promedio de 55:1.

N:Mn. Para la relación N:Mn los valores para el PNIP oscilaron entre 39:11 y 114:1 con un promedio de 77:1, para el PNZA fueron de 15:1 a 77:1 y un promedio de 51:1.

N:Cu. Para la relación N:Cu los valores fueron de 122:1 a 2927:1 con un promedio de 1411:1 para el PNIP mientras que para el PNZA los valores fueron de 291:1 a 1296:1 con un promedio de 719:1.

N:Fe. Para la relación N:Fe los valores fueron de 32:1 a 82:1 con un promedio de 53:1 para el PNIP mientras que para el PNZA los valores fueron de 19:1 a 68:1 con un promedio de 44:1.

P:Zn. Para la relación P:Zn los valores fueron de 4:1 a 22:1 con un promedio de 10:1 para el PNIP mientras que para el PNZA los valores fueron de 6:1 a 13:1 con un promedio de 10:1.

P:Mn. Para la relación P:Mn los valores fueron de 4:1 a 23:1 con un promedio de 13:1 para el PNIP mientras que para el PNZA los valores fueron de 2:1 a 16:1 con un promedio de 10:1.

P:Cu. Para la relación P:Cu los valores fueron de 21:1 a 436:1 con un promedio de 199:1 para el PNIP mientras que para el PNZA los valores fueron de 84:1 a 140:1 con un promedio de 107:1.

P:Fe. Para la relación P:Fe los valores fueron de 4:1 a 20:1 con un promedio de 8:1 para el PNIP mientras que para el PNZA los valores fueron de 5:1 a 8:1 con un promedio de 7:1.

(Cuadro 34, Apéndice 3).

7.11 Relación de nutrientes de tejido foliar de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. en las zonas de estudio.

N:Zn. La relación N:Zn promedio del PNZA y PNIP fue de 57:1 con el valor mas alto para el PNIP con 59:1 y el mas bajo para el PNZA con 55:1.

N:Mn. La relación N:Mn promedio del PNZA y PNIP fue de 64:1 con el valor mas alto para el PNIP con 77:1 y el mas bajo para el PNZA con 51:1.

N:Fe. La relación N:Fe promedio del PNZA y PNIP fue de 80:1 con el valor mas alto para el PNZA con 107:1 y el mas bajo para el PNIP con 53:1.

N:Cu. La relación N:Cu promedio del PNZA y PNIP fue de 1065:1 con el valor mas alto para el PNIP con 1411:1 y el mas bajo para el PNZA con 719:1.

P:Zn. La relación P:Zn promedio del PNZA y PNIP fue de 10:1 con el mismo valor para ambos parques para PNIP y PNZA con 10:1.

P:Mn. La relación P:Mn promedio del PNZA y PNIP fue de 11:1 con el valor mas alto para el PNIP con 13:1 y el mas bajo para el PNZA con 10:1.

P:Fe. La relación P:Fe promedio del PNZA y PNIP fue de 7:1 con el valor mas alto para el PNIP con 8:1 y el mas bajo para el PNZA con 7:1.

P:Cu. La relación N:Cu promedio del PNZA y PNIP fue de 153:1 con el valor mas alto para el PNIP con 199:1 y el mas bajo para el PNZA con 107:1.

Cuadro 35, Apéndice 3).

7.12 Relación de nutrimentos de tejido foliar del género *Quercus* en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.

N:Zn. Para la relación N:Zn del género *Quercus* en el PNZA el valor mas bajo fue 71:1 y el más alto 107:1 con un promedio de 94:1

N:Mn. Para la relación N:Mn el valor mas bajo fue 40:1 y el más alto 124:1 con un promedio de 84:1.

N:Cu. Para esta relación el valor mas bajo fue 515:1 y el más alto 1446:1 con un promedio de 981:1.

N:Fe. Para esta relación el valor mas bajo fue 66:1 y el más alto 93:1 con un promedio de 79:1.

P:Zn. Para esta relación el valor mas bajo fue 7:1 y el más alto 17:1 con un promedio de 13:1.

P:Mn. En el caso de la relación P:Mn el valor mas bajo fue 7:1 y el más alto 22:1 con un promedio de 11:1.

P:Cu. Para esta relación el valor mas bajo fue 49:1 y el más alto 253:1 con un promedio de 151:1.

P:Fe. Para esta relación el valor mas bajo fue 6:1 y el más alto 16:1 con un promedio de 11:1.

Cuadro 36, Apéndice 3).

8. Conclusiones.

- En Parques Nacionales (Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas y Benito Juárez) no existen deficiencias nutrimentales de Fe, Cu, Mn y Zn en tejido foliar en especies de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus*.
- El orden decreciente en la concentración de los micronutrientes en los tres géneros en los Parques estudiados fue el siguiente: PNIP Zn>Fe>Mn>Cu, PNZA Fe>Mn>Zn>Cu y finalmente PNBJ Mn>Fe>Zn>Cu.
- Al comparar el estado nutrimental entre los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus* se encontró que la concentración de los nutrientes fue la siguiente: para el género *Pinus* Mn>Zn>Fe>Cu, para *Abies* Fe>Zn>Mn>Cu y para *Quercus* Mn>Fe>Zn>Cu.
- En referencia al contenido de cada elemento entre géneros, se encontró que las concentraciones de Fe y Cu fueron mayores en *Abies*, seguido de *Quercus* y al final el género *Pinus*. Para el Mn y para Zn fueron mayores en *Abies*, en segundo lugar *Pinus* y finalmente el género de los encinos (*Quercus*).
- Con los resultados obtenidos se tienen bases para aceptar la hipótesis planteada de que existe una buena disponibilidad de nutrientes en el suelo de Fe, Cu, Mn y Zn debido a que estos nutrientes se encontraron en concentraciones que están en el intervalo que se clasifica para crecimiento óptimo en el tejido foliar de *Pinus*, *Abies* y *Quercus*.
- En comparación con el género *Pinus* y el género *Quercus*, los individuos de *Abies religiosa* presentaron concentraciones foliares más altas de Fe, Cu, Mn y Zn.

- Los intervalos nutrimentales obtenidos para Fe, Cu, Mn y Zn para los Parques Nacionales Izta-Popo, Zoquiapan y Anexas y Benito Juárez fueron 114-150.5, 7.5-14.3, 111-282.1 y 86-123.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente.
- Los intervalos nutrimentales obtenidos para Fe, Cu, Mn y Zn fueron:
 - Para el género *Pinus*: 107-19.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 5.5-14.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 111-282.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y 86-169 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - Para el género *Abies*: 182-217.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 13-21.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 134-197 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y 142-192 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.
 - Para el género *Quercus* 110-169.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 7-21.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 80.5-244.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y 97.4-110.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- De las relaciones de balance nutrimental entre los micronutrientes con N y P, se encontró que en el PNIP existe una tendencia a la deficiencia de N en todos los géneros estudiados.
- Con el análisis de la relación P:Fe en el PNZA y en el Parque Nacional Benito Juárez, se encontró una tendencia a la deficiencia de P, la cual también se acentúa en la observación de las relaciones P:Cu, P:Mn y P:Zn en este Parque.

9. Comentarios y sugerencias.

- Se propone continuar con trabajos de levantamiento nutricional de *Abies religiosa* para el PNBJ y de las diferentes especies de *Quercus* en el PNIP y PNBJ así como de otras especies forestales.

- Debido a que son pocos los trabajos que existen en México sobre el levantamiento nutrimental de especies forestales y a que no se ha seguido un protocolo específico para la valoración nutrimental de plantaciones forestales y que ésta varía en diferentes países, se sugiere plantear trabajos similares con el propósito de estandarizar las técnicas de muestreo de follaje y análisis de laboratorio para la determinación de los nutrimentos así como los procedimientos para determinar suficiencia y deficiencia de micronutrientes.

- Existen diferentes técnicas de laboratorio para la determinación de un mismo nutrimento y los datos varían de un laboratorio a otro, se sugiere estandarizar los procedimientos a seguir así como las técnicas.

- Se propone la creación de un Centro Nacional de Recopilación de datos sobre el estado nutrimental de especies forestales, que permita que la información proveniente de diferentes localidades e instituciones del país pueda compartirse y de esta manera tener un manejo adecuado y conservación de los bosques en México.

10. Anexo.

Solubilización de Fe, Zn, Cu, y Mn por digestión con HNO₃/HClO₄.

Se pesa el material vegetal, 0.50g y se coloca en matraces microkjeldahl de 30 ml o tubos de digestión. Se adicionan 6 ml de mezcla digestora. Se deja en predigestión por 12 h como mínimo o en reposo toda la noche. Simultáneamente se corren blancos de reactivos. Se adicionan dos o tres perlas de vidrio para mantener una ebullición pareja.

Se colocan los matraces o los tubos, en la unidad digestora y se calienta a 150° C hasta que desaparezcan los humos pardos de los óxidos de nitrógeno. Este proceso toma entre 30 a 45 minutos durante esta etapa se rota el matraz o el tubo para lavar las paredes de todo residuo orgánico.

Una vez concluida la etapa anterior se eleva la temperatura del aparato digestor a 210°C para llevar a ebullición a la mezcla azeotrópica de HClO₄ (203°C). El ataque del HClO₄ a la matriz orgánica residual se nota inicialmente por la aparición de vapores pardos leves y luego por una reacción viciosa con formación de espuma (teniendo cuidado cuando de trabaja con HClO₄).

El final de la reacción esta marcado por la aparición de vapores blancos densos característicos del HClO₄. Esta etapa dura aproximadamente una hora. Después de la aparición de vapores pesados, dejar las muestras por cinco minutos más en el aparato digestor. Se transfiere cuantitativamente el digestado a un matraz aforado de 10 ml y se afora con agua desionizada.

Cuantificación de Fe, Zn, Cu, y Mn.

Reactivos.

Estándar de Fe de 1000 ppm.

Se disuelve 1.000g de Fe (en forma de alambre o polvo puro) en 5 ó 10 ml de HCL concentrado se evapora casi a sequedad y se diluye con agua desionizada a 1L, se guarda en botella de polietileno y en refrigeración.

Estándar de Cu de 1000 ppm.

SE disuelve 1.000 g de Cu metálico en una cantidad mínima de HNO₃ concentrado y 5 ml de HCL se evapora casi a sequedad y se diluye a 1L con agua desionizada, Se guarda en botella de polietileno y en refrigeración.

Estándar de Zn de 1000 ppm.

SE disuelve 1.000 g de Zn metálico puro en 5 ml ó 10 ml de HCL concentrado se evapora casi a sequedad y se diluye a 1L con agua desionizada se guarda en botella de polietileno y en refrigeración.

Estándar de Mn de 1000 ppm.

SE disuelve 1.5820 g de MnO₂ metálico en 5ml de HCL concentrado se evapora casi a sequedad y se diluye con agua desionizada a 1L, se guarda en botella de polietileno y en refrigeración.

Estándares de Fe, Zn, Cu y Mn de 100 ppm.

Se diluyen por separado, 10 ml de las soluciones de 1000 ppm de Fe, Zn, Cu y Mn y se aforan a 100 ml con agua desionizada.

Procedimiento.

En general, los micronutrientes se leen directamente en el extracto digerido (matraz de 10 ml), esto es sin realizar ninguna dilución, excepto para Fe. Se toma una alícuota de 2ml y se afora a 25 ml. Si las muestras se leen directamente en absorción atómica, las curvas deben mantener la matriz, es decir, la misma cantidad de HClO₄ en el digestado ya aforado. Generalmente queda 1 ml de ácido, si se afora a 10 ml el digestado, entonces esta solución tiene 10% de ácido y la misma cantidad deben tener los puntos de la curva, la solución deberá tener 10 ml de HClO₄ para mantener la matriz. Si se hacen diluciones en los extractos se lee en curvas aforadas solamente con agua. La preparación de la curva de calibración se indica en la tabla siguiente (podrían tenerse otras concentraciones, recordar que el intervalo de trabajo depende de la sensibilidad del instrumento).

Solución de 100 ppm De Fe, Zn, Cu, y Mn.	Aforar con agua ^a ml	Concentración de Fe, Zn, Cu, y Mn. ppm
0	50	0
0.5	50	1
1.0	50	2
2.0	50	4
4.0	50	8
8.0	50	16

^a desionizada, en matraz aforado de 50 ml, y 5ml de HClO₄ para mantener la matriz.

Cuadro 17. Intervalo nutrimental promedio de tejido foliar del género *Pinus* reportado en otras investigaciones.

Nutrimentos	Bergmann, 1993 (citado por Tausz <i>et al.</i> .,2003) <i>P. radiata</i>	Todos los pinos (Zolt, 1973 Citado por Touzet 1987)	
		Deficiencia	Crecimiento Optimo
Zn	20-50	5	10-80
Mn	50-500	4	20-800
Cu	4-10	2	4-6
Fe	-	30	45-200

Cuadro 18. Concentración foliar para algunos pinos mexicanos (Gómez, 2003).

Especie	Localidad		Zn	Mn	Cu	Fe
			-----ppm -----			
<i>P. michoacana</i>	Pascuaro Michoacán.	Promedio	23.4	88	2.6	186.5
		Intervalo	17.5-32.1	31.5-472.9	0.4-6.6	114-392
<i>P. pseudostrobus</i>	Michoacán	Promedio	41.8	181.5	6.1	261.5
		Intervalo	32.2-51.4	121.8-241.2	7.3-4.8	161-362
<i>P. patula</i>	Michoacán	Promedio	33.45	435.7	0.9	214.5
		Intervalo	33.1-33.8	131.8-739.5	0.5-1.2	179-250
<i>P. montezumae</i>	Michoacán	Promedio	41.6	80.3	2	214.5
<i>P. ayacahuite</i>	Guerrero.	Promedio	59.9	669.3	0.9	201
<i>P. Greggii</i>	Huachinango Puebla	Promedio	28.5	160.1	1.9	101.7
		Intervalo	10.2-48.1	38.4-298.1	0.2-2.9	45-143
<i>P. Greggii</i>	Meteppec Edo. de Mex.	Promedio	32.6	144.4	2.7	218.7
		Intervalo	15.7-43.7	47.4-216.6	0.1-5.7	59-339

Cuadro 19. Intervalo nutrimental para *Pinus radiata** (Arteaga *et al.*.,1985.)

Nutrimentos	Nivel nutrimental		
	ppm		
	Bajo	Marginal	Satisfactorio
Zn	<5	5-10	>10
Mn	<5	80-200	>10
Cu	<2	2-4	>4
Fe**	<40	50-100	>100

* Hill (1978 citado por Arteaga *et al.*.,1985)

** Leaf (1973 citado por Arteaga *et al.*.,1985) para coníferas en general.

Cuadro 20. Media, intervalo y desviación estándar de nutrimentos en acículas de *Pinus radiata* en Ayototxtla, Guerrero. (Arteaga *et al.*, 1985)

Nutrimentos	Promedio ± D. E.	Intervalo	
		ppm	
		Mínimo	Máximo
Zn	29.67 ± 6	22	48
Mn	120.04 ± 71.41	26	375
Cu	6 ± 1.18	3	9
Fe**	88.02 ± 40.64	46	242

Cuadro 21. Intervalo de concentraciones de micronutrientes en el follaje del Pino Lodgepole del año en curso (Brockley, 2001).

Elemento	Interpretación	Concentración foliar ppm peso seco
Cu	Deficiencia probable	<1
	Deficiencia posible	1 - 3
	Sin deficiencia	>3
Zn	Deficiencia probable	<10
	Deficiencia posible	10 -15
	Sin deficiencia	>15
Fe	Deficiencia probable	<20
	Deficiencia posible	20 - 30
	Sin deficiencia	>30
Mn	Deficiencia probable	<15
	Deficiencia posible	15 - 25
	Sin deficiencia	>25

CUADRO 22. Concentración progresiva de micronutrientes de tejido foliar por zonas de estudio.

ANP	PNIP	PNZA	PNBJ
mg · kg ⁻¹			
1	Zn (169)	Fe (146.6)	Mn(282.1)
2	Fe (150.5)	Mn (144.7)	Fe (114)
3	Mn (110.9)	Zn (129.8)	Zn (85.6)
4	Cu (14.3)	Cu (9.8)	Cu (7.5)

CUADRO 23. Concentración progresiva de micronutrientes de tejido foliar por género.

ANP	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Quercus</i>
mg · kg ⁻¹			
1	Mn (148.4)	Fe (200)	Mn (147.4)
2	Zn (138)	Zn (167)	Fe (139.5)
3	Fe (106.8)	Mn (165)	Zn (105)
4	Cu (8.7)	Cu (16.9)	Cu (14.3)

Cuadro 24. Coeficientes de correlación de nutrientes foliares con diferentes propiedades de suelo del PNBJ.

	Zn	Mn	N:Mn
	-----r-----		
pHaquo		-0.80151	-0.64489
DA	-0.74888		
EP		-0.99847	

P ≤ 0.05

pHapuo = pH acuoso, DA= densidad aparente, EP= espacio poroso.

Cuadro 25. Coeficientes de correlación de nutrientes foliares con diferentes propiedades de suelo del PNZA.

	Zn	Mn	Fe	N:Zn	N:Mn	P:Zn	P:Mn	N:Fe	P:Fe
	-----r-----								
pHaquo		-0.51324		0.49044	0.48048	0.44862			
DA			0.66070					-0.58468	-0.58468
EP	0.53740		-0.70146			-0.57043			
Limo			-0.66814						
Arcilla							-0.47839	0.69059	
Arena			0.76399					-0.66685	

P ≤ 0.05

pHapuo = pH acuoso, DA= densidad aparente, EP= espacio poroso.

Cuadro 26. Coeficientes de correlación de nutrientes foliares con diferentes propiedades del suelo del PNIP.

	Mn	Fe	N:Mn	P:Zn	N:Fe
	-----r-----				
pHaquo		0.54024			-0.52965
Limo			0.43051	0.52613	
Arcilla				0.61421	
Arena				-0.60560	

P ≤ 0.05

pHaquo = pH acuoso.

Cuadro 27. Coeficientes de correlación de nutrientes foliares del PNB

	Cu	Fe	Zn	N:Zn	P:Zn	N:Cu	P:Cu	P:Mn	N:Mn	N:Fe	P:Fe
	-----r-----										
Cu				0.97516						0.75831	0.83188
Fe	-0.63897			-0.64387						-0.79806	-0.76843
Zn					-0.62308	-0.78081					
P:Zn			-0.62308			0.70588	0.90156				
N:Cu	-0.78231			-0.78081			0.82729			-0.73247	-0.68554
N:Fe	0.75831	-0.79806		0.77687		-0.73247	-0.61894				-0.96106
N:Zn										0.77687	0.80880
N:Mn								0.92005			
P:Mn									0.92005		
P:Cu					0.90156	0.82729				-0.61894	
P:Fe						0.68554				0.96106	

Cuadro 28. Coeficientes de correlación de nutrientes foliares del PNZA.

	Cu	P:Zn	N:Cu	P:Cu	N:Mn	P:Mn	N:Fe	P:Fe
	-----r-----							
Cu			-0.74267	-0.69067				
Fe	0.57983		-0.59987				-0.82412	-0.69829
Zn		-0.65315						
Mn					-0.68323	-0.57862		

P ≤ 0.05

Cuadro 29. Coeficientes de correlación de nutrientes foliares del PNIP.

	Cu	Fe	Zn	N:Zn	P:Zn	N:Cu
	-----r-----					
Cu		0.56533	0.93456	-0.66730	-0.46149	-0.70714
Fe			0.64312		-0.29538	
Zn	0.93456	0.64312		-0.72969	-0.63693	-0.67804

P ≤ 0.05

Cuadro 30. Relación de elementos foliares de macronutrientes y micronutrientes en tejido foliar en Pino Lodgepole (calculado de Brockley, 2001).

Elemento	Interpretación	Proporción	
		N: Micronutriente	P: Micronutriente
Cu	Deficiencia probable	10 000:1	800:1
	Sin deficiencia	4500:1	400:1
Zn	Deficiencia probable	1000:1	80:1
	Sin deficiencia	900:1	80:1
Fe	Deficiencia probable	500:1	40:1
	Sin deficiencia	450:1	40:1
Mn	Deficiencia probable	666:1	53:1
	Sin deficiencia	540:1	48:1

Cuadro 31. Relación de nutrientes de tejido foliar para cada zona de estudio.

ANP		N:Zn	N:Mn	N:Cu	N:Fe	P:Zn	P:Mn	P:Cu	P:Fe
PNBJ	X ± DE	15:1 ± 6	7:1 ± 6	165:1 ± 46	14:1 ± 9	134:1 ± 93	68:1 ± 79	1455:1 ± 921	113:1 ± 75
	Intervalo	7:1-26:1	2:1-22:1	103:1-254:1	4:1-34:1	65:1-326:1	11:1-270:1	707:1-3841:1	29:1-244:1
PNZA	X ± DE	63:1 ± 22	75:1 ± 40	984:1 ± 514	71:1 ± 47	11:1 ± 4	15:1 ± 13	166:1 ± 85	13:1 ± 11
	Intervalo	35:1-107:1	14:1-190:1	414:1-1723:1	13:1-188:1	5:1-11:1	2:1-57:1	49:1-361:1	4:1-40:1
PNIP	X ± DE	57:1 ± 17	102:1 ± 61	1319:1 ± 744	69:1 ± 47	10:1 ± 5	17:1 ± 11	207:1 ± 124	11:1 ± 5
	Intervalo	23:1 – 88:1	34:1-299:1	122:1-2927:1	32:1-114:1	2:1-21:1	4:1-50:1	21:1-436:1	3:1-23:1

Cuadro 32. Relación de nutrientes de tejido foliar en las zonas de estudio.

	N:Zn	N:Mn	N:Fe	N:Cu	P:Zn	P:Mn	P:Fe	P:Cu
ANP								
PNBJ	15:1	7:1	13:1	165:1	134:1	68:1	113:1	1455:1
PNZA	63:1	75:1	71:1	983:1	11:1	15:1	13:1	166:1
PNIP	41:1	79:1	64:1	1010:1	11:1	20:1	16:1	257:1
Media ± DE	40:1 ± 24.0	53:1 ± 40.2	50:1 ± 31.5	719:1 ± 480.6	52:1 ± 71.2	34:1 ± 29	47:1 ± 56.8	626:1 ± 719.5
Intervalo	15:1- 41:1	7:1- 79:1	13:1- 71:1	165:1- 1010:1	11:1- 134:1	15:1-68:1	13:1-113:1	166:1-1455:1

Cuadro 33. Relación de nutrimentos de especies del género *Pinus* en las zonas estudio.

Especie	ANP	N:Zn	N:Mn	N:Fe	N:Cu	P:Zn	P:Mn	P:Fe	P:Cu
<i>P. Sp.</i>	PNZA	48:1	75:1	101:1	1292:1	9:1	15:1	19:1	222:1
<i>P. montezumae</i>	PNBJ	12:1	4:1	19:1	168:1	85:1	27:1	134:1	1198:1
<i>P. montezumae</i>	PNIP	53:1	252:1	88:1	822:1	8:1	40:1	14:1	135:1
<i>P. teocote</i>	PNBJ	15:1	7:1	10:1	157:1	135:1	61:1	97:1	1470:1
<i>P. teocote</i>	PNIP	45:1	121:1	89:1	1308:1	11:1	26:1	15:1	226:1
<i>P. hartweggi</i>	PNIP	64:1	74:1	89:1	1582:1	8:1	5:1	8:1	162:1
<i>P. pseudostrobus</i>	PNIP	57:1	87:1	65:1	1090:1	11:1	17:1	13:1	215:1
<i>P. ayacahuite</i>	PNIP	64:1	66:1	59:1	1518:1	11:1	11:1	10:1	264:1
<i>P. patula</i>	PNIP	60:1	114:1	73:1	1331:1	13:1	24:1	16:1	286:1
X ± DE		46:1 ± 19.7	89:1 ± 73.5	66:1 ± 31.9	1030:1 ± 539.7	32:1 ± 45.8	25:1 ± 16.7	36:1 ± 45.9	464:1 ± 499.8
intervalo		12:1-64:1	4:1-252:1	10:1-101:1	157:1-1582:1	8:1-135:1	5:1-61:1	8:1-134:1	135:1-1470:1

Cuadro 34. Relación de nutrientes de tejido foliar de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schtdl & Cham para cada zona de estudio.

ANP		N:Zn	N:Mn	N:Cu	N:Fe	P:Zn	P:Mn	P:Cu	P:Fe
PNIP	X ± DE	77:1± 20	77:1± 24	1411:1± 1053	53:1± 20	10:1± 7	13:1± 5	199:1± 157	8:1± 5
	Intervalo	23:1-88:1	39:1-14:1	122:1-2927:1	32:1-82:1	4:1-22:1	4:1-23:1	21:1-436:1	4:1-20:1
PNZA	X ± DE	55:1± 7	51:1±23	719:1± 456	44:1± 21	10:1± 3	10:1±5	107:1± 27	7:1± 1
	Intervalo	2:1-70:1	15:1-77:1	291:1-1296:1	19:1-68:1	6:1-13:1	2:1-16:1	84:1-140:1	5:1-8:1

Cuadro 35. Relación de nutrientes de tejido foliar de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schtdl & Cham entre las zonas de estudio.

	N:Zn	N:Mn	N:Fe	N:Cu	P:Zn	P:Mn	P:Fe	P:Cu
ANP								
PNZA	55:1	51:1	107:1	719:1	10:1	10:1	7:1	107:1
PNIP	59:1	77:1	53:1	1411:1	10:1	13:1	8:1	199:1
X ± DE	57:1±3.0	64:1± 19:1	80:1±38:1	1065:1±490:1	10:1±0.2	11:1±2.3	7:1±0.7	153:1±65.2
Intervalo	54.8- 59	51:1- 77:1	53:1- 107:1	719:1- 1411:1	10:1- 10:1	10:1-13:1	7:1-8:1	107:1-199:1

Cuadro 36. Relación de nutrientes de tejido foliar del género *Quercus* en el PNZA.

Especie	N:Zn	N:Mn	N:Fe	N:Cu	P:Zn	P:Mn	P:Fe	P:Cu
<i>Quercus sp</i>	100:1	124:1	93:1	1446:1	17:1	22:1	16:1	253:1
<i>Quercus sp</i>	71:1	86:1	.	.	7:1	9:1	.	.
<i>Quercus sp</i>	103:1	120:1	66:1	515:1	10:1	11:1	6:1	49:1
<i>Quercus sp</i>	107:1	48:1	.	.	15:1	7:1	.	.
<i>Quercus sp</i>	88:1	40:1	.	.	16:1	7:1	.	.
X± DE	94:1±14.6	84:1±39.1	79:1±19.2	981:1±658.5	13:1±4.3	11:1±6.2	11:1±7.1	151:1±144.3
intervalo	71:1-107:1	40:1-124:1	66:1-93:1	515:1- 1446:1	7:1-17:1	7:1-22:1	6:1-16:1	49:1-253:1

11. Literatura citada.

Alvarado, R.D., De la Isla, B.M.L., Galindo, A.J. 1993. Decline of sacred fir *Abies religiosa* in a forest park Routh of México City, Enviromental pollution. 80:115-121.

Aguilera, H. N. 1989. Tratado de edafología de México. Tomo I. Laboratorio de edafología. Facultad de Ciencias. UNAM. pp.94-95.

Allan, J. E. 1971. The preparati6n of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, Walnut Creek, California.

Arteaga, M. B., Etchevers, J. D., Haller, V. V. 1985. Diagnostico del estado nutricional de plantaciones forestales: I. Deficiencias nutricionales de *Pinus radiata* D. Don en Ayototxtla, Guerrero. Agrociencia. 60: 61-73.

Blanco, Z. S., Ceballos, G. G., Galindo, L. C., Maas, M. J., Patr6n, S. R., Pescador, A., Su6rez, G. A. 1981. Ecología de la Estaci6n Experimental Zoquiapan. Colecci6n Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía No.2. Direcci6n de Difusi6n Cultural Departamento de Bosques. Chapingo, México.

Bockheim, J. G. 1991. Suelos forestales. In: Young R.A.(ed.). Noriega Editores. México.

Brockley, R. 2001. Foliar Sampling Guidelines and Nutrient Interpretative Criteria for Lodgpole Pine. Research Branch BC. Ministry of Forest Kalamaika Forestry Centre, British Columbia. Extension Note.

Cibrian, t.D. 1989. Air pollution and forest decline near México City. Enviromental Monitoring and Assesment.12;49-58.

Challenger, A. 1998. Utilizaci6n y Conservaci6n de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y futuro. CONABIO, Instituto de Biología, UNAM, Agrupaci6n Sierra Madre.

CONAFOR.2008. en <http://www.conafor.gob.mx>. Consultado el 17 de mayo del 2008.

CONANP.2008. en <http://iztapopo.conanp.gob.mx/infbasica.php>. Consultado el 5 de julio de 2008.

Cruz, F. G. 2003. Mecanismos de adaptación de la raíz de cereales ante estrés nutrimental en suelos ácidos. Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM.

Cruz, F. G. 2006. Ecología del suelo: un enfoque hacia la nutrición mineral de las plantas. Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.

Domínguez, R. I., Aguilera, N. H. 1987. Metodología de análisis físicos y químicos de suelos. Facultad de Ciencias, UNAM.34p.

Donahue, R. L., Miller, R. W., Shickluna, J. C. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Prentice/Hall internacional. México.

Eptein, E., Bloom, A. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinaver Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts.

Etchevers, B. J. 1987. Análisis químicos de plantas. Aspectos teóricos. Colegio de Posgraduados, Montecillo, COLPOS. Chapingo, México.

Etchevers, B. J. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. Tomo 3, Colegio de Posgraduados, Montecillo, COLPOS, Chapingo, México.

Fitzpatrick, E. A. 1985. Suelos su formación, clasificación y distribución. CECSA. 2ª Edición. México. pp.151.

García, H. S. 2003. Indicadores de calidad del suelo y estado nutrimental de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham, en la exposición occidente de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Tesis de Licenciatura. FEZ Zaragoza. UNAM.

Gómez, P. A. 1985. Los recursos bióticos de México. INIREB y Alambra Mexicana. México.

Gómez, G. A. 2003. Análisis de vectores: un método práctico para evaluar la respuesta a la fertilización de especies forestales. Reporte Técnico 1 y 2. Programa Forestal, Gerencia regional IV Balsas. Colegio de Posgraduados - IRENAT, Montecillo, México.

Granados, S. D., López, G. F., Hernández, M. A., Sánchez, A. 2004. Ecología de la Fauna Silvestre de la Sierra Nevada y la Sierra del Ajusco. Revista Chapingo. Serie Ciencias del Ambiente. Vol.10, número 002. Chapingo, México.

Granados, D. M. R. 2003. Calidad del suelo y estado nutrimental del género *Pinus* en la vertiente occidental del Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Tesis de Licenciatura. FEZ Zaragoza. UNAM.

González, R. R. 1993. La diversidad de los encinos mexicanos. Rev. Sociedad Mexicana de Historia Natural. XLIV.

Hernández, G. R. Libro de botánica on line. 2002. Disponible en <http://www.fores.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral>. Consultado el 15 de abril de 2008.

Iglesias, A. L. G., Tivo, F. Y. 2006. Caracterización morfo métrica de la población de *Pinus hartwegii* Lind del Cofre de Perote, Veracruz, México. Ra Ximhai. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable; mayo-agosto, Vol.2, Número 2. Universidad Autónoma Indígena de México. Machichahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 449-468.

http://iztapopo.conanp.gob.mx/prob_np.php consultado el 20 de abril de 2008.

Jackson, M. L. 1982. Análisis químicos de suelos. Omega 4a ed. Barcelona España.

LGEEPA, Ley general de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental. SEMARNAT, 2006.

López, L. M. A. 1993. Evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, D. F. Tesis de Maestría. Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Montecillo. Estado de México.

López, M., Velázquez, J, Velázquez, A., González, V., Cetrina V. M. 1998. Estado nutrimental de *Abies religiosa* en un área con problemas de contaminación ambiental. Agrociencia 32: 53-59.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press- Londres.

Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Ed. Botas. 3^a edición. México.

Mengel, K., Kirkby. 1982. Principles of plants nutritions. International Potash, Berna Suiza. 593 p.

Mortvedt, J. J. 1983. Micronutrientes en agricultura. AGT Editor, S.A. México.

NOM-021-RECNAT-200-SEMARNAT.

Palmer, G. R. & Trouch. 1989. Introducción a la ciencia del suelo. Manual de laboratorio. AGT. Eds. México.

Pritchett, W. L. 1986. Suelos Forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México.

Pritchett, W. L. 1991. Suelos Forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa. México.

Rivera, A. R., López, M. A. Campos, R. 2006. Nutrición y síntomas de declinación de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham en el Desierto de los Leones, D.F. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 12(2)145-150.

Rodríguez, F. H. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Trillas, México.196p.

Rzedowski, J. 1981. Vegetación de México. Limusa. México.

Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Limusa. México.

SARH. 1993. "Diagnóstico del Parque Nacional Benito Juárez en el Estado de Oaxaca". Delegación Estatal Oaxaca. Oaxaca, Oax.

Sampat, A. G. 1982. Física de suelos. Limusa. México.

SIRE (Sistema de Información para la Reforestación en México) 2007. CONABIO, PRONARE, Paquetes tecnológicos.

Soriano, E. G. B. 2006. Levantamiento nutricional de los géneros *Pinus* y *Abies* en bosques templados de México. Tesis de Licenciatura. FEZ-Zaragoza. UNAM.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. UTEHA, México, 760p.

Tausz, M., Trumer, W., Wonisch, A., Goessler, W., Grill, D., Jimenez, M. S., Morales, D. 2003. A Survey of foliar Mineral Nutrient Concentrations of *Pinus canariensis* at Field plots in Tenerife. Forest Ecology and Management.

USDA, 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classifications for Making and Interpreting Soil Surveys.

Valderrábano, G. J. M. 2005. Calidad del suelo y estado nutrimental de la vegetación forestal en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas. Tesis de Licenciatura. FEZ-Zaragoza. UNAM.

Vargas, M. F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM.

World Reference Base for Soil Resources, 1994. Wageningen/ Rome. Compiled and edited by O.C. Spaargaren.