



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**Facultad de Estudios Superiores “Zaragoza”**

**“Levantamiento nutricional de los géneros *Pinus* y  
*Abies* en bosques templados de México”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G A**

**P R E S E N T A:**

**Graciela Belem Soriano Espinosa**



Director de Tesis: Dr. Gerardo Cruz Flores  
FES Zaragoza, UNAM  
Proyecto financiado por DGAPA PAPIIT IN-228403



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## AGRADECIMIENTOS

*Este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda desinteresada de las personas que a continuación mencionare, de antemano mis más sinceros agradecimientos a cada uno de ustedes.*

*A la UNAM. por su generosidad, grandeza y sobre todo por sentir el orgullo de ser parte de esta gran comunidad universitaria.*

*A la FES Zaragoza, por todo lo aprendido en las aulas, laboratorios, biblioteca y salidas a campo.*

*A mis padres: Adolfo Soriano Cruz y Graciela Espinosa Lara, por su apoyo incondicional, consejos y valores que me han infundado desde siempre, he aprendido que para conseguir lo que uno quiere siempre hay que hacerlo con trabajo, honradez y humildad, son grandes, un ejemplo a seguir.*

*Al Dr. Gerardo Cruz Flores por su valioso apoyo para la elaboración de esta tesis y por ser una de las personas que más ha contribuido en mi formación académica.*

*A la M. en C. Lourdes Castillo Granada responsable del Laboratorio de Absorción Atómica., quien colaboró en las lecturas de K, Ca y Mg.*

*Al jurado: Dr. Gerardo Cruz, Biól. Elvia García Santos, a los M. en C, Ma. de Jesús Sánchez Colín, Efraín Angeles Cervantes y Carlos Castillejos Cruz, sus comentarios y observaciones muy atinadas mejoraron y enriquecieron este trabajo.*

*A mis compañeros del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, Tania, Arturo, Claudia, Francisco Alfredo, Iván y Keta, por las salidas a campo tan divertidas, por su ayuda en el análisis experimental y a Kike quien colaboró en el análisis estadístico; este trabajo también es suyo.*

*A mis amigos: ustedes saben quienes son, gracias por escucharme y estar conmigo en todo momento, su amistad lo hizo más fácil.*

**GRACIAS.**

## ÍNDICE TEMÁTICO

	Página
INDICE DE FIGURAS	iii
INDICE DE CUADROS	v
Resumen	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	3
2.1 El suelo	3
2.2 Funciones del suelo	3
2.3 Calidad del suelo	4
2.4 Indicadores de la calidad del suelo	5
2.4.1 Indicadores físicos	6
2.4.2 Indicadores químicos	6
2.4.3 Indicadores biológicos	6
2.5 Evaluación de la calidad del suelo	8
2.6 Concepto de levantamiento nutricional	9
2.7 Análisis químico de planta	9
2.7.1 Interpretación del análisis químico de plantas	12
2.7.2 Niveles de concentración nutrimental en plantas	12
2.8 Nutrición vegetal	14
2.8.1 Criterios de esencialidad	14
2.8.2 Funciones de los nutrimentos	16
2.8.3 Características de algunos nutrimentos esenciales	16
3.1 El género <i>Pinus</i>	20
3.2 Descripción general del género <i>Pinus</i>	20
3.2.1 <i>P. hartwegii</i> Lind.	21
3.2.2 <i>P. montezumae</i> Lamb.	22
3.2.3 <i>P. ayacahuite</i> Ehren.	23
3.2.4 <i>P. douglasiana</i> Martínez	24
3.2.5 <i>P. teocote</i> Schiede et Cham.	25
3.2.6 <i>P. patula</i> Schltd et Cham	26
3.2.7 <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. var <i>pseudostrobus</i>	27
3.2.8 <i>Abies religiosa</i> (H.B.K.) Schlecht. et Cham	28

---

3. HIPÓTESIS	29
4. OBJETIVOS	29
5. ZONAS DE ESTUDIO	30
5.1 Bosque de <i>Pinus</i>	31
5.2 Bosque de <i>Abies</i>	32
5.3 Parque Nacional Iztacíhuatl Popocatepetl	33
5.4 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	34
5.5 Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán	35
5.6 Parque Nacional "Benito Juárez"	37
5.7 Subprovincia Fisiográfica "Mil Cumbres"	38
6. MATERIALES Y MÉTODOS	40
6.1 Delimitación de la zonas de estudio	40
6.2 Fase de campo	40
6.2.1 Toma de la muestra de suelo	41
6.2.2 Toma de la muestra foliar	42
6.3 Fase experimental	43
6.3.1 Análisis químico de planta	44
6.3.2 Análisis físico y químico del suelo	44
6.4 Fase de gabinete	45
6.5 Diagrama de flujo	46
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
7.1 Descripción fisiográfica general de las zonas de estudio	47
7.2 Propiedades físicas del suelo	51
7.3 Propiedades químicas del suelo	56
7.4 Estado nutrimental del género <i>Pinus</i>	62
7.5 Comparación del estado nutrimental entre especies del género <i>Pinus</i>	68
7.6 Estado nutrimental del género <i>Abies</i>	72
7.7 Diferencias entre géneros	75
8. CONCLUSIONES	77
9. LITERATURA CITADA	79
10. APÉNDICE	83

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Principales componentes de la calidad del suelo	4
2. Representación gráfica del concepto de calidad del suelo, las funciones y sus indicadores	8
3. Rama y bosque de <i>P. hartwegii</i> , en PN-IP	22
4. <i>P. montezumae</i> Lam. en PNB, Oaxaca	23
5. <i>P. ayacahuite</i> Ehren	24
6 <i>P. teocote</i> Schiede et Cham	25
7. <i>P. patula</i> Schl. Et Cham	26
8. <i>P. pseudostrabus</i> Lindl. var. <i>pseudostrabus</i>	27
9. <i>A. religiosa</i> en el Santuario de la Mariposa Monarca en el Rosario, Michoacán	28
10. Distribución del recurso forestal en la República Mexicana	30
11.. Panorámica del Parque Nacional Izta-Popo y Zoquiapan y Anexas	33
12. Bosque de <i>P. douglasiana</i> en la estación científica "Las Joyas " en RBSM	37
13. Panorámica de bosque de <i>Pinus</i> , rumbo a la ciudad de Oaxaca	38
14. Vista panorámica del Nevado de Toluca en la Subprovincia Fisiográfica Mil Cumbres	39
15. Toma de muestras de suelo de 0.2 m de profundidad y con el cilindro	41
16. Toma de la muestra foliar en árboles con altura > a 25m.	42
17. Estufa Felisa y Molino Thomas Scientific	42
18. Digestión para determinar N total (Transformación de N orgánico a inorgánico)	43
19. Destilación por arrastre de vapor, para obtener el N en forma de $\text{NH}_4^+$	43
20. Extracto vegetal, desarrollo del color y espectrofotómetro de luz visible	43
21. Lecturas de K, Ca y Mg en el espectrofotómetro de absorción atómica	44

---

22. Bosque de <i>P. hartwegii</i> en asociación con zacatonal en Raíces, Estado de México	60
23. Tala en San Cayetano, Villa de Allende, Estado de México	61
24. Ocoteo en Tlalixtac e Ixtepeji, Oaxaca	66
25. Materia Orgánica del Suelo (MOS) y N del suelo	58
26. MOS y P disponible	58
27. Estado nutrimental del género <i>Pinus</i> en las zonas estudio	65
28. Concentración nutrimental de N, P, K, Ca y Mg en especies del género <i>Pinus</i> en cinco zonas del país con bosques templados	70
29. Estado nutrimental de <i>Abies religiosa</i> en las zonas de estudio	73
30. Concentración nutrimental promedio general de <i>Abies religiosa</i> en cinco bosques de México	75
31. Comparación del estado nutrimental entre los géneros <i>Abies</i> y <i>Pinus</i> de bosques templados: PN-IP, SPF-MC, PN-BJ, RBSM y PN-ZA	75

---

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Indicadores de calidad del suelo y procesos con los que se relacionan	9
2. Esencialidad en estructura y función de nutrimentos de las plantas	18
3. Síntomas visuales de deficiencias nutrimentales en coníferas	25
4. Descripción fisiográfica de las zonas de estudio	67
5. Propiedades físicas del suelo, valores promedio de las ANP	70
6. Propiedades físicas del suelo en los sitios de estudio	71
7. Propiedades químicas del suelo, valores promedio en las cinco zonas de estudio	76
8. Propiedades químicas del suelo en las zonas de estudio	77
9. Comparación de los nutrimentos contenidos en tejido foliar en <i>Pinus</i> entre ANP	81
10. Intervalos de suficiencia nutrimental en <i>Pinus</i> , reportados en investigaciones anteriores.	83
11. Concentración de macronutrientes en tejido foliar en porcentaje de peso seco en <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> y <i>Cupressus</i> presentes en la Columbia Británica.	84
12. Estado nutrimental promedio de las especies estudiadas del género <i>Pinus</i>	86
13. Estado nutrimental de los pinos estudiados en las ANP	70
14. Concentraciones foliares para algunos pinos de México	71
15. Estado nutrimental de <i>Abies religiosa</i> (H.B.K.)Schltdl. & Cham en las ANP	72
16. Intervalos de <i>Abies religiosa</i> , reportados en investigaciones anteriores y en el presente estudio.	74
17. Intervalos de suficiencia y deficiencia nutrimental en <i>Abies religiosa</i>	74
18. Coeficientes de correlación entre los contenidos de nutrimentos en tejido foliar de las especies estudiadas.	76



## RESUMEN

Con el objetivo de determinar su estado nutrimental se realizó un levantamiento nutricional en diferentes bosques templados de pino-oyamel ubicados en los Parques Nacionales Zoquiapan y Anexas (PN-ZA), Izta-Popo (PN-IP), "Benito Juárez (PN-BJ), Subprovincia Fisiográfica "Mil Cumbres" (SPF-MC) y la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM) desarrollados en suelos con pendientes pronunciadas y que a pesar de su diferente origen geológico tienen en común: acidez moderada, altos porcentajes de materia orgánica y porosidad, textura predominantemente franco arenosa y bajos porcentajes en Ca, Mg y K, propiedades del suelo, que fueron determinadas en muestras colectadas entre 0 y 0.2 m de profundidad.

En lo referente al bosque de pino-oyamel, las especies encontradas fueron *Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. pseudostrabus*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite*, *P. patula*, *P. douglasiana* y *Abies religiosa*, se recolectaron muestras foliares de los dos últimos años; en cuadrantes de 50x25 m, seleccionando al azar 5 individuos de la(s) especie(s) presente(s), se formaron muestras compuestas y se trasladaron al laboratorio para su análisis químico. Se determinó el N con el método semimicro-kjeldahl; P con el método vanadato-molibdato, el Ca y Mg se determinaron por absorción y el K por emisión atómica.

En especies del género *Pinus*, se encontró al N deficiente (D) en la RBSM, suficiente (S) en el PN-BJ, en nivel de crecimiento óptimo (co) en PN-IP y alto (A) en PN-ZA y SPF-MC. El P se encontró (S) en el PN-IP, nivel de co en la RBSM y (A) en el PN-IP, SPF-MC y PN-BJ. El K fue encontrado en nivel (D) excepto en el PN-ZA donde estuvo en nivel de co, en tanto que el Mg fue (S) en el PN-IP, nivel de co en PN-BJ y RBSM; y (A) en SPF-MC y PN-ZA.

Al comparar los macroelementos esenciales entre especies de pinos, se encontró que *P. hartwegii* tuvo la mayor concentración de N; *P. montezumae* el de P; *P. patula* el de K y Ca y *P. ayacahuite* el de Mg.

En general las concentraciones de N, P, Ca y Mg se clasifican en un nivel nutrimental (A) mientras que el K fue (D), en el caso de que se tuviera que suministrar nutrimentos la jerarquía de necesidad de nutrimentos sería: K>Ca>Mg> N>P.

Respecto a *Abies religiosa* se encontró el porcentaje de N foliar alto (A) en PN-IP, SPF-MC y PN-BJ; bajo (B) en la RBSM y el PN-ZA, el P fue suficiente (S) en los PN-IP, PN-ZA y SPF-MC; (A) en PN-BJ y RBSM, el K fue (B) en todas las zonas, el Ca se encontró (A) en el PN-IP y RBSM; (S) en SPF-MC y (B) en el PN-ZA, en tanto que el Mg fue suficiente excepto en PN-BJ que fue (B), en general tanto N como P estuvieron en un nivel nutrimental alto, el K bajo y en nivel suficiente Ca y Mg, en el caso de un suministro de nutrimentos se tomaría en cuenta primero al K>Mg>Ca>N>P.

**Palabras clave:** *Pinus*, *Abies*, estado nutrimental, levantamiento nutricional, Parques Nacionales

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una gran necesidad de generar información sobre requerimientos nutrimentales para las principales especies forestales de México, debido a que no existen criterios estandarizados para evaluar el estado nutricional de las coníferas, esta falta de información dificulta el diagnóstico nutricional de los bosques y la puesta en marcha de programas de fertilización efectiva o estudios científicos relacionados con su nutrición (López y Estañol, 2004).

El objetivo general de esta investigación fue estudiar las concentraciones de los principales nutrimentos (N, P, K, Ca, y Mg) en tejido foliar mediante el análisis químico y con ello proponer estándares de deficiencia o suficiencia nutrimental en especies de los géneros *Pinus* y *Abies*, en cinco zonas de estudio con bosques templados: Parque Nacional (PN) Izta-Popo, PN Zoquiapan y Anexas, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, PN "Benito Juárez"; y Subprovincia Fisiográfica Mil Cumbres. Conjuntamente con la determinación de niveles nutrimentales en follaje, también se hizo la caracterización del suelo, mediante el análisis físico y químico del suelo como herramienta del diagnóstico nutricional de los bosques.

Los incendios forestales, plagas, tala clandestina, ocoteo, cambio del uso del suelo, cambio climático, contaminación atmosférica, ganadería extensiva, erosión, deficiencia nutrimental y otros han ocasionado en los últimos años la pérdida de extensas áreas de bosques, atendiendo a esta situación de emergencia, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), ha impulsado programas de reforestación mediante el establecimiento de plantaciones comerciales. Con el conocimiento de las necesidades nutrimentales de las coníferas, llamado "estándar de requerimiento nutrimental" se

puede incrementar eficazmente la productividad de plantaciones comerciales en México, como alternativa para resolver la deforestación, problema ambiental que se ha agudizado en los últimos años.

Esta investigación contribuye al conocimiento de los requerimientos de N, P, K, Ca y Mg en los géneros *Pinus* y *Abies*, además de informar cuales son las propiedades físicas y químicas del suelo que influyen en el estado nutrimental de estos bosques, se espera que la información generada sea de gran valor e interés ya que poca es la información existente en México que aborde el tema en especies forestales.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 EL SUELO

Los componentes del suelo incluyen materiales minerales (arena, limo, arcilla), materia orgánica, agua, gases y organismos vivos (Brady y Weil, 1999). La tendencia moderna con un enfoque ecológico, visualiza el suelo como un cuerpo viviente, natural, dinámico y vital para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Doran y Parkin, 1994). La tasa de formación del suelo es de aproximadamente 1 cm por cada 100 a 400 años, por la interacción del clima, topografía, biota y material parental, por ello se considera que es un recurso no renovable en la escala humana de tiempo. Para Doran y Parkin (1994) el suelo es un sistema vivo y dinámico cuya función primordial es mantener la biodiversidad, la calidad del aire, del agua, la salud humana, el hábitat y la productividad de las especies vegetales que en él se establecen. El Soil Survey Staff (1998) lo define como un cuerpo natural formado por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, que ocurren sobre la superficie de la tierra, ocupa un espacio y tiene una o ambas de las siguientes características: horizontes o capas que se diferencian del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, además de poder mantener una masa forestal, una rotación de cultivos, o bien de funcionar como depurador natural (Porta *et al.*, 1999 citado por Bautista, 2001).

### 2.2 FUNCIONES DEL SUELO

El suelo desempeña papeles clave o servicios ambientales en los ecosistemas terrestres:

1. Mantiene el desarrollo de plantas superiores y suministra los nutrientes que necesitan.
2. Controla el destino del agua en el sistema hidrológico y su purificación.
3. Funciona como un sistema natural de reciclaje, en él los productos de desecho de plantas, animales y humanos son degradados para luego ser disponibles en forma de nutrimentos para la próxima generación de vida.
4. Proporciona habitats para los organismos vivos, desde mamíferos y reptiles pequeños, hasta insectos y una diversidad de células microscópicas.

5. Actúa como sistema detoxificante de un gran número de productos químicos y residuos industriales producidos por el hombre (Doran y Parkin, 1994; Brady y Weil, 1999).

### 2.3 CALIDAD Y SALUD DEL SUELO

La calidad del suelo ha sido definida como la habilidad o capacidad que tiene éste para funcionar adecuadamente, es decir proporcionar los servicios requeridos por las plantas, los animales y el ambiente, de acuerdo con su uso específico o multifuncional (Doran y Parkin, 1994; Acton y Gregorich, 1995; Karlen *et al.*, 1997; citados por Vergara y Etchevers, 2004).

La calidad del suelo se puede establecer de acuerdo con:

- ♦ La capacidad de un suelo para promover la productividad del sistema, sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sustentable).
- ♦ La capacidad del suelo para atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental).
- ♦ La interrelación entre la calidad del suelo y la salud de plantas, animales y humanos (salud de plantas y animales) (Figura 1).

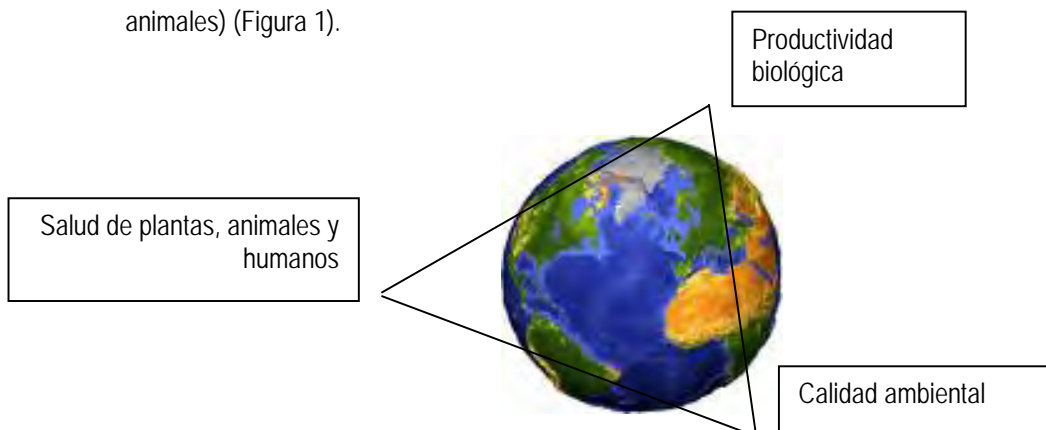


Figura 1. Principales componentes de la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994)

La definición de calidad del suelo se basa no solo en el uso de suelo, sino en las funciones que este desempeña dentro de los ecosistemas naturales y agrícolas. La existencia de múltiples definiciones sugieren que el concepto de calidad de suelo continúa evolucionando (Singer y Swing, 2000 citados por Bautista, 2001).

La calidad del suelo debe definirse en términos de distintos manejos y condiciones ambientales específicas, las condiciones incluyen juicios de valor social, económico y biológico. Es necesario contar con descriptores que representen fielmente los cambios y tendencias (indicadores) los cuales deben ser usados para monitorear y evaluar los programas, con el objetivo de poder hacer comparaciones a nivel nacional e internacional, que sean válidas.

La *salud del suelo* es el estado de éste en un tiempo particular, equivalente a las propiedades dinámicas del suelo que cambian en corto tiempo. Ejemplos de propiedades dinámicas del suelo son el contenido de materia orgánica, el número o diversidad de organismos y los constituyentes o productos microbianos. En contraste la calidad del suelo puede ser interpretada como la utilidad del mismo para un propósito específico, en una escala más amplia de tiempo, equivalente a la calidad del suelo intrínseca o estática (Doran y Zeiss, 2000).

#### 2.4 INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

Se llaman indicadores a las propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas, relacionadas con los cambios que se producen en el suelo. Los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, tienen aplicación en múltiples campos del conocimiento (Adriaanse, 1993 citados por Vergara y Etchevers, 2004).

De acuerdo con Hunnmayer *et al.*, (1997), citado por Vergara y Etchevers (2004), los indicadores de calidad en el suelo permitirían:

- ◆ Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto a su sustentabilidad como medio productivo o recurso natural; importante para la calidad de vida o el mantenimiento de la biodiversidad.
- ◆ Analizar los posibles impactos antes y después de una intervención antrópica.
- ◆ Determinar si el uso del recurso es sustentable.

Los indicadores pueden considerarse herramientas para la toma de decisiones, dan información sobre aspectos críticos y sus consecuencias. Su objetivo es proteger y mejorar la productividad, la calidad del agua, el aire y el hábitat de organismos vegetales y animales, incluido el hombre.

Los indicadores de calidad de un suelo son propiedades físicas, químicas y biológicas de éste, que pueden ser medidas de manera cualitativa o cuantitativa y proveen pistas acerca de si su funcionamiento es adecuado (Vergara y Etchevers, 2004) (Cuadro 1).

2.4.1 Indicadores físicos. Reflejan la manera en que el suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se puedan encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad, capacidad de almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica saturada; son las características físicas que se han propuesto como indicadores de calidad (Karlen y Stoot 1994).

2.4.2 Indicadores químicos. Inciden en la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora y la disponibilidad de nutrimentos para plantas y microorganismos. Se han propuesto los siguientes: pH, conductividad eléctrica, N, P, K extractables, capacidad de intercambio de cationes (CIC), materia orgánica, nitrógeno total y mineralizable, disponibilidad de nutrimentos y el carbono orgánico total y lábil (Doran y Parkin, 1994).

2.4.3 Indicadores biológicos. Se derivan de la presencia de organismos que viven en el suelo realizando funciones esenciales para el mismo, como la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrimentos, la asociación con plantas, la degradación de residuos tóxicos, el control biológico de plagas y enfermedades, la formación de la estructura del suelo y el control de la disponibilidad nutrimental.

Estos indicadores son: poblaciones de lombrices, termitas, nemátodos, materia orgánica, fijación biológica de N, nitrógeno potencialmente mineralizable, tasa de respiración para evaluar actividad microbiana. Sin embargo la biomasa microbiana es la que se usa con mayor frecuencia por ser la que aplica a una gran cantidad de suelos y se lleva a cabo con relativa facilidad (SQI, 1996; Kennedy y Papendick, 1996, citados por Vergara y Etchevers, 2004).

Cuadro 1. Indicadores de calidad del suelo y procesos con los que se relacionan (tomado de Doran y Parkin, 1994 y Karlen y Stoot, 1994).

<i>Indicador</i>	<i>Relación con:</i>
Materia orgánica	Reciclamiento nutrimental, retención de agua, estructura del suelo.
Infiltración	Escurrimiento y lixiviación superficial, eficiencia en el uso de agua, erosión potencial.
Agregación	Estructura del suelo, resistencia a la erosión, emergencia e infiltración.
pH	Disponibilidad nutrimental, absorción y movilidad de pesticidas
Biomasa microbiana	Actividad biológica, reciclaje nutrimental y degradación de pesticidas.
Densidad aparente	Penetración de raíces, espacio poroso, actividad biológica, infiltración de agua.
Profundidad del suelo	Volumen de enraizamiento, disponibilidad de agua y nutrientes.
Conductividad eléctrica (C.E.)	Infiltración de agua, crecimiento de cultivos, estructura del suelo.
Disponibilidad nutrimental	Fertilidad del suelo
Textura	Retención y transporte de agua, erosión del suelo.
N, K y P extractables	Disponibilidad nutrimental, potencial de pérdida de N, productividad biológica.
N potencialmente mineralizable	Abasto potencial de N
Presencia de lombrices	Filtración de agua, fertilidad, contenido de materia orgánica, metales pesados.
Apariencia del cultivo	Presencia de deficiencias y toxicidades, efectos climáticos.
Presencia de costras	Porosidad, velocidad de infiltración.
Color del suelo	Contenido de materia orgánica, origen del material parental.
Presencia de residuos identificables en la superficie	Velocidad de descomposición de la materia orgánica, temperatura y humedad ambiental, actividad microbiana.
Producción de biomasa vegetal	Flujo de nutrientes, estado de la M.O
Biodiversidad regional	Cobertura vegetal, ciclos nutrimentales
Especies indicadoras	Salinidad. acidez, deficiencias nutrimentales
Presencia de malezas	Cambios en el P y K disponibles, hospederos de plagas
Canalillos en superficie	Velocidad de infiltración, tendencia a la erosión, régimen climático.



## 2.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

En la Figura 2 se describen las funciones e indicadores para evaluar la calidad del suelo para ello una vez seleccionados los indicadores del suelo es necesario para fines de comparación, establecer valores de referencia, para poder conocer el grado de calidad del suelo (Seybold *et al.*, 1997). Los índices de calidad deben ser capaces de describir de una manera simple y eficiente, el amplio ámbito de calidades del suelo y al mismo tiempo permitan comparar una condición específica de calidad con otra, pueden ser diferentes pero el índice debe ser sensible al cambio e indiferente al agente que lo provoca. Este es un campo nuevo, la generación de índices de calidad del suelo requiere gran cantidad de trabajo en el presente y en el futuro para hacer estos valores comparables, en suelos desarrollados bajo diferentes condiciones o sometidos a diferentes manejos (Seybold *et al.*, 1997; Cotler, 2003).

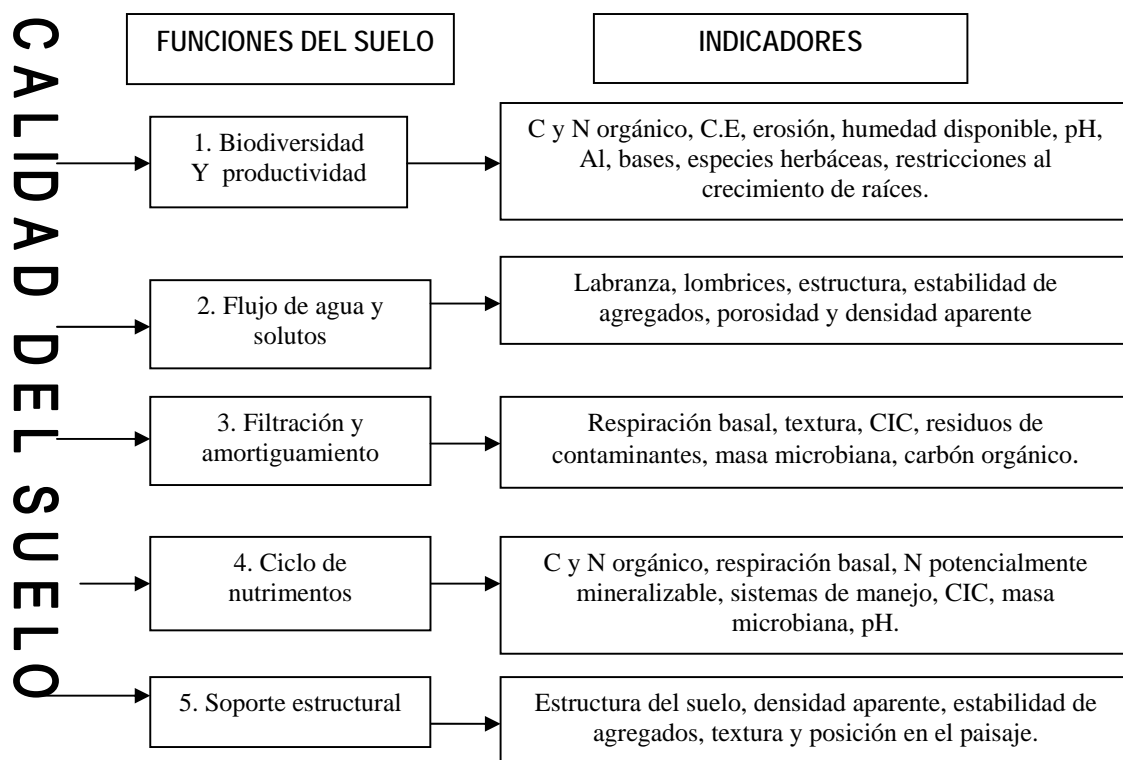


Figura 2. Representación gráfica del concepto de calidad del suelo, las funciones y sus indicadores (Tomado de Seybold *et al.*, 1997).

## 2.6 CONCEPTO DE LEVANTAMIENTO NUTRICIONAL

El levantamiento nutricional es la técnica química cuantitativa que permite estimar el estado nutricional general de vegetación y la fertilidad del suelo, establece estándares de suficiencia o deficiencia en el estado nutricional de la planta y se ha empleado como instrumento de diagnóstico del estado nutricional de las plantas por muchos años (Etchevers, 1987; Specht y Turner, 2006).

## 2.7 ANÁLISIS QUÍMICO DE PLANTA

El análisis químico de plantas es un método útil y conveniente para evaluar el estado nutrimental de sitios forestales, con base en el concepto de que el árbol es el mejor indicador de la disponibilidad de nutrimentos del suelo, ya que estos se reflejan en el follaje, dependiendo el grado en que el árbol es capaz de usarlos en su metabolismo (Brockley, 2001).

El análisis foliar también se le conoce como análisis de tejido vegetal o análisis químico de plantas y es la técnica química cuantitativa que permite medir en el laboratorio la concentración total de un elemento e indirectamente la disponibilidad de nutrimentos en el suelo (Etchevers, 2000). El órgano que se usa con mayor frecuencia con el propósito de diagnosticar el estado nutrimental es la hoja, de ahí que también se llame análisis foliar. Este tipo de análisis debe diferenciarse del análisis rápido de tejidos (Tissue test) que se hace generalmente en campo y mide la concentración de un ión en la salvia (Etchevers, 1987; Specht y Turner, 2006).

Según Etchevers (2000), un adecuado análisis foliar debe cumplir los objetivos que se mencionan a continuación:

1. Diagnosticar o confirmar las deficiencias y/o toxicidad. A menudo los síntomas son difíciles de identificar debido a que varios factores pueden causar síntomas parecidos.
2. Servir como base para hacer recomendaciones de fertilización.
3. Identificar o predecir deficiencias nutricionales que no son aparentes.
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; que el nutriente no fue colocado en el lugar ni en la época adecuada, que ciertas propiedades del suelo hicieron que este reaccionara con otros componentes, o bien 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. A partir de esta información es posible asignar prioridades a los estados nutricionales.

6. 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 nutriente.

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 últimos años, el interés por esta técnica ha aumentado debido a nuevas técnicas analíticas y mayor información para hacer interpretaciones acertadas, existen métodos analíticos y equipos muy sofisticados como espectrofotómetros de absorción atómica y espectrógrafos de emisión que pueden analizar 10 ó más elementos en cuestión de minutos. La demanda de este servicio continuará creciendo a medida que la investigación demuestre las oportunidades existentes en manejo nutricional durante todo el ciclo de crecimiento (Rodríguez, 2002).

Uno de los obstáculos en la estandarización de criterios es la existencia de diferentes técnicas de laboratorio para la determinación de un mismo nutriente. Por otro lado, la exactitud de los datos varía de un laboratorio a otro. Al igual que en el análisis de suelo, una importante fase del análisis foliar es la recolección de muestras. La concentración de nutrimentos varía con la edad del tejido, la parte de la planta que se ha tomado como muestra, la época de colecta, la posición del follaje dentro de la copa del árbol, la variedad, el clima y otros factores.

Por lo tanto, es importante seguir las instrucciones que permiten un apropiado muestreo foliar. Gómez (2007) en un trabajo para la CONAFOR, recomienda la necesidad de estandarizar el muestreo del follaje y los procedimientos para determinar suficiencia, deficiencia y respuesta de nutrimentos en las especies forestales.

Para propósitos de diagnóstico nutrimental en especies forestales es recomendable que el follaje se recolecte en otoño, la razón se debe a que la actividad de crecimiento disminuye, las concentraciones de nutrimento son más estables y las acículas han logrado casi el total de acumulación de biomasa (Powers, 1984; Fisher y Binkley, 2000). Normalmente los análisis foliares en coníferas se han separado por edad de la hoja y en muchos casos se han combinado las hojas del año actual y el anterior. Trabajos en Estados Unidos indican que las hojas de un año de edad son más adecuadas que las hojas nuevas, sin embargo para México, es más recomendable trabajar con follaje del año actual ya que por observaciones directas en campo se ha visto que algunas especies retienen follaje del año previo sólo por periodos cortos. En otros casos el follaje del año anterior está prácticamente inactivo y por esta razón no representaría adecuadamente la concentración nutrimental de los individuos. Los movimientos de nutrimentos como el nitrógeno y el fósforo del tejido viejo al tejido nuevo son rápidos y están influenciadas por la condición nutrimental de las especies (Powers, 1984; Gómez, 2007). 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 dentro de la copa del árbol, se prefiere obtener muestras de follaje con la mayor actividad fotosintética, se recomienda que sea del tercio superior de la copa del árbol. Esta condición no presenta mayor problema en árboles jóvenes, sin embargo en áreas naturales con bosques maduros puede ser difícil, en este caso se puede recurrir a personal especializado que cuente con el equipo apropiado para realizar el muestreo. El muestreo de follaje debe ser de fascículos completamente desarrollados y con una posición favorable para la intercepción de la luz solar. El follaje colectado se seca a una temperatura de 65°C por 72 horas, se procede a pesar el follaje para estimar el peso promedio de las hojas como componente de crecimiento, se recomienda trabajar con un número determinado de hojas.

El peso se toma en cuenta ya que se reduce el error por efecto de dilución (disminución en la concentración de un nutrimento debido a un incremento de carbohidratos o a la remoción del nutrimento del tejido) (Gómez, 2007).

Es importante mencionar que no todas las especies presentan el mismo número de hojas por fascículo y en algunos casos una misma especie puede mostrar variación en el número de acículas, se considera que 300 representan adecuadamente a la especie (Fisher y Binkley, 2000). Una vez determinado el peso de la unidad de crecimiento a emplear, las muestras se muelen y se tamizan en malla del número 0.5 a 1 mm, la finura de la muestra puede variar, va a depender del equipo de cada laboratorio. Realizando futuros trabajos con estos criterios la comparación de datos entre especies y tipos de suelo será más fácil y el conocimiento sistemático de las especies forestales mexicanas se uniformizará (Gómez, 2007).

Actualmente, el análisis foliar está sujeto a extensa investigación, por los especialistas en nutrición vegetal. La constante investigación determina continuamente nuevos parámetros y establece nuevos estándares. Los datos de los análisis foliares deben ser interpretados por técnicos entrenados en este campo, que conozcan todos los factores involucrados en el uso adecuado de esta herramienta. En estas condiciones el análisis foliar es una adición valiosa a las herramientas de diagnóstico ya existentes (Rodríguez, 2002).

### 2.7.1 INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE PLANTA

El fundamento del análisis foliar es la relación que existe entre la concentración de un nutrimento en un órgano específico de la planta, colectado en un momento específico de su desarrollo y el rendimiento de ésta. Los principales criterios para la interpretación de los análisis de tejido foliar son el nivel crítico de deficiencia, la toxicidad y los intervalos de concentración.

## 2.7.2 NIVELES DE CONCENTRACIÓN EN EL ESTADO NUTRIMENTAL DE LAS PLANTAS

Deficiente. Se asocia con síntomas visibles de deficiencia en plantas y con una severa reducción del crecimiento y productividad. Cada vez que se encuentren valores en este rango es preciso tomar medidas inmediatas

Bajo o marginal. Este es el nivel que se asocia con una reducción del crecimiento o producción, pero en el cual la planta no muestra síntomas visibles de deficiencia. Si se observan niveles de este tipo es preciso efectuar cambios en la fertilización.

Adecuado o suficiente. Los cambios que ocurren no provocan aumentos o disminución del crecimiento o producción. Esta clase también se le conoce como intermedia, normal o satisfactoria. Si los valores de un análisis de planta caen en esta clase no es necesario realizar ningún cambio en las prácticas de fertilización.

Alto. Esta clase representa el rango de concentración, de la parte específica comprendido entre el nivel adecuado y tóxico o excesivo. El uso de fertilizantes en las plantas que muestren concentraciones nutrimentales en este rango debe reducirse o suspenderse hasta que estas caigan en el rango adecuado o suficiente.

Tóxico o Excesivo. Es preciso tomar medidas de inmediato. La presencia de concentraciones tóxicas de un nutriente en la parte específica, se asocian generalmente con síntomas de toxicidad y algunas veces con reducción del crecimiento, producción y vigor excesivo (Etchevers, 2000)

## 2.8 NUTRICIÓN VEGETAL.

Es el proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que la rodea las sustancias que le son necesarias para llevar a cabo su metabolismo, desarrollo y crecimiento. Las sustancias requeridas para el desarrollo de las plantas vasculares son exclusivamente de origen mineral o inorgánico.

Los elementos esenciales son dieciséis, el C, H y O se hallan libremente a disposición de la planta en el aire, anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y el agua (H<sub>2</sub>O) que absorben (Buckman y Brady, 1991). (Cuadro 2)

Según la cantidad en los que son requeridos por las plantas, se clasifican en macronutrientes y micronutrientes

- a) Macronutrientes: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S. Son los elementos absorbidos por las plantas en mayores cantidades.
  - macronutrientes primarios: N, P y K
  - macronutrientes secundarios: Ca, Mg y S
- b) Micronutrientes: Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B y Cl. Son elementos que se absorben por la planta en cantidades mínimas, con las que quedan cubiertas sus necesidades.

### 2.8.1 CRITERIOS DE ESENCIALIDAD

- ❖ La falta de un elemento esencial impide a la planta completar su ciclo vegetativo.
- ❖ La falta o deficiencia es exclusiva del elemento en cuestión y sólo puede ser corregida suministrando dicho elemento.
- ❖ El elemento esencial está relacionado directamente con la nutrición de la planta bien por ser constituyente de algunas sustancias esenciales o por participar en funciones vitales de ella (Arnon y Stout, 1939 citados por Quiroz, 2002 )

Cuadro 2. Esencialidad en estructura y función de nutrimentos de las plantas (Arnon, 1974; Marschner, 1995, citado por Cruz, 2000).

Elemento y forma química absorbida	Concentración con base en tejido seco	Funciones
	_____ mg kg <sup>-1</sup> _____	
C, H, O: (CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	C : 45 X 10 <sup>4</sup> H : 6 X 10 <sup>4</sup> O : 45 X 10 <sup>4</sup>	<b>C, H y O:</b> Componentes de todos los compuestos orgánicos: Carbohidratos, Proteínas, Lípidos y Ácidos Nucleicos.  El <b>H</b> 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 <sub>3</sub> <sup>1-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>1+</sup> ) y S (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	N : 15 X 10 <sup>3</sup> S : 1 X 10 <sup>3</sup>	<b>N y S:</b> Constituyentes de las proteínas, de enzimas, compuestos de reserva, y componentes de las biomembranas. El <b>S</b> , 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 <b>Cd</b> y <b>Zn</b> .
P (HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> y H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>1-</sup> ) y N (NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>1+</sup> )	P : 2 X 10 <sup>3</sup>	<b>P y N:</b> Nucleótidos, transferencia de energía (ATP), transferencia de electrones (NADP), información genética (DNA y RNA) y en el metabolismo de las proteínas. Fosfolípidos-membranas fosfato inorgánico - síntesis de ATP.
K (K <sup>1+</sup> )	K : 10 X 10 <sup>3</sup>	<b>Ion Potasio:</b> Cofactor en la activación del funcionamiento de varias enzimas del metabolismo de proteínas y carbohidratos, regulador osmótico y iónico
Ca (Ca <sup>2+</sup> )	Ca : 5 X 10 <sup>3</sup>	<b>Ion Calcio:</b> En complejo con la calmodulina ( <i>proteína moduladas por Ca</i> ) reguladora de actividad enzimática, reguladora de homeóstasis citoplásmica. Está involucrado en la división celular y en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular.
Mg (Mg <sup>2+</sup> )	Mg : 2 X 10 <sup>3</sup>	<b>Ion Mg:</b> Ion central en el complejo clorofila-fotosíntesis. Cofactor de varias reacciones enzimáticas.
Fe (Fe <sup>2+</sup> )	Fe : 1 X 10 <sup>2</sup>	<b>Fe:</b> Componente esencial de Ferroenzimas (Hemo y no hemo) y transportadores de electrones como el citocromo y la ferredoxina. Su función es clave en la fotosíntesis, fijación de <b>N</b> y transferencia de electrones.
Cl (Cl <sup>1-</sup> ) Mn (Mn <sup>2+</sup> ) Zn (Zn <sup>2+</sup> ) B (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ) Cu (Cu <sup>2+</sup> )	Cl : 1 X 10 <sup>2</sup> Mn : 50 Zn : 20 B : 20 Cu : 6	<b>Cl<sup>1-</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, B, Cu<sup>2+</sup>.</b> Asociados con catalizadores o activadores de enzimas, el <b>Cl</b> está 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 <b>Mn</b> esta involucrado en el sistema de evolución de O <sub>2</sub> en la fotosíntesis y en las enzimas arginasa y fosfotransferasa. El <b>Zn</b> es componente de varias deshidrogenasas, proteinasas, y peptidasas incluidas la anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, glutámico deshidrogenasa, y málico deshidrogenasa. El <b>B</b> está involucrado en el metabolismo y síntesis de componentes de la pared celular. El <b>Cu</b> forma parte de la citocromo oxidasa ácido ascórbico oxidasa y lactosa
Mo (MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0.1	<b>Mo.</b> Componente de enzimas del proceso de fijación de N <sub>2</sub> , reducción de NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> .



## 2.8.2 FUNCIONES DE LOS NUTRIMENTOS

Las diferentes funciones que un mismo elemento puede desempeñar corresponden a uno más procesos vitales: fotosíntesis, respiración celular, síntesis de aminoácidos o proteínas y transferencia de caracteres hereditarios (Sánchez, 1999 citado por Quiroz, 2002).

Los nutrimentos ejercen funciones específicas de la vida de la planta, las cuales pueden ser clasificadas en:

- ❖ Estructural. El elemento forma parte de la molécula de uno o más compuestos orgánicos. Ejemplo: El N forma a los aminoácidos y proteínas o el Ca constituye la lámina media de la pared celular.
- ❖ Constituyentes de enzimas. Se trata de un caso particular del primero y se refiere a los 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 Cu, Fe, Mn, Mo, Zn y Ni.
- ❖ Activador enzimático. Forma parte del grupo prostético o elemento disociable de la fracción proteica de la enzima y es necesario en las actividades de la misma (Raven y Evert, 1992).

## 2.8.3 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS NUTRIMENTOS ESENCIALES

**NITRÓGENO (N).** Es un constituyente esencial de toda la materia viviente conocida hoy en día (Tisdale, 1988). Forma parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN), nucleótidos, NADH<sub>2</sub>, porfirinas, amidas, aminas, además de enzimas y coenzimas y varios metabolitos secundarios; por lo que juega un papel importante en las reacciones metabólicas. También se encuentra dentro de la molécula de la clorofila por lo que una deficiencia de N resultaría en una condición clorótica de la planta (Russell, 1968; Bennet, 1994 citado por Quiroz, 2002) (Cuadro 3). El N total en los suelos forestales se encuentra sobre todo en las capas de humus de la cubierta forestal y en el horizonte A1. Cuando se encuentra en abundancia en el suelo, las plantas responden con un crecimiento vegetativo intenso, genera un color verde intenso en las hojas; es fundamental en la asimilación de fósforo y potasio además de producir succulencia en las hojas. La fijación o mineralización del N en el suelo depende en gran medida del ritmo de descomposición de la MOS, la temperatura y del pH y esta dada por la actividad de los microorganismos que lo dejan disponible para las plantas. Estas lo asimilan en forma de iones nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (León, 2007). En la planta tiene una gran movilidad. El amonio es absorbido y utilizado principalmente por plantas jóvenes mientras

que el nitrato es utilizado durante el periodo del crecimiento adulto. La absorción de iones amonio es benéfico para las plantas, ya que resulta un ahorro de energía metabólica, pues proporciona una mayor disponibilidad de nutrimentos debido a un aumento de la solubilidad en el medio ácido que se crea por las plantas, las cuales generalmente secretan iones  $H^+$  cuando estas absorben iones  $NH_4^+$  (Sandoval-Villa *et al.*, 1995 citado por Quiroz, 2002). Indiferentemente de la forma del N absorbido por las plantas éste es transformado en el interior de las plantas a las formas de  $-N=$ ,  $-NH-$  o  $NH_2$ , este N reducido es elaborado en compuestos más complejos y finalmente transformado en proteínas (Tisdale, 1988). El N de los materiales orgánicos queda disponible para las plantas superiores solamente después de la relación C:N se aproxima 10:1.

**FÓSFORO (P).** La materia orgánica es la principal fuente de P para los árboles en muchos suelos. La cantidad de este elemento en la solución del suelo en cualquier tiempo dado es muy baja, por lo general menos de 1ppm, y la cantidad disponible para las plantas queda influida por varios factores, entre los que están la acidez del suelo, (reducción notable a pH elevado), la temperatura (se reduce con el frío) y la presencia de Fe y Al solubles, el tipo de humus y su tasa de descomposición. Otros factores son la humedad, la aireación y la disponibilidad de nutrimentos. Los suelos que sostienen árboles de coníferas contienen un nivel relativamente bajo de P. Las plantas absorben la mayoría del P como el ion ortofosfato primario ( $H_2PO_4^-$ ). Las plantas también absorben pequeñas cantidades de P como ion ortofosfato secundario ( $HPO_4^{2-}$ ). El pH del suelo influye en gran parte en la absorción de estas dos formas de P por la planta. Las plantas pueden utilizar otras formas de P, pero en menores cantidades que el ortofosfato (Pritchett, 1991). Se une a diferentes compuestos orgánicos mediante la formación de ésteres con grupos hidroxilos y el enlace con otros grupos fosfato, mediante un enlace de pirofosfato. Entre los compuestos más frecuentes y significativos destacan el di y trifosfato de adenosina (ADP, ATP), fosfolípidos, ácidos nucleicos (RNA, DNA, etc.) (León, 2007). Desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. Las concentraciones más altas de P en plantas jóvenes se encuentran en el tejido de los puntos de crecimiento. Debido a que el P se mueve rápidamente de los tejidos viejos a los tejidos jóvenes, las deficiencias aparecen primero en las partes bajas de la planta (Cuadro 3).

A medida que las plantas maduran, la mayor parte del P se mueve a las semillas o al fruto (Russell, 1968; Quiroz, 2002).

**POTASIO (K).** Este elemento no forma parte de ningún compuesto orgánico, ni toma parte en ninguna función estructural en la planta. Es absorbido del suelo por las plantas en forma iónica ( $K^+$ ). Actúa en la activación de aproximadamente 50 enzimas, como las sintetetasas, oxireductasas, deshidrogenasas, tranferasas, quinasas y aldolasas, de la misma forma tiene importancia en la síntesis de proteínas, en la síntesis de material para la formación de la pared celular (Pret, 1982; Beringer y Nothdurft, 1985; citados por Arruda y Malavolta, 2001). También participa en el control osmótico de las células. Plantas deficientes en K presentan menor turgencia, pequeña expansión celular, mayor potencial osmótico e irregular apertura y cierre de los estomas. Otro efecto atribuido al K es que las plantas bien nutridas son más resistentes a la sequía y a las heladas; función asociada a su mayor retención de agua. Está involucrado en los mecanismos de defensa de la planta a las plagas y enfermedades. Esto debido a que altas concentraciones de K en los tejidos favorecen la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos, los cuales actúan como inhibidores de hongos e insectos. La deficiencia de este nutriente produce una reducción de la tasa fotosintética por unidad de área foliar y también mayor tasa de respiración, la combinación de estos factores reduce las reservas de carbohidratos de la planta, además que ocasiona que los estomas no se abran adecuadamente y haya una menor asimilación de  $CO_2$  en los cloroplastos. Por lo tanto un suplemento adecuado de K incrementa la síntesis de carbohidratos en razón de la mayor tasa fotosintética y además incrementa la eficiencia de translocación de esos compuestos dentro de la planta (Arruda y Malavolta, 2001) (Cuadro 3).

**CALCIO (Ca).** Es absorbido por las plantas en forma del catión  $Ca^{++}$ , mantiene la integridad celular y la permeabilidad de la membrana, aumenta la germinación y el crecimiento del polen, activa gran cantidad de enzimas involucradas en la mitosis, división y elongación, es importante en la síntesis de proteínas y la transferencia de carbohidratos, estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas forma compuestos que son parte de las paredes celulares. Influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo (carbonato de calcio) que se ve reflejado en la reducción de la solubilidad y toxicidad del manganeso (Mn) y cobre (Cu).

Si hay deficiencia de Ca los puntos de crecimiento en raíces y parte aérea de la planta se tornan de color café, se enroscan y mueren, la calidad del fruto se reduce (Cuadro 3). Puesto que el Ca es un elemento inmóvil dentro de la planta, la deficiencia se presenta en los puntos de crecimiento terminales. El contenido excesivo de Ca en la planta induce una baja concentración de Mg o K en la planta, debido a que el Ca interfiere con la absorción del Mg y el K (Rodríguez, 2002).

**MAGNESIO (Mg).** Es absorbido por las plantas como un catión  $Mg^{2+}$ . El Mg es el átomo central de la molécula de la clorofila, por lo tanto está involucrado activamente en la fotosíntesis. El Mg y el N son los únicos nutrientes provenientes del suelo que son parte de la clorofila, y por esta razón, la mayoría del Mg en las plantas se encuentra en este compuesto (Rodríguez, 2002). Es un elemento móvil que se transporta de las partes maduras de la planta a las de formación reciente. La mayoría de los suelos forestales contienen elevadas cantidades de este elemento que aseguran un buen desarrollo de los árboles y cuando hay deficiencias se corrigen sin dificultad. La dolomita, que es una sal doble de carbonato de calcio y magnesio constituye un material para encalar relativamente barato, que se utiliza a menudo para corregir deficiencias de magnesio (Pritchett, 1991) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Síntomas visuales de deficiencias nutrimentales en coníferas (Morrison, 1974; Kolari, 1979; Mengel y Kirby, 1982; citados por Ballard *et al.*, 1983; Landis, 1989).

ELEMENTO	SINTOMAS VISUALES
N	Crecimiento lento y pobre. Las acículas presentan clorosis, generalmente se observa en las agujas viejas ya que hay una deficiencia de hierro. Si presentan un color morado, indica clorosis severa y posteriormente viene la necrosis.
P	Crecimiento pobre, el follaje puede o no resultar afectado. Los síntomas se presentan en las acículas más viejas. En agujas jóvenes se observa un color amarillo o verde-amarillento, en las acículas viejas un tinte morado, en casos severos todas las agujas se observan de color morado a negro.
K	Los síntomas son variables entre especies, el follaje usualmente es corto, clorótico. No se observan de inmediato los síntomas visuales. Las acículas son cortas, con clorosis y con toques verdes en algunas partes, en casos severos presentan necrosis descendente; se ve de color morado o café, las acículas viejas son las más afectadas.
Ca	Los síntomas se observan con más frecuencia en el desarrollo de acículas jóvenes. Se presenta necrosis en la punta de las ramas, esto puede causar muerte o iniciarse necrosis descendente; también los árboles presentan exudado de resina y así contraer infecciones por virus o bacterias y morir.
Mg	Las deficiencias comienzan en ramas viejas y se mueven hacia los jóvenes. Las acículas se ven amarillas o bronceadas, en casos severos presentan necrosis. Las especies latifoliadas, frecuentemente exhiben necrosis internerval en las hojas.

### 3.1 EL GÉNERO *Pinus*.

México tiene una gran variedad de accidentes orográficos que dan lugar a una diversidad de condiciones climáticas. Es uno de los países con mayor número de especies, variedades y formas vegetales en el mundo; dándose el caso que en un mismo sitio convivan varias especies íntimamente mezcladas, hecho que puede dar lugar a entrecruzamientos que producen híbridos que morfológicamente complican su clasificación correcta.

Los pinos se originaron en el hemisferio boreal; pero debido a las glaciaciones ocurridas hace varios millones de años, fueron avanzando hacia el sur, no logrando sobrepasar el ecuador por los cambios tan marcados en temperatura, a excepción del *Pinus merkusii* Jungh. et de Vries, que se encuentra en la península de Malasia hasta los dos grados de latitud sur. Constituyen una de las familias más importantes del reino vegetal.

### 3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL GÉNERO *Pinus*

Los pinos son árboles siempre verdes, resinosos, con hojas aciculares, en número de 1 a 8, protegidas en la base por una vaina caediza o persistente y con los frutos en forma de cono leñosos, formados por escamas que protegen las semillas.

- Semilla. Tiene forma de nuez, es de color negruzco, oval, con un ala más o menos desarrollada, su tamaño varía de 4 a 5 mm. por lo general se encuentran dos semillas en cada escama, cuando la semilla es grande una de ellas se atrofia, este es el caso del piñón.
- Ala. Es un órgano de transporte, que impulsado por el viento disemina las semillas a varios kilómetros de distancia, siempre y cuando esté desarrollada.
- Tallo. Se levanta derecho produciendo ramas delgadas, las cuales van desapareciendo a medida que el tronco crece, presentándose las ramas definitivas, son verticiladas. La altura varía según la especie y su condición de vida.
- Corteza. Por regla general es lisa y delgada en árboles jóvenes; gruesa, rugosa y áspera en los árboles viejos, su color puede ser pardo o pardo rojizo amarillento o anaranjado, más o menos oscuro o casi negro. A medida que aumenta el espesor, las cortezas se agrietan formándose placas alargadas e irregulares,

presenta una coloración rojiza, en muchos casos las características ayudan en la determinación de especies.

- Hojas definitivas. Son aciculares, en fascículos que están sostenidos por una vaina, El número varía según la especie, el medio, siendo tres y cinco las más comunes, su longitud varía desde dos y medio centímetros hasta cuarenta o más. Los bordes por lo general son aserrados, con los dientecillos muy pequeños y uniformes, su color varía de verde claro, oscuro, azulado, amarillento, opaco y brillante, en cuanto a la dirección se presentan erguidas, caídas o colgantes.
- Vaina. Es un conjunto de escamas que sostiene a los fascículos y está formado por escamas sobrepuestas, su superficie es escamosa o anillada. En algunos pinos las vainas son persistentes es decir acompañan a las hojas hasta que estas caen en tanto que en otro desaparecen pronto, llamándose entonces vainas caedizas.
- Cono. Se le conoce vulgarmente como piña o cono, puede ser oblongo, subcilindrico, acuminado o romo, simétrico o asimétrico. Por su posición puede ser erguido, encorvado o reflejado. Consta de un eje central donde se insertan las escamas y está sostenido por un pedúnculo largo, su tamaño varía de dos y medio centímetros hasta más de cuarenta (Martínez, 1992).

### 3.2.1 *P. hartwegii* Lind.

Este pino fue descrito por Lindley en 1839 (Figura 4). Árbol de 15 a 30 m de altura, de corteza agrietada de color pardo rojizo, con ramas extendidas e irregularmente colocadas, muy ásperas de color pardo, rojizo oscuro o algo grisáceas. En la forma más típica se observan tres hojas y cinco hojas de forma constante. Miden de 10 a 16.5 cm. de largo. Son de color verde claro, medianamente gruesas, tiesas, triangulares cuando son en número de cinco. Los bordes son aserrados, siendo los dientecillos muy pequeños y próximos. Presentan estomas en las tres caras. Las vainas son de color castaño al principio y moreno grisáceas a veces muy oscuras, escamosas abajo y anilladas arriba, generalmente de 10 a 17 mm. Conos largamente ovoides acuminados, ligeramente oblicuos y en ocasiones levemente encorvados, extendidos o algo reflejados, por lo común de 9 a 10 cm. de largo, de color rojizo muy oscuro, casi negros, persistentes, se presentan generalmente por pares.

A veces en grupos de hasta cinco, la semilla es negruzca de 5 a 7 mm, con ala de 12 de largo por 5 de ancho. La madera es dura y resinosa. Es el pino que habita en altitudes superiores a los 3000 m. Tiene parentesco con *P. montezumae* y con el *P. rudis* (Martínez, 1992).



Figura 3. Rama y bosque de *P. hartwegii*, en PN Izta-Popo.

### 3.2.2 *Pinus montezumae* Lam.

En Veracruz le llaman Pino ocote, pino montezuma, chalmaite blanco, en Oaxaca pino real, yutnu-santu y pino blanco (Figura 5). Es nativo de México, se extiende hasta Guatemala. En México presenta una amplia distribución, extendiéndose sobre la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico. Se ha reportado en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, Jalisco, Colima, Michoacán, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Querétaro, Estado de México, Distrito Federal, Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, se asocia con Bosque de *Quercus* y prospera en un rango altitudinal de 1150 a 3200 m, con mayor frecuencia se observan en altitudes que van de 2500 m a 2800 (SIRE, 2007)

Árbol de 20 a 30 cm. de altura, de 50 a 90 cm. de diámetro; con un crecimiento de rápido a moderado, corteza pardo rojiza, gruesa, áspera, y agrietada desde que el árbol es joven, ramas extendidas que forman una copa redondeada, hojas en grupos de cinco, en ocasiones cuatro en fascículos, triangulares de color verde oscuro, miden de 14 a 21 cm de largo, aunque pueden llegar a los 27 cm. Las vainas de 10 a 20 mm anilladas de color castaño al principio y muy oscuras después, yemas largamente ovoides, morenas y vellosas. Los conos son largos de 8.5 a 15 cm con forma ovoide cónico u oblongo, opacos o levemente lustrosos, colocados por grupos de tres, extendidos o ligeramente colgantes, casi sésiles. 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. La semilla vagamente triangular de 6 a 7 mm, de ala obscura de unos 20 mm de largo por 7 mm de ancho. La madera es blanca, resinosa, fuerte y muy útil para construcciones (Martínez, 1992).



Figura 4. *P. montezumae* Lamb en PNB, Oaxaca.

### 3.2.3 *Pinus ayacahuite* Ehren.

La gente lo conoce como Acalocahuite y Acolote en Veracruz; Ayacahuite, (Ayaucuáhuil, vocablo náhuatl) en Puebla, Ácxuát (lengua totonaca) en el Norte de Puebla; Ocote blanco y Pino real en Oaxaca; Ocote gretado y Pinabete en Chiapas, Pino cahuite en Hidalgo; Salacahuite, Acanit y Canite en Coahuila; Pino blanco y Pino huiyoco en Chihuahua (Figura 6). Nativo del centro de México hasta Centroamérica. Se extiende hasta el centro del México, se asocia con otros pinos y abetos en las montañas de México; hay poblaciones considerables en las montañas de Chiapas, Oaxaca y Guerrero y una pequeña población en Puebla y Tlaxcala. Se le ve en bosque de coníferas y encinos, en altitudes que van de los 2000 a 3200, más frecuente entre los 2700 m (SIRE, 2007)

Árbol de 30 a 35 m de altura con copa cónica y crecimiento moderado, vive cerca de 100 años, 30 centímetros de diámetro, de ramas extendidas y verticiladas, corteza grisácea y lisa en árboles jóvenes y de color moreno rojizo en los viejos, dividida en placas irregulares. Tiene cinco hojas de 8 a 15 cm, delgadas, triangulares, y extendidas, de color verde oscuro, glaucas en su cara interna, los bordes son aserrados con los diente-cillos separados, las vainas son amarillentas de 10 a 15 mm, las yemas son oblongas de color castaño rojizo de unos 15 a 20 mm y con



escamas anchas, los conos de 20 a 30 cm de largo a veces más, se encuentran por pares o en grupos de tres, colgantes y caedizos de color café amarillento opaco, resinosos en la base del cono maduran de septiembre a octubre, las semillas son aladas. Su madera es suave y de buena calidad útil para construcciones y muebles (Martínez, 1992).



Figura 5. *P. ayacahuite* Ehren

#### 3.2.4 *P. douglasiana* Martínez.

Árbol de unos 20 m de altura, por 30 a 50 cm de diámetro a la altura del pecho, copa redondeada y densa, la corteza es áspera rojiza y escamosa, dividida en placas irregulares. Ramas extendidas, agrupadas en la parte superior del tronco, las vainas son persistentes de 20 a 30 mm, escamosas abajo y anilladas arriba, de color castaño rojizo y después oscuro. Las yemas son cónicas de color anaranjado rojizo. Los conillos son moreno violáceos, erguidos, oblongos, romos y en grupos de tres, con escamas gruesas. Conos largamente ovoides, algo asimétricos, reflejados ligeramente encorvados, de color moreno rojizo, opacos, caedizos de 7.5 a 10.5 cm. Se presentan en grupos de 3 a 5 sobre pedúnculos de unos 12 mm, oblicuos y quedando con el cono cuando este cae. Semilla oscura, ovoide de unos 5 mm, con ala de 25 mm, de largo por unos 8 mm de ancho. La madera es blanda, de color blanco, con escasa trementina. Se emplea en construcciones y en muebles (Martínez, 1992).

### 3.2.5 *Pinus teocote* Schiede et Cham.

Se le conoce como Pino colorado en Veracruz; pino rosillo en Durango; tso-arza (lengua purépecha) y pino real en Michoacán (Figura 6). Es nativo de México. Se extiende a lo largo de la Sierra Madre Occidental desde el sur de Chihuahua hasta Chiapas; en la Sierra Madre Oriental, en Coahuila, Nuevo León, Hidalgo, Estado de México y Puebla. Se encuentra en altitudes que van de 1500 a 3100, siendo la óptima 2400 m (SIRE, 2007). Es un árbol de 10 a 26 m, pero varía entre 8 y 25 m, de copa redondeada e irregular; ramas desigualmente distribuidas, follaje denso y erguido, corteza de color grisáceo por fuera y algo naranja o amarillento por dentro, delgada al principio y después áspera y rugosa dividida en grandes placas longitudinales. El tronco emite ocasionalmente retoños. Las ramas son ásperas de color moreno rojizo. Hojas perennifolias, en grupos de tres, por rareza de dos o cuatro en algunos fascículos, por lo general de 10 a 15 cm, de color verde brillante y con tinte amarillento. Las yemas son cilíndricas mas o menos resinosas. Los conos son ovoides, de 4 a 6.5 cm a veces hasta 7.0, simétricos, caedizos, de color moreno algo lustroso a veces con tinte ocre o rojizo, se encuentran solitarios o hasta en grupos de cuatro, maduran durante los meses de invierno, son dehiscentes. La semilla es negruzca de 15 a 20 mm de largo por 8 a 10 de ancho de color moreno. La madera es fuerte y de buena calidad se usa para construcciones y combustible. Este árbol produce abundante trementina (Martínez, 1992).



Figura 6. *P. teocote* Schiede et Cham

### 3.2.6 *Pinus patula* Schl. et Cham.

En México, Veracruz e Hidalgo le llaman pino patula, pino llorón, pino triste, pino colorado, pino chino, pino xalocote pino macho, ocote liso y ocote colorado (Figura 7). Se distribuye naturalmente en Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Querétaro, Veracruz, Oaxaca y Distrito Federal, en bosque de pino y bosque de Pino-*Quercus*, en un rango altitudinal de 1500 a 3100 m siendo la más óptima entre los 1800 y 2400 (SIRE, 2007).

Árbol de 30 a 35 m de altura y de 50 a 90 cm de diámetro. Su copa es abierta y redondeada, 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, de corteza escamosa y roja, ramas colocadas irregularmente. Las hojas son perennifolias. Están en grupos de tres o cuatro, rara vez; cinco en fascículos, miden entre 15 y 30 cm son delgadas, colgantes y extendidas de color verde claro brillante, con los bordes finamente aserrados y los dientecillos muy finos. Vainas persistentes, fuertes, cenicientas de 10 a 15 mm. El período de fructificación se presenta cada cuatro o cinco años, "año semillero"; sin embargo, en condiciones climáticas favorables se puede presentar producción anual. Conos de 7 a 9 cm a veces hasta 12, duros, sésiles reflejados, algo encorvados, oblicuos y puntiagudos, por lo general agrupados en grupos de tres a seis, frecuentemente se ven en el tronco y en las ramas gruesas, su color es amarillo ocre, con tinte rojizo, lustroso, persistentes, no se separan de la ramilla aunque esta muera y se desprenda del árbol y se abre parcialmente en diferentes épocas. La semilla es casi triangular, de color moreno. La madera es suave, débil, de color claro, ligeramente amarillento es fácil para trabajar y poco resinosa, se emplea en la fabricación de cajas. Tiene semejanza con el *P. greggii*, pero se distingue por su tronco rojizo, sus hojas muy delgadas y colgantes y su cono más oscuro y pequeño (Martínez, 1992).



Figura 7. *P. patula* Schl. et Cham

### 3.2.7 *Pinus pseudostrabus* Lindl. var *pseudostrabus*

En Chiapas le llaman Mocohtaj (lengua tojolobal), pino ortiguilla, patingo, pino blanco en Michoacán y México y pino real en Durango (Figura 8). Es originario de México, Guatemala y Honduras. En México se encuentra 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, en bosque de coníferas, bosque de Pino-*Quercus*, desde 2,400 a 2,800; en México se ha encontrado en laderas de montaña con elevaciones de 1600 a 3200 m (SIRE, 2007). Árbol de 15 a 20 m de altura, a veces más con ramas extendidas y verticiladas, corteza lisa durante mucho tiempo, en la vejez áspera y agrietada; ramillas delgadas y frágiles con largos entrenudos de color café rojizo; con tinte azulado en sus partes tiernas. Hojas en grupos de 5, de 17 a 24 cm de largo, muy delgadas, triangulares y flexibles, de color verde intenso, a veces con ligero tinte amarillento o glauco, finamente aserradas con los dientecillos uniformes. Vainas persistentes, anilladas de 12 a 15 mm (a veces hasta; de color castaño oscuro, algo brillante). Yemas oblongo cónicas, de color anaranjado. Conos ovoides o largamente ovoides de 0 a 10 cm, de color café claro, amarillento, levemente encorvados, asimétricos, generalmente por pares. La maduración de los conos es de noviembre a diciembre en México y América central. La semilla es triangular obscura, de unos 6 mm de largo por 6 a 9 mm de ancho, con ala de unos 23 mm. Produce abundante trementina, la madera es dura y resistente. Suele encontrarse en climas templados y frecuentemente se ve asociado al *P. montezumae*, con el que tiene estrecho parentesco (Martínez, 1992).



Figura 8. *P. pseudostrabus* Lindl. var *pseudostrabus* en PNB, Oaxaca.

### 3.3 *Abies religiosa* (H.B.K) Kunth Schltl. et Cham

Se le conoce como abeto en Veracruz; acshoyatl, oyamel y xolócotl en México; bansú (lengua otomí) y pinabete en Hidalgo (Figura 9). Es nativo de México, se distribuye de forma natural en Distrito Federal, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, México, Guerrero y Tlaxcala. Las masas puras formadas por esta especie son también conocidas como bosque de *Abies*, bosque de abetos o bosque de oyamel. Prospera en altitudes que van de los 2800 a los 3500, siendo la más óptima, 3200 (SIRE, 2007).



Figura 9. *Abies religiosa* (H.B.K) Kunth Schltl. et Cham en el Santuario de la Mariposa Monarca, Michoacán.

Árbol monóico de 35 a 40 m de altura, en ocasiones hasta 60 m, y diámetro hasta de 1.80 m. Presenta ramas verticales y extendidas que se cortan gradualmente formando una copa piramidal o cónica. Su corteza es áspera y agrietada de color grisáceo. Se le considera una de las pináceas de porte más elegante. La producción de conos masculinos de *Abies religiosa* es lateral en las ramillas de la parte baja del árbol, los conos son oblongos y miden de 12 a 13 mm de largo por 5 mm de ancho y están protegidos por brácteas oscuras. Los conos femeninos se observan en la misma época en las ramillas más altas, son cilíndricos-oblongos, de aproximadamente 7 cm de largo, con grandes brácteas rojizas de margen blanco, translúcido y con una banda verde longitudinal. Las semillas presentan una forma ovoide u oblonga de 10 a 12 mm de largo, provistas de un ala lateral, oblicua, suave, delgada, quebradiza y de color castaño claro. El uso más importante como de árbol de navidad, además sus ramas son usadas en ceremonias religiosas para adornar y la pulpa se utiliza para fabricar papel.

### 3. HIPÓTESIS

Una buena calidad del suelo, favorece un adecuado estado nutrimental de la comunidad arbórea que se verá reflejado en la concentración y balance de nutrientes en el tejido foliar.

### 4. OBJETIVOS

#### General

- ❖ Determinar el estado nutrimental de los géneros *Pinus* y *Abies* en diferentes bosques, a través de la evaluación de la concentración de N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en el tejido foliar.

#### Particulares

- ❖ Caracterizar los tipos de suelo donde se desarrollan *Abies* y *Pinus*.
- ❖ Determinar mediante análisis químico el porcentaje de concentración de N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en el tejido foliar de los géneros *Pinus* y *Abies* presentes en las zonas de estudio.

## 5. ZONAS DE ESTUDIO

Los bosques templados, muchos de ellos bajo la categoría de Área Natural Protegida (ANP), ya sea Parque Nacional (PN) o Reserva de la Biosfera (RB), contienen gran cantidad de especies e importante proporción de endemismos, funcionando como "islas ecológicas" donde se verifican gran cantidad de procesos ecológicos esenciales para la biosfera (CONANP, 2007), además de los servicios ambientales que ofrecen, tales como: la cosecha del agua, el secuestro de carbono, la producción de materias primas (madera, celulosa y resinas) y belleza escénica. Por ello, la SEMARNAT a través de la CONANP, ha establecido que un área natural protegida (ANP) es una zona del territorio nacional sobre la que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción; en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requiera ser preservada y restaurada y esta sujeta al régimen de la LGEEPA (LGEEPA, 2006).

México es el primer país del mundo en cuanto a diversidad de especies de pino y encino. Según Flores et al., 1971, citado por Rzedowski, 1983; el conjunto de los bosques de coníferas ocupa cerca del 15 % del territorio del país y más de 9/10 de esta superficie corresponde al género *Pinus* (Figura 10), le siguen en importancia por extensión, los bosques de *Juniperus* y *Abies*, siendo los restantes de distribución muy restringida y localizada.

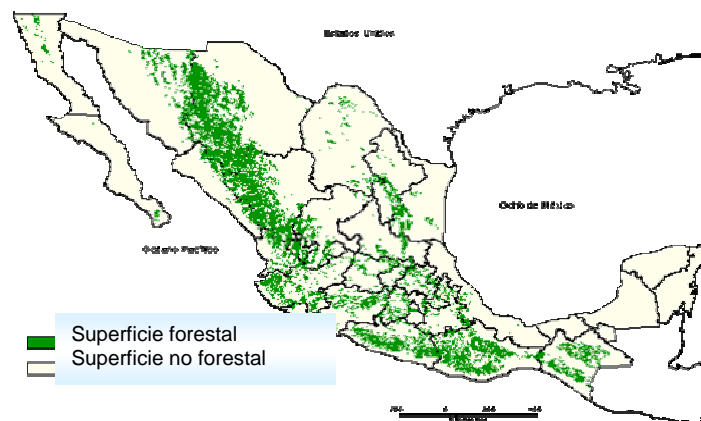


Figura. 10. Distribución del recurso forestal en la República Mexicana (INE, 2007).

### 5.1 BOSQUE DE *Pinus*.

Existen en México 50 especies del género *Pinus*, esto representa el 49 % del total de especies que los autores reconocen para el mundo. La mayoría de los pinos poseen una distribución geográfica restringida y casi todos constituyen elementos dominantes o codominantes en la vegetación actual, siendo comunidades vegetales muy características de México. Si bien algunos pudieran representar comunidades secundarias debido al disturbio causado por el hombre, otros corresponden a la fase clímax y al parecer han existido desde hace muchos millones de años en México. La mayoría de los *Pinus en México* posee afinidades hacia los climas templados a fríos y semihúmedos; por otra parte, dentro de las mismas zonas de clima templado y semihúmedo, los pinares no constituyen, el único tipo de vegetación dominante, pues compiten ahí con los bosques de *Quercus*, *Abies*, *Juniperus* y *Alnus* (Rzedowski, 1983). Su distribución geográfica coincide con la de los elevados macizos montañosos, se presentan en los extremos norte y sur de Baja California, a lo largo de la Sierra Madre Occidental, en el Eje Neovolcánico Transversal, en la Sierra Madre Oriental y un manchón en Tamaulipas ubicado en la planicie Costera Nororiental del Golfo de México al igual que en muchas sierras aisladas del Altiplano, sobre todo en Coahuila. Se les encuentra desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación arbórea; se desarrolla entre 1500 y 3000 m de altitud. Cuando la altitud de la montaña excede los valores mencionados el pinar limita en su parte superior con los zacatonales o con otro tipo de vegetación alpina (Vargas, 1984; CONAFOR, 2007). Restringiendo la caracterización climática el área de las grandes masas forestales de pino, se aproximan a 10 y 20° C de temperatura media anual y entre 600 y 1000 mm de lluvia al año, lo cual corresponde a un Cw de la clasificación de Koeppen (1948). Por lo que se refiere al sustrato geológico, los pinares mexicanos están cubiertos por rocas ígneas, antiguas y recientes, se les encuentra en margas, areniscas, lutitas y calizas, estas últimas con menor frecuencia. Las rocas ígneas, producen suelos moderadamente ácidos con pH entre 5 y 7, que son los que corresponden a la mayoría de los bosques de pino del país, los pinos mexicanos prefieren la naturaleza ígnea, cabe suponer que su evolución estuvo ligada cronológicamente con épocas de intensa actividad volcánica. El color del suelo, su textura y el contenido de nutrientes varía de un lugar a otro. Es característico de estos bosques un horizonte



de humus de 10 a 30 cm y el suelo cubierto de hojarasca. Los suelos de muchos pinares mexicanos se han clasificado como podsólicos cafés y rojos o forestales de montaña, ambas categorías pertenecen al grupo de suelos podsólicos (Rzedowski, 1983).

Dentro de la riqueza forestal de México los pinares constituyen un recurso de primera por la demanda de su madera, la leña para combustible, la extracción de resina en *P. pseudostrobus*, *P. montezumae* y *P. teocote* y las semillas comestibles, sobre todo de *P. cembroides*. La explotación forestal inadecuada, así como el desmonte para fines de ampliación de zonas agrícolas, pecuarias y habitacionales constituyen factores que restan superficie a los bosques y modifican la composición de los que quedan (Rzedowski, 1983).

## 5.2 BOSQUE DE *Abies*.

Comunidad que se caracteriza por la altura de sus árboles que a veces sobrepasan los 30 m de altura, se desarrollan en clima semifrío y húmedo, entre los 2000 a 3400 m de altitud. El bosque de oyamel se distribuye principalmente en el Eje Neovolcánico y en la Sierra Madre Del Sur, en menor proporción en partes de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Sierra de Juárez en Baja California. Las especies que constituyen los bosques de oyamel son principalmente del género *Abies* (*Abies religiosa*), abeto (*A. duranguensis*) y *Abies spp.*, además de pino (*Pinus spp*), encino o roble (*Quercus spp*) y aile (*Alnus firmifolia*) (CONAFOR, 2007). Algunos bosques son densos sobre todo en condiciones libres de disturbio, pero debido al fuerte impacto que provocan las actividades humanas, su área se encuentra en constante disminución para dar lugar a espacios agrícolas y pecuarios. La alteración de estas comunidades radica en el alto valor comercial de su madera, la cual es utilizada para leña, aserrío, construcciones rurales y urbanas, así como pulpa para papel. El tronco de los árboles jóvenes presenta gran cantidad de trementina llamada aceite de palo o trementina de oyamel, sustancia muy apreciada en la industria de barnices y pintura, como agente aromatizante de jabones, desinfectantes, desodorantes y perfumes; también se utiliza como bálsamo con fines medicinales. En algunos lugares las ramas sirven de ornato en ceremonias religiosas y los individuos jóvenes son usados como árboles de navidad (CONAFOR, 2007).

### 5.3 PARQUE NACIONAL IZTACCIHUATL POPOCATEPETL (PN-IP)

El Parque Nacional Izta-Popo cuenta con una superficie de 25679 ha, se ubica en los municipios de Amecameca, Atlautla, Ecatingo en el Estado de México, Tlahuapan, San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco, en Puebla y Tetela del Volcán en Morelos, las coordenadas son 18° 54.6´19° 42´ Lat N y 98° 31.2´ 98° 48´ Long W, forma parte del Eje Neovolcánico Transversal. La topografía comprende a los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, con alturas de 5280 y 5482 m respectivamente (Figura 11).



Figura 11. Panorámica del Parque Nacional Izta-Popo

El clima es variado: templado subhúmedo, templado húmedo, frío y muy frío, presentando lluvias en verano. Para el clima templado subhúmedo la temperatura media anual es de 16°C con una precipitación anual de 746 mm. En el clima templado húmedo la temperatura media anual es de 16.1°C, con una precipitación media anual de 659.3 mm a 1885 mm. En los lugares donde predomina el clima frío y muy frío, la temperatura media anual va de los -2 a los 5°C, con precipitaciones anuales de 1186 mm (CONANP, 2007).

La vegetación esta representada por los géneros *Pinus* y *Abies*. El género *Pinus* se encuentra a lo largo de todo el gradiente altitudinal, mientras que el *Abies* es de localización más restringida, predominantemente entre los 3000 y 3500 m.

Según la carta edafológica E14-B41, escala 1: 50000, de INEGI los tipos de son:

Andosol: suelos de color oscuro, característicos de los afloramientos de cenizas volcánicas y formados por complejos alofano-humus. Son suelos ligeros con altos porcentajes de materia orgánica (MOS), buen contenido de nutrientes, pueden formar andosoles húmicos.

Leptosol (Regosol): llamados suelos poco evolucionados, pobres en MOS característicos de las pendientes donde la erosión ha tenido actividad intensa, en general la MOS se incorpora en forma de complejos húmico-arcillosos con el material mineral.

Phaeozem: llamados suelos isohúmicos empardecidos. Este suelo representa la transición entre los suelos isohúmicos (con perfil AC) y los suelos empardecidos, cuyo horizonte humífero A<sub>1</sub> está menos desarrollado que el horizonte B su formación vegetal característica es la pradera, que esta bien representada en América del Norte.

Cambisol: también conocidos como suelos pardos templados, son suelos empardecidos, caracterizados por la ausencia de lavado de arcilla y de hierro, con horizontes A y B bien definidos, pobres en contenido de nutrientes; presentan potencial para el desarrollo forestal con adecuadas prácticas de manejo. (Duchaufour y Souchier, 1984).

#### 5.4 PARQUE NACIONAL ZOQUIAPAN Y ANEXAS (PN-ZA)

Se ubica en la porción Norte de la Sierra Nevada, conocida como los Montes de Río Frío, en los municipios de Texcoco, Tlalmanalco, Ixtapaluca y Chalco en el Estado de México y Tlahuapan en Puebla. Cuenta con una superficie de 19418 ha. Se localiza entre 19° 15' y 19° 26' Latitud N y 99°56' Longitud W. Hacia la parte norte del Iztaccihuatl, las elevaciones más notables son el Tláloc (4120 m), el Yoloxóchitl (3900 m), el Telapón (4060 m) y el Papayo (3600 m). Es factible la práctica de actividades de excursionismo, observación de flora y fauna, montañismo y senderismo.

La conformación geológica de la Sierra Nevada se dio a partir de emisiones de lava que emergieron a través de calizas plegadas que afloran 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. El material litológico está formado por andesitas, dacitas, arenas y cenizas volcánicas. Las unidades de suelo presentes son litosoles, regosoles, andosoles, cambisoles y fluvisoles.

La hidrología esta representada por cuatro ríos: Amecameca, Molinos, Akal, Atila y escurrimientos perennes menores.

La variedad de clima abarca desde un clima de tipo templado húmedo hasta un clima frío a muy frío. La vegetación predominante la integran los bosques de coníferas y encinos, los cuales juegan un papel esencial en relación con el ciclo hidrológico, la formación y conservación de suelos y la biodiversidad.

Entre los 2500 y 3500 m, se encuentra bosque de *Abies religiosa* acompañado en ocasiones por *P. ayacahuite*, *Alnus jorullensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, y *Cupressus lindleyi*. Arriba de los 4000 m se encuentra pastizal alpino de gramíneas amacolladas tales como: *Muhlenbergia macroura*, *M. quadridentata*, *Festuca toluecensis*, *F. Amplissima* y *Calamagrostis toluensis*. En el estrato rasante, algunas especies de musgos.

## 5.5 RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA DE MANANTLÁN (RBSM)

El nombre de esta región proviene del náhuatl "amanalli", que significa lugar de manantiales o donde se estanca el agua de lluvia. Es un macizo montañoso que forma parte de la Sierra Madre del Sur cerca de su confluencia con el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Occidental. Se ubica en las coordenadas 19° 21', 19° 43' latitud norte y 103° 49', 104° 29' longitud oeste. Al suroeste de Jalisco en los municipios de Autlán, Casimiro Castillo, Cuautitlán, Tolimán, Tuxcacuesco; Comala y Minatitlán en el norte de Colima. Cuenta con una superficie de 139577 ha. Se establecen tres zonas núcleo: Manantlán-Las Joyas con una superficie de 34521 ha; El Tigre, 3385 ha; y Cerro Grande, 3993 ha (INE, 2007). La Sierra de Manantlán se dio a conocer internacionalmente en 1977 cuando se publicó el descubrimiento de *Zea diploperennis*, maíz silvestre perenne. El Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (IMECBIO), conserva tres centros comunitarios y una estación científica llamada "Las Joyas" (CONANP, 2007) (Figura 12).

El sustrato en Manantlán es mixto, con esquistos y granitos del Paleozoico, pequeños afloramientos sedimentarios del Cretácico y rocas ígneas del Terciario. Su formación está relacionada con la actividad de subducción de las placas del Pacífico y la construcción del Eje Neovolcánico. El relieve es accidentado con un ámbito altitudinal que va de los 400 a los 2860 m. Su condición transicional entre las regiones neártica y neotropical propicia una variedad de condiciones ambientales que se traduce en una diversidad de ecosistemas y especies.

Los grupos climáticos que se presentan de abajo hacia arriba, son el cálido-subhúmedo (Aw), semicálido A (C)w o (A)Cw y templado-subhúmedo Cw, según la clasificación de Köppen modificada por García. Hidrológicamente, forma parte de las cuencas de los ríos Armería, Marabasco y Purificación, sistemas que se subdividen dentro del área. Los órdenes de suelos son Litosoles, Regosoles, Fluvisoles, Rendzinas, Acrisoles, Gleysoles, Feozems, Luvisoles, Castañozems, Andosoles, Cambisoles, Chernozems y Vertisoles.

La vegetación es muy diversa incluye: selva caducifolia, selva subcaducifolia, bosque de pino-encino, palmar, bosque mesófilo y bosque de *Abies*. Se reportan más de 2900 especies de plantas vasculares pertenecientes a 981 géneros y 181 familias, que representan el 10% de la flora vascular de México. En hongos se han reportado 32 familias, 44 géneros y alrededor de 200 especies. Entre los endemismos más notables, el agave (*Agave colimana*), el madroño (*Arbutus occidentalis*), el llorasangre (*Croton wilburii*) y la milpilla o teocintle perenne, (*Zea diploperennis*), posiblemente el pariente silvestre más primitivo del maíz

Los bosques de coníferas son el tipo de vegetación predominante de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1983) y siguiendo la información proporcionada en Jardel (1990) se pueden observar los siguientes tipos de vegetación:

Bosque de *Pinus*. Ocupa la mayor extensión del área, se establece, entre los 1800 y los 2400 m, se han registrado ocho especies del género *Pinus* que forman manchones puros o mezclados, destacan por su frecuencia *P. douglasiana*, *P. herrerae*, *P. leiophylla*, *P. maximinoi* y *P. michoacana*. Asimismo, forman comunidades con varias especies de encinos.

Bosque de *Abies*. Como resultado de la explotación forestal los bosques de oyamel son pequeños manchones distribuidos en los 2000 a 2600 m asociados con *Cupressus benthamii* var. *lindleyi* y *Pinus* spp.

Los principales problemas que enfrenta son: incendios forestales, el cambio de bosque por pastizales, tala clandestina, cacería furtiva, la presión sobre poblaciones de plantas por la explotación de recursos forestales no maderables; contaminación de ríos y arroyos por aguas residuales, desechos sólidos y agroquímicos, erosión y pérdida de fertilidad de suelos (INE y CONANP, 2007)



Figura 12. Bosque de *P. douglasiana* en la Estación Científica "Las Joyas" en RBSM"

## 5.6 PARQUE NACIONAL BENITO JUÁREZ (PN-BJ)

Se localiza en Oaxaca en los municipios de San Pablo Etla, San Agustín Etla y San Andrés Huayapan, tiene una superficie de 3180 ha. Las coordenadas geográficas son 17°06' y 17°10' 05" Lat N. Entre 96°40' y 96°44' 20" y Long W (Vargas, 1984). Tiene un rango altitudinal que va de los 1650 a los 3050 m. El clima es semicálido subhúmedo, con isoterma de 18 a 30°C e isoyeta de 700 milímetros y templado subhúmedo (Vargas, 1984). Los ríos principales que cruzan el parque son Huayapan y San Felipe, que se enriquecen de varios arroyos de la zona y que en la actualidad aún son permanentes, pero cuentan con muy poca agua

La vegetación esta caracterizada por bosque de pino y encino en las partes altas de la serranía se encuentra *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *Quercus*, *Arbutus* spp y *Alnus* spp, mientras que en las faldas existen matorrales de encino y en las cañadas; selva baja caducifolia. (Figura 13).

En cuanto a la fauna silvestre, aún se pueden observar diversos géneros de aves y mamíferos, sin embargo, la cacería que se realiza en zonas, han disminuido notablemente la fauna silvestre, sin contar las pérdidas por modificaciones del hábitat, incendios y sequía (Vargas, 1984).



Figura 13. Panorámica de bosque de *Pinus*, rumbo a la ciudad de Oaxaca

La problemática actual es el abandono, ganadería, tala, desmonte, aprovechamientos forestales clandestinos, incendios forestales, cacería, y el entubamiento del Río San Felipe, para abastecer de agua a la ciudad de Oaxaca (Vargas, 1984). En visitas recientes 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.

#### 5.7 SUBPROVINCIA FISIAGRÁFICA "MIL CUMBRES" (SPF-MC)

Se localiza entre los estados de México y Michoacán. Sus coordenadas geográficas son: 19° 59' 42" y 19° 57' 07" latitud N y 100° 09' 54"; y 100° 06' 39" longitud W y para el corredor Chincua-Cerro Pelón son 19° 44' 27" y 19° 18' 32" latitud N y 100° 22' 26" y 100° 09' 07" longitud W. Tiene una extensión de 56259 ha, divididas en 3 zonas núcleo y 2 zonas de amortiguamiento.

El área pertenece a la Provincia Fisiográfica del Eje Volcánico Transversal. La altitud, varía de los 2400 a 3600 m. La región presenta en general un clima Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas medias anuales de 8° a 22° C, precipitaciones promedio desde 700 mm hasta 1250 mm y temperaturas mínimas para el mes más frío de entre -3° y 18° C. La composición litológica de la zona incluye andesitas, basaltos, riolitas, granitos, esquistos y tobas, lo que determina la presencia predominante de andosoles, húmico y órtico y en menor extensión acrisoles y planosoles, feozem, litosoles, luvisoles y en menor proporción cambisol, regosol y vertisol (INE, 2001).

La vegetación incluye bosque de *Abies*, este se distribuye desde los 2400 hasta 3600 m, es la comunidad más representativa de la zona núcleo, ocupa importantes extensiones del subsistema montañoso, constituye el hábitat de la mariposa Monarca. En áreas perturbadas, principalmente en laderas, se desarrolla un estrato arbóreo inferior con presencia de los géneros *Quercus*, *Alnus* y *Arbutus spp.* El bosque de pino, se presenta en manchones aislados, la mayor parte de ellos se desarrollan a altitudes entre 1500 y 3000 m. asociados a los sitios más húmedos o en declives fuertes, como es el caso de las cañadas, por debajo de los 2000 m, en el primer caso predomina el *P. pseudostrabus*, en suelos más someros o en condiciones secas se da lugar a asociaciones de *P. rudis* y *P. teocote*, así como *P. oocarpa* y *P. michoacana* en las partes medias y bajas muy empinadas (Figura 14).

El estrato arbustivo y el herbáceo se encuentran representados por los géneros *Juniperus*, *Senecio*, *Eupatorium*, *Stevia* y *Archibaccharis spp.* El estrato rasante está dominado por musgos como *Thuidium* y *Minium spp.* y hongos basidiomicetos en las épocas de lluvias Entre los hongos se tienen reportados *Amanita muscaria*, *Lactarius sanguiflus*, *Russula brevipes*, *Lycoperdon spp.* *Gomphus spp.* *Ramaria sp.* *Clavariadelphus truncatus*, *Morchella spp.* *Helvella crispa* y *Boletus sp.*, algunos de ellos de importancia para las economías domésticas de autoconsumo (INE, 2007).



Figura 14. Vista panorámica del Nevado de Toluca, en la Subprovincia Fisiográfica "Mil Cumbres".



## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en cinco zonas de la República Mexicana caracterizadas por presentar bosques templados en diferentes pisos altitudinales y suelos con diferente origen geológico; en los Parques Nacionales Izta-Popo (PN-IP), Zoquiapan y Anexas (PN-ZA), en la Subprovincia Fisiográfica Mil Cumbres (SPF-MC) localizados en el Eje Neovolcánico Transversal, la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM) ubicada en la Sierra Madre Occidental y el PN Benito Juárez (PN-BJ) en la Sierra Madre del Sur. Realizando un muestreo aleatorio simple en un total de 36 unidades ecológicas (UE), distribuidas de la siguiente manera: 9 (UE) en el PN Izta-Popo, 4 en el PN Zoquiapan y Anexas, 5 en la RBSM, 11 en SFMC y 7 en PN-BJ.

La selección de cada UE se hizo con apoyo cartográfico y con base en un gradiente altitudinal, bajo la condición de que cada UE tuviera como vegetación dominante a los géneros *Pinus* y *Abies*. Para la descripción de cada UE, se hicieron recorridos en campo y se eligieron sitios representativos del tipo de suelo y vegetación.

### 6.2 FASE DE CAMPO

En cada una de las UE se trazaron de manera perpendicular a la pendiente más próxima, cuadrantes de 50 × 20 m, que corresponden a 0.1 ha, tomando en cuenta que en cada cuadrante los árboles estuvieran vigorosos y sanos y que en él existieran individuos juveniles. Se registró el grado de perturbación y su posible causa (incendio forestal, ocoteo, tala, cambio de uso de suelo) o por el contrario, el grado de conservación (si había o no regeneración). 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. En cada UE se registró la densidad del arbolado adulto y juvenil. Para conocer el volumen maderable como indicador de productividad; se midió con cinta métrica el perímetro a la altura del pecho (PAP) de árboles adultos-sanos y con el dato de la pendiente y por relación trigonométrica se calculó su altura.

### 6.2.1 TOMA DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Para los análisis físicos y químicos del suelo, se recolectaron dentro del cuadrante establecido, al menos 4 muestras de suelo de 0.2 m de profundidad con pala recta. Las muestras se guardaron en bolsas plásticas, etiquetándolas con nombre y número del sitio, fecha y profundidad para su traslado al laboratorio (Figura 15). En el laboratorio se formó la muestra compuesta con los suelos recolectados de cada UE, se colocaron en charolas de plástico en un lugar ventilado y se secaron a temperatura ambiente. Una vez seca se tamizó con malla del # 20 y se guardó en botes de plástico etiquetados con los siguientes datos: Fecha de colecta, localidad, sitio, altitud, coordenadas en UTM, vegetación, uso del suelo y se almacenó para su análisis físico y químico: porcentajes de textura, humedad, espacio poroso, densidad aparente, pH activo y potencial, conductividad eléctrica, porcentaje de MOS y bases intercambiables.



Figura 15. Toma de las muestras de suelo de 0.2 m de profundidad y con el cilindro

### 6.2.2 TOMA DE LA MUESTRA FOLIAR

Se seleccionaron de cuatro a ocho individuos de las especies presentes que no mostraran daño aparente por ocoteo, incendios severos o plaga. Se colectaron ápices foliares del año reciente y se formaron muestras compuestas, se guardaron en bolsas de papel, con el registro de los siguientes datos: nombre del sitio, fecha, género y especie, para su traslado al laboratorio (Figura 16).



Figura 16. Toma de la muestra foliar en árboles con altura mayor a 25 m

Las especies recolectadas se determinaron taxonómicamente con las claves de pinos mexicanos (Mártinez, 1992). En el laboratorio las muestras se secaron en la estufa marca Felisa a una temperatura de 60°C, hasta que las muestras alcanzaron el peso constante, se molieron y tamizaron en molino marca Thomas Scientific, con malla del # 20 (Figura 17).

Finalmente se guardaron las muestras en frascos de plástico con los datos: fecha de colecta, localidad, sitio, coordenadas en UTM, especie y género, para proceder a su análisis químico.



Figura 17. Estufa Felisa y Molino Thomas Scientific

## 6.3 FASE EXPERIMENTAL

### 6.3.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE PLANTA

El análisis químico de tejido foliar incluyó la determinación de N, P, K, Ca y Mg.

→ Nitrógeno. Método semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos (Brenmer, 1965, citado por Jackson, 1982) (Figuras 18 y 19).



Figura 18. Digestión para determinación de N-total (transformación de N orgánico a inorgánico).



Figura 19. Destilación por arrastre de vapor, para obtener el N en forma de  $\text{NH}_4^+$

→ Fósforo total. Método Vanadato-molibdato (Allan, 1971) (Figura 20).

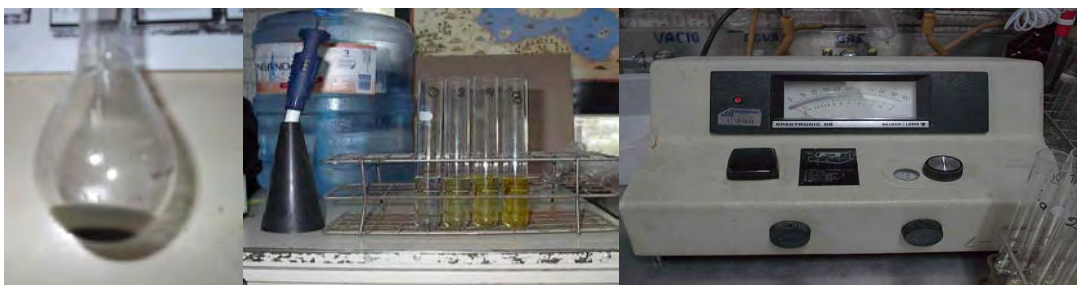


Figura 20. Extracto vegetal, desarrollo del color y espectrofotómetro de luz visible

- Potasio. Por digestión ácida y espectroscopia de emisión atómica a una longitud de onda de 766.5 nm (Jackson, 1982) (Figura 21).
- Calcio. Por digestión ácida y espectroscopia de absorción atómica 422.7 nm (Jackson, 1982) (Figura 21).
- Magnesio. Por digestión ácida y espectroscopia de absorción atómica a una longitud de onda. 285.2 nm (Jackson, 1982) (Figura 21).



Figura 21. Lecturas de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, y Mg<sup>2+</sup> en el espectrofotómetro de absorción atómica

### 6.3.2 ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DEL SUELO.

Los análisis físicos se realizaron con las siguientes metodologías:

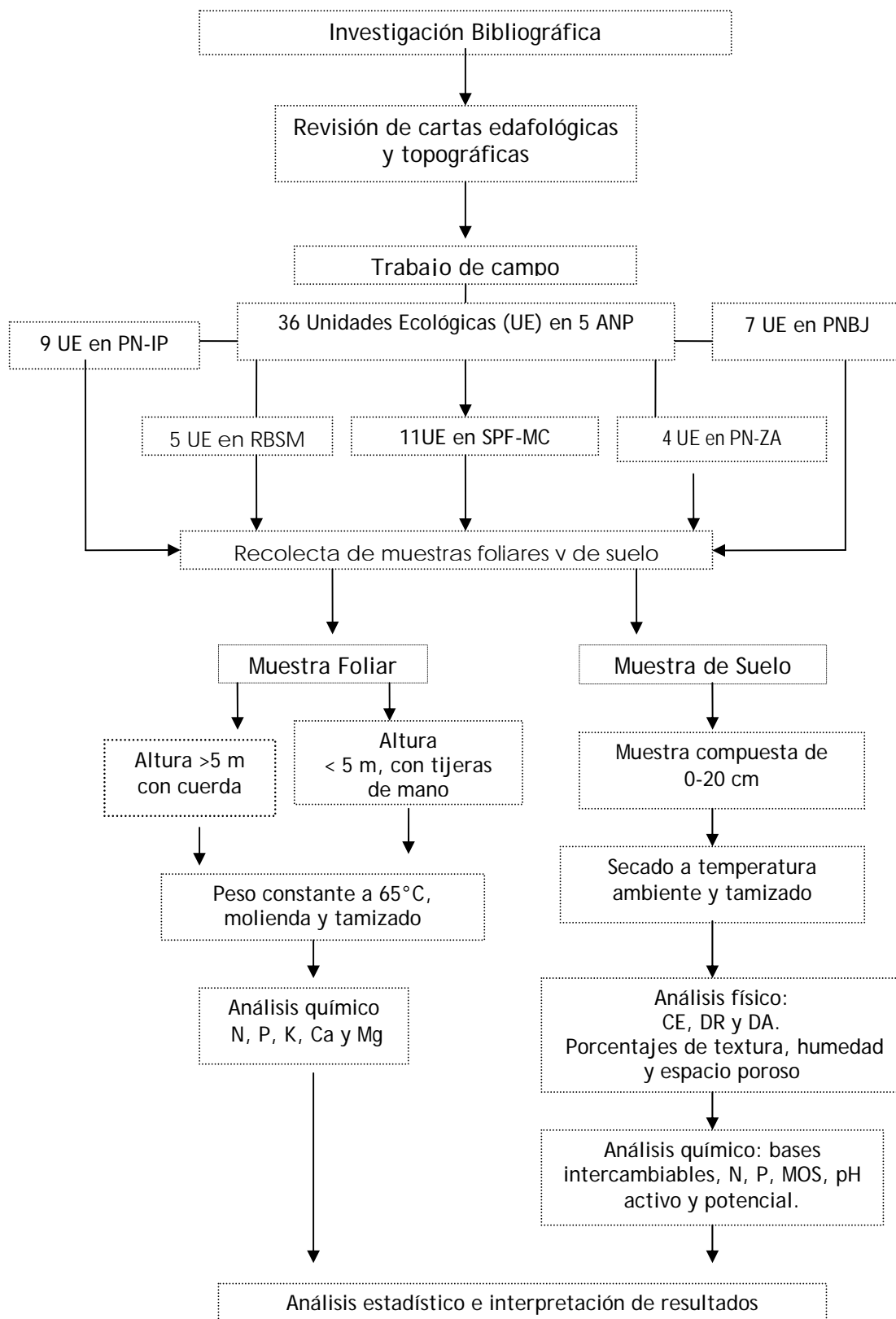
- Textura: Método de la probeta o Bouyoucos (Bouyoucos, 1963, citado por Palmer y Truoch, 1989).
- Densidad aparente por el método de la probeta y densidad real por el método del picnómetro (Domínguez y Aguilera 1987).
- Conductividad eléctrica de la solución del suelo relación 1:5. Se midió con conductímetro (Jackson, 1982).
- pH Activo o Real. Relación 1:2 con H<sub>2</sub>O. Método potenciométrico (Jackson, 1982).
- pH Potencial. Relación 1:2 con KCl 1N. Método potenciométrico (Jackson, 1982).

- Materia orgánica. Método de Walkley-Black (Jackson,1982)
- Bases intercambiables ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Por extracción con acetato de amonio 1N y cuantificación por espectroscopia de absorción atómica (Rodríguez, 2002)
- N total. Método semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965 citado en Jackson 1982).
- P extractable, método de Bray-1, Bray y Kurtz (Jackson,1982)

#### 6.4 FASE DE GABINETE

Con los datos del análisis físico y químico de suelo y químico de tejido foliar se realizó una base de datos en Excel, que incluyó las concentraciones de los macroelementos N, P, K, Ca y Mg en tejido vegetal y los resultados de los parámetros físicos y químicos. Posteriormente se realizó un análisis de varianza y correlaciones entre los parámetros físicos y químicos del suelo con el contenido de nutrimentos en tejido foliar, con el programa SAS (Statistical Analysis System).

### 6.5 DIAGRAMA DE FLUJO



## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA GENERAL DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Como ha sido ampliamente documentado, la distribución de la vegetación depende de la temperatura, la presión y humedad atmosférica; factores ecológicos que cambian con la altitud e influyen en la fisiología de la planta, sin excluir la exposición y condiciones edáficas favorables. El trabajo de campo en el PN-IP se realizó de marzo a octubre del 2006, se trabajó en un intervalo altitudinal entre 2486 y 3902 m, donde las pendientes del terreno fueron de 17 a 70 %, se clasifican de ligeras a extremadamente inclinadas. Spurr (1982) mencionó que la topografía afecta la profundidad del suelo, el desarrollo del perfil, la textura, la estructura de la superficie del suelo y subsuelo, influenciando de esta manera en la composición, desarrollo y productividad del bosque

En los sitios de interés particular la vegetación arbórea dominante estuvo representada por los géneros *Pinus* y *Abies*. De estos; *Pinus* se encontró a lo largo de todo el gradiente altitudinal, con las siguientes especies: *P. ayacahuite*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae* y *P. hartwegii*. Rzedowski (1983) mencionó que los bosques de coníferas son frecuentes en zonas de clima templado y frío y en México, la distribución de estos se restringe a estrechas zonas altitudinales de las regiones montañosas, tal como se observó en este estudio.

El género *Abies* se observó en altitudes que van de los 3000 a 3500 m, aunque en Sacromonte y Amecameca, se vieron algunos ejemplares a una altitud de 2486 m, se sabe que *Abies religiosa* prefiere suelos ligeros y con altos porcentajes de humedad.

En la SPF-MC, el muestreo se realizó en los meses de marzo, abril y noviembre del 2006. Se trabajó en un intervalo altitudinal entre 2420 y 3798 m, las pendientes del terreno estuvieron entre 10 a 45 %, de ligeras a poco inclinadas, la exposición que predominó fue la W y NW. El cambio de vegetación fue notable con incremento de la altitud. De 2400 a 2545 m se observó, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae* y *Cupressus spp.* En 2855 m se observaron algunos individuos de *Abies religiosa* y *Cupressus spp.* (Bosque mixto), sin embargo *Pinus* siempre fue la vegetación dominante observando que desafortunadamente tiene tala clandestina (Figura 23). En un intervalo altitudinal semejante al observado en el PN-IP se encontró entre 3166 a 3241m, como vegetación dominante al bosque de *A. religiosa*, de 3500 a casi 3800 m *P. hartwegii* y zacatonal (Figura 22).





Figura 22. Bosque de *P. hartwegii* en asociación con zacatonal en Raíces, Estado de México



Figura 23. Tala en San Cayetano, Villa de Allende, Estado de México

En esta área natural (PN-BJ) el muestreo se realizó en abril del 2006, entre los 1818 y 3047 m de altitud, en este intervalo se encontró una buena distribución de bosque de *Pinus*, debajo de esta altitud no son vegetación dominante, los pinos se presentaron en laderas y en cañadas con diferente exposición predominando la orientación hacia el N, se encontraron en asociación con encinos, alnus y leguminosas, en este gradiente altitudinal se encontró amplia riqueza y diversidad del género *Pinus* que en algunos casos no fue posible identificar por carecer de estructuras reproductivas, los individuos que si fueron identificados fueron: *P. ayacahuite* variedad *oaxacana*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. patula*, *P. hartwegii*, *Abies religiosa*, diversas especies de *Quercus* y *Juniperus*, siendo *P. ayacahuite* var. *Oax*, *P. teocote* y *P. hartwegii*, los dominantes entre 2114 a 3215 m.

La pendiente fue de 45 y 60 %, que aunque fuertemente inclinada esta no es limitante para el establecimiento del género *Pinus*, aunque la altitud si influye en su distribución. En el sitio Tlalixtac e Ixtepeji, un bosque mixto (Pino-Encino) con alta diversidad florística, se observo ocoteo, esto es grave ya que al estar expuesta la corteza del árbol esta es infectada por bacterias, hongos y plagas que pueden provocar su muerte (Figura 24).



Figura 24. Ocoteo en Tlalixtac e Ixtepeji, Oaxaca

En la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM). El muestreo se realizó en mayo del 2006, entre los 1952 y 2387 m de altitud, en este intervalo se encontró una buena distribución de bosque de *Pinus*, se encontraron en asociación con *Quercus* y *Arbutus*, en este gradiente altitudinal se encontró; *P. pseudostrobus*, *P. douglasiana*, se apreció la presencia de árboles descortezados provocado por incendio. *Abies religiosa* se encontró en asociación con *Alnus* y *Cupressus spp*, con pendiente de 30 % y una exposición en la mayoría de los puntos de muestreo NE. Spurr (1982), menciona que las elevaciones orientadas hacia el N reciben menos luz solar y por ellos son áreas frías y húmedas.

En Parque Nacional Zoquiapan y anexas (PN-ZA) se trabajó entre los 2719 y los 3218 m de altitud en septiembre del 2006. Los sitios que se estudiaron exhibieron pendientes con 30 %, muy semejante al PN-IP, esto considerando que pertenecen al mismo sistema orográfico. Los géneros de árboles dominantes en esta zona son *Pinus*, *Abies* y *Quercus*; el genero *Pinus* se encontró entre 2700 y 3000 m, mientras que el de *Abies* se encontró a partir de los 3000 m, junto con el género *Quercus* (cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción fisiográfica de las zonas de estudio

Localidad	LATN ____UTM____	LONG O	Altitud m	Exposición	Pendiente %	Vegetación
PN-IP						
Sacromonte	2114572	523782	2486	E	.	<i>P. ayacahuite</i> y <i>A. religiosa</i>
Cañada "La Calzada"	2110371	533641	3306	.	.	<i>Pinus sp.</i> y <i>A. religiosa</i>
Carr. A Nexapa	2110985	533915	3383	S	31	<i>Abies</i> y <i>Pinus</i>
Apatlaco	2110985	533915	3582	S	31	<i>Pinus sp.</i>
Paso de Cortez	2111090	538525	3621	E	17	<i>P. hartwegii</i>
Carr. A Xalixintla	2110290	543253	3621	NE	20	<i>Pinus sp.</i>
Santiago Xalixintla	2109544	545460	3624	E	.	<i>P. teocote</i> y <i>P. ayacahuite</i>
Paso de Cortez	2110914	538622	3639	NW	30	<i>Pinus sp.</i> y <i>P. hartwegii</i>
La Joya	2112713	539300	3902	N	70	<i>P. hartwegii</i>
SPF-MC						
Carr. Valle de Bravo a Toluca	2119238	392926	2420	NW	30	<i>P. pseudostrobus</i>
Estación "Vida Silvestre"	2141487	386764	2489	NE	12	<i>P. montezumae</i> , <i>P. seudoastrobus</i>
Donato Guerra	2134527	382174	2524	S	10	<i>P. pseudostrobus</i>
La Cumbre	2150559	367361	2527	E	10	<i>Pinus sp.</i>
Carr. Ocampo a Angangueo, Mich.	2164892	361351	2544	NE	25	<i>P. pseudostrobus</i>
Camino a la Comunidad "El Rosario"	2164885	361352	2545	NE	.	<i>Pinus sp.</i>
Límite Edo. Mex-Michoacán	2150027	374828	2855	E	45	<i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus sp.</i>
Carr. Marquesa a Malinalco	2131180	460312	3166	N	15	<i>A. religiosa</i>
Valle de los Conejos, RBMM*	2167228	367313	3230	E	15	<i>Pinus</i> , <i>Abies religiosa</i>

Santuario Mariposa Monarca	2167332	367332	3241	E	.	<i>Abies religiosa</i>
Ajusco	2123523	470689	3526	N	17	<i>P. hartwegii</i>
. Raíces hacia Cerro Gordo	2115573	414275	3569	W	22.5	<i>P. hartwegii</i>
Nevado de Toluca	2115961	416976	3749	W	24	<i>P. hartwegii</i>
Nevado de Toluca	2116266	416962	3798	W	17	<i>P. hartwegii</i>
PN-BJ						
San Jerónimo Xola	1918646	707559	1818	N	50	<i>P. montezumae</i>
A 25Km de Oaxaca	1911918	714640	1818	N	50	<i>P. ayacahuite var. Oaxacana, P. teocote</i>
Camino de Oax. A Guelatao	1896519	753176	2114	N	60	<i>P. teocote</i>
Camino Tlalixtac a Ixtepeji	1897552	754441	2430	N	60	<i>P. teocote</i>
La Cumbre	1900178	749490	3215	NE	45	<i>P. teocote, P. ayacahuite var Oaxacana, P. hartwegii</i>
Antena microondas	1901916	750783	3047	N	45	<i>Abies religiosa</i>
RBSM						
Estación Científica "Las Joyas"	2165754	576104	1952	NE	30	<i>P. douglasiana</i>
Estación Científica "Las Joyas	2162809	583012	2134	NE	30	<i>P. douglasiana</i>
Estación Científica "Las Joyas	2163303	582498	2326	NE	30	<i>P. douglasiana</i>
Estación Científica "Las Joyas	2163297	583497	2327	W	30	<i>P. pseudostrabus, P. douglasiana</i>
Estación Científica "Las Joyas	2163713	583006	2387	NE	30	<i>Abies religiosa y P. pseudostrabus</i>
Nevado de Colima	.	.	.	N	30	<i>Abies religiosa y Alnus</i>
PN-Z						
Zoquiapan	2151755	522195	2719	W	.	<i>P. ayacahuite</i>
Zoquiapan	2141309	522925	2897	.	.	<i>P. pseudostrabus y P. teocote</i>
Zoquiapan	2149216	524894	3068	N	30	<i>P.pseudostrabus, P. teocote, P. hartwegii</i>
Zoquiapan	214122	524685	3218	W	.	<i>Abies religiosa</i>

## 7.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El valor promedio de conductividad eléctrica (CE) para los suelos del PN-IP, fue de  $0.08 \text{ dS m}^{-1}$ , en la SPF-MC se encontró entre 0.041 y 0.19 con un valor promedio de  $0.093 \text{ dS m}^{-1}$ , en PN- BJ se encontró entre 0.03 y 0.15 y un valor promedio de  $0.091 \text{ dS m}^{-1}$ , en la RBSM fue entre 0.02 y 0.16 con un valor promedio de  $0.090 \text{ dS m}^{-1}$  y en el PN-ZA se encontró entre 0.11 y  $0.16 \text{ dS m}^{-1}$  estos valores revelan que los suelos poseen características poco salinas y sódicas, se confirma que *Pinus y Abies*, prefieren los suelos moderadamente ácidos, ya que en las cinco zonas de estudio la CE es baja. Esto se debe quizás al origen ígneo y tendencia ácida del suelo, a la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS), y a la precipitación pluvial que esta en un intervalo entre 659.3 a 1885 mm al año. La MOS mostró una relación con significancia estadística con la densidad aparente, la arcilla, la materia orgánica, el magnesio y fósforo del suelo (*Apéndice a*).

La densidad aparente (DA) es la relación de la masa del suelo seco al horno por unidad de volumen total y se expresa en  $\text{g cm}^{-3}$ , el volumen total considera el volumen ocupado por los poros y los sólidos, constituye un criterio útil para evaluar el drenaje y compactación del suelo y con ello estimar la profundidad a la que pueden penetrar las raíces y la capacidad que tienen estas para almacenar agua en la zona radical (Aguilera, 1989). En el PN-IP se obtuvieron valores de 0.69 a  $1.15 \text{ g cm}^{-3}$ , León (2007) informó valores de DA para el PN-IP en un intervalo entre 0.75 a  $1.34 \text{ g cm}^{-3}$ .

En la SPF-MC, la DA se halló en un intervalo entre 0.50 a  $0.94 \text{ g cc}^{-3}$ , en el PN-BJ se obtuvieron valores de 0.72 a  $1.44 \text{ g cm}^{-3}$ , en la RBSM estuvo entre 0.73 y  $1.09 \text{ g cm}^{-3}$ , en el PN-ZA, los valores estuvieron en un intervalo entre 0.91 a  $1.12 \text{ g cm}^{-3}$ , en general son suelos ligeros. Con respecto al estado nutrimental esta variable tuvo influencia, sobre el N foliar ( $r=-0.42$ ;  $p \leq 0.05$ ), P foliar ( $r=0.23$ ;  $p \leq 0.05$ ) y Mg foliar ( $r=0.23$   $p \leq 0.05$ ).

Cruz (2000) reporta que valores de DA menores a  $1.6 \text{ g cm}^{-3}$  en suelos de textura gruesa, permite un buen desarrollo de las plantas. La NOM-021-RECNAT-2000 da valores de DA  $<1$  para suelos volcánicos y orgánicos, en tanto que la Soil Taxonomy menciona que la DA para los andosoles debe ser cercana a 0.9 o menos (Cruz, 2000; citado en León, 2007). El estudio de las correlaciones mostró diferencia significativa de la DA con el contenido de N, Ca y Mg del suelo, la porosidad, la MOS y la CE (*Apéndice a*).

Los valores de densidad real (DR) en el PN-IP se encontraron entre 1.87 y 2.78 g cm<sup>-3</sup>, García (2003), encontró valores de 2.01 a 2.56 g cm<sup>-3</sup>. En la SPF-MC en un intervalo entre 1.44 y 2.06 g cm<sup>-3</sup>, en el PN-BJ entre 2.34 y 1.70g cm<sup>-3</sup>, para la RBSM un intervalo entre 1.65 y 1.99g cm<sup>-3</sup> y en PN-ZA valores entre 2.0 y 2.27g cm<sup>-3</sup> (Cuadro 5).

La porosidad guarda una relación inversa con la DA ya que cuando esta última es menor, el espacio poroso (EP) es mayor ( $r=0.73$ ). Esta variable tuvo correlación con el N foliar ( $r=0.21$ ;  $p \leq 0.05$ ), P foliar ( $r=-0.20$ ;  $p \leq 0.05$ ), K foliar ( $r=-0.22$ ;  $p \leq 0.05$ ), Ca foliar ( $r=-0.22$ ;  $p \leq 0.05$ ) y Mg foliar ( $r=-0.24$ ;  $p \leq 0.05$ ) (*Apéndice a*).

En el PN-IP se encontró un porcentaje promedio de porosidad de 57.69, en la SPF-MC fue de 58.25, en el PN-BJ fue de 51.21, en la RBSM de 50.89 y en PN-ZA de 52.53. El EP es importante porque los poros del suelo están totalmente llenos de aire y agua que se mueven a través de los espacios porosos. Así la provisión y tasa de movimiento del agua y el oxígeno para las plantas están relacionadas con la cantidad y tamaño de los poros del mismo (Aguilera, 1989; Cruz, 2000).

La textura esta relacionada con el tamaño de las partículas minerales que forman al suelo y esta determinada por la mineralogía de los componentes. Esta influye de forma indirecta en la productividad forestal, por si sola tiene poco efecto sobre el crecimiento de los árboles, sin embargo tomando en cuenta la humedad, los nutrientes y la aireación, esta es un factor importante. (Spurr, 1982; Pritchett, 1991). El grupo textural para el PN-IP fue arena-migajonosa o migajón-arenoso (textura gruesa). En la SPF-MC se encontró; migajón-arenoso, migajón limoso y migajón arcillo arenosos, Buckman (1991) menciona que el grupo de suelos migajonosos, también llamados francos, son difíciles de estudiar debido a la mezcla de partículas de arena, limo y arcilla. En el PN-BJ predominó el porcentaje de arena, la clase textural fue: migajón arenoso y arena migajón, estos suelos son muy aireados, ligeros y retienen poco agua, esta afecta el desarrollo de la raíz primaria a través de la influencia sobre la aireación y retención de nutrientes o en la asimilación de los nutrimentos por las raíces de las plantas, al haber deficiencia de agua, los nutrimentos tienen poca movilidad en la solución del suelo y luego entonces; estos difícilmente penetran la raíz de la planta, tomando en cuenta que las diferentes especies vegetales varían marcadamente la capacidad de

penetrar los suelos (Spurr, 1982). En la RBSM la clase textural fue migajón arcilloso y arenoso aunque predominaron las partículas de limo y arcilla y para el PN-ZA, la clase textural fue migajón arenoso, en general son suelos de textura gruesa (Cuadro 5).

El agua es uno de los constituyentes más variables del suelo y según el grupo de suelo puede contener diversos valores de porcentajes de humedad según la temporada, en el PN-IP tuvo un porcentaje promedio de 30.87, en SPF-MC fue de 28.33, el PN-BJ tuvo el porcentaje más bajo (14.34 %) este valor pudo verse influenciado por la época de toma de muestras que fue en abril (temporada de secas) y también por lo que menciona Spurr (1982), las superficies cóncavas con pendientes muy pronunciadas, tienden a estar expuestas a fuertes vientos, sujetas a erosión y desgaste, ocasionando la pérdida de humedad y con ello que sean áreas secas, tal como se observó en campo. En la RBSM con un porcentaje de 22.46 y por último el PN- ZA con 37.79. Bockeim (1991) menciona que los suelos forestales, dada su textura y densidad tienen bajo contenido de humedad (Cuadro 5).

Con respecto al estado nutrimental de los pinos esta variable tuvo influencia, ya que se correlacionó con el contenido de P ( $r=-0.32$ ;  $p \leq 0.05$ ), K ( $r=-0.28$ ;  $p \leq 0.05$ ) y Ca ( $r=-0.28$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice a).

Cuadro 5. Propiedades físicas del suelo, valores promedio de las ANP

ANP	CE	DR	DA	Porosidad	Humedad	Clase textural
	$\text{dSm}^{-1}$	$\text{g cm}^{-3}$			%	USDA
PN-IP	0.08	2.3	1.0	57.7	30.8	Arena migajón
SPF-MC	0.09	1.8	0.8	58.2	28.3	Migajón arenoso
PN-BJ	0.09	2.1	1.1	51.2	14.3	Migajón arenoso
RBSM	0.09	1.9	0.9	56.9	22.4	Migajón arc-arenoso
PN-ZA	0.14	2.1	1.0	52.5	37.7	Migajón arenoso
Promedio $\pm$ DE	0.09 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.1	55.3 $\pm$ 3.2	26.7 $\pm$ 8.8	
Intervalo	0.08-0.1	1.8-2.3	0.8-1.0	51.2-58.2	14.3-37.7	

Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo en los sitios de estudio

Localidad	Vegetación	CE	DR	DA	Porosidad	Humedad	Limo	Arcilla	Arena	Clase textural
		dS m <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>		%					
<b>Parque Nacional Izta-Popo</b>										
Paso de Cortez	<i>P. hartwegii</i>	0.04	1.87	0.99	47.15	20.48	18.72	4.88	76.4	arena franca
Xalixintla	<i>Pinus sp</i>	0.02	2.44	1.04	57.74	26.64	18	6.98	75.12	arena migajon
La Joya	<i>P.hartwegii</i>	0.07	2.02	0.69	65.78	25.55	24.72	4.88	70.4	migajon arenoso
Apatlaco	<i>Pinus sp</i>	0.12	2.58	1.04	59.06	9.85	24	4.88	71.12	arena migajon
Nexapa	<i>Abies y Pinus</i>	0.06	2.34	1.15	50.61	8.52	29.28	3.6	68.12	migajon arenoso
Sacromonte	✧ y <i>Abies</i>	.	.	0.98	.	.	36.1	7.38	56.52	migajon arenoso
Cañada "La Calzada"	<i>Pinus y Abies</i>	0.12	2.78	1.06	.	39.97	28	3.38	68.62	migajon arenoso
Paso de Cortez	<i>P. teocote</i>	.	2.23	0.99	.	57.99	10	5.38	84.62	arena migajon
Intervalo		0.02-0.12	1.87-2.78	0.69-1.15	47.15-65.78	8.52-57.99	10-36.1	3.38-7.38	56.52-84.62	.
Promedio ± DE		0.08±0.04	2.38±0.32	1.01±0.13	57.69±7.33	30.87±17.36	24.99±8.01	5.41±1.42	72.84±8.05	.
<b>Subprovincia Fisiográfica Mil Cumbres</b>										
Carr. Marquesa a Malinalco	<i>Abies</i>	0.09	1.91	0.86	54.49	16.52	28	10.88	61.12	migajon arenoso
Nevado de Toluca	<i>P. hartwegii</i>	0.04	1.97	0.81	58.50	21.76	30	5.44	64.56	migajon arenoso
Pob. Raíces / Cerro Gordo	<i>P. hartwegii</i>	0.04	1.97	0.82	58.01	29.08	26	7.44	66.56	migajon arenoso
Carr. Ocampo a Angangueo, Mich.	<i>P. hartwegii</i>	0.04	1.60	0.79	50.43	15.94	39.29	9.44	51.28	migajon arenoso
Valle de los Conejos RBMM*	▲	0.19	1.49	0.67	54.50	19.39	18.72	26.72	55.56	migajon arcillo arenoso
Límite Edo. de México-Michoacán	<i>Pinus y Abies</i>	0.18	1.44	0.50	66.21	22.64	28	6.72	65.28	migajon arenoso
Estación "Vida Silvestre"	▲	0.08	1.91	0.71	62.45	19.63	41.28	15.44	43.28	migajon
Mil Cumbres	.	.	.	.	.	39.18	58.72	6.72	34.56	migajon limoso
Nevado de Toluca	<i>P. hartwegii</i>	0.04	1.8	0.77	57.2	39.18	58.72	6.72	34.56	migajon limoso
Raíces	<i>P. hartwegii</i>	0.04	.	.	.	29.29	.	.	.	.
La cumbre	<i>Pinus sp</i>	0.04	2.06	0.94	54.47	43.69	.	.	.	.
Intervalo	.	0.04-0.19	1.44-2.06	0.50-0.94	54.43-66.21	15.94-43.69	18.72-58.72	5.44-26.72	34.56-66.56	.
Promedio ± DE	.	0.09±0.05	1.82±0.23	0.78±0.12	58.25±4.77	28.33±9.87	38.75±14.28	12.22±6.77	54.33±12.84	.



Parque Nacional "Benito Juárez"										
San Jerónimo Xola	#	0.05	2.28	1.23	46.22	7.33	20	9.44	70.56	Migajón arenoso
A 25 Km de la Cd. De Oax.	*	0.03	2.28	1.44	31.88	5.99	28	5.44	65.56	Migajón arenoso
Camino de Oax. A Guelatao	<i>P. patula</i>	.	1.70	0.73	56.51	9.39	24	5.44	70.56	Migajón arenoso
Camino Tlalixtac e Ixtepeji	<i>P. patula</i>	0.04	2.34	1.27	44.79	21.08	20	7.44	72.56	Arena migajon
La cumbre	<i>P. teocote</i>	0.15	2.17	0.84	61.15	16.61	34.72	9.44	55.84	Migajon arenoso
Antena microondas	<i>Abies</i>	0.11	1.99	0.72	56.73	18.86	31.28	6.16	62.56	Migajon arenoso
Intervalo		0.03-0.15	1.70-2.34	0.72-1.44	31.88-61.15	5.99-21.08	20-34.72	5.44-9.44	55.84-72.56	
Promedio ± DE		0.09±0.05	2.16±0.24	1.12±0.31	51.21±10.77	14.34±6.43	27.53±6.05	7.54±1.86	67.31±6.30	
Reserva de la Biosfera "Sierra de Manantlán"										
Nevado de colima	<i>Abies</i>	0.10	1.65	1.09	33.91	17.28	6,04	4.24	89.72	arena
Estación Científica Las joyas	<i>P. douglasiana</i>	.	.	.	.	25.97	.	.	.	.
Estación Científica Las joyas	<i>P. douglasiana</i>	0.04	1.99	0.87	56.44	28.46	40	5.44	54.56	migajon arenoso
Estación Científica Las joyas	<i>P. douglasiana</i>	0.02	1.92	1.04	54.56	16.34	42	33.44	24.56	migajon arcilloso
Estación Científica Las joyas	▲	0.16	1.97	0.92	53.09	19.67	34	39.44	26.56	migajon arcilloso
Estación Científica Las joyas	▲, <i>Abies</i>	0.05	.	0.73	.	21.03	38	5.44	56.56	migajon arenoso
Intervalo		0.02-0.16	1.65-1.99	0.73-1.09	33.91-56.44	16.34-28,46	6.04-42	4.24-39.44	24.56-89.72	.
Promedio ± DE		0.09±0.05	1.88±2.53	0.96±0.14	50.89±10.49	22.46±4.82	33.67±14.81	21.24±17.33	56.95±26.63	.
Parque Nacional Zoquiapan y Anexas										
Zoquiapan	✧	.	2.27	1.12	41.86	30.24	22	6.16	71.84	arena migajon
Zoquiapan	▲, <i>P. teocote</i>	.	2.00	1.00	49.86	27.93	20	32.16	47.84	migajon arcillo arenoso
Zoquiapan	▲, <i>P. teocote</i>	0.11	2.15	0.95	56.01	49.20	26	10.16	63.84	migajon arenoso
Zoquiapan	<i>Abies</i>	0.16	2.14	0.91	57.45	32.40	36	14.16	49.84	migajon
Intervalo		0.11-0.16	2.0-2.27	0.91-1.12	41.86-57.45	27.93-49.20	20-36	6.16-32.16	47.84-71.84	.
Promedio ± DE		0.14±0.03	2.16±0.11	1.02±0.09	52.53±7.09	37.79±9.67	28±7.11	18.96±11.47	61.04±11.47	.

▲ *P. pseudostrabus*, ✧ *P. ayacahuite*, # *P. montezumae*, \* *P. ayacahuite var. Oaxacana*, RBMM\* Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca.

### 7.3 PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

La acidez se mide en términos de pH, el cual depende de las concentraciones de iones  $H^+$  y  $OH^-$  en la solución del suelo y va a reflejar las propiedades químicas de la porción mineral como las propiedades químicas del residuo orgánico depositado como mantillo. Los suelos forestales normalmente están en un rango que van desde muy ácido pH 4 a levemente ácido pH 6.5. Se han realizado, muchos esfuerzos para relacionar el pH del suelo con la distribución y crecimiento de los árboles y otras plantas, sin embargo la distribución general de los árboles esta más estrechamente relacionada con el macroclima y las condiciones de humedad que con el pH, a menudo es la competencia entre las especies la condición que influye (Spurr, 1982; Arbestain *et al.*, 2004).

La mayor parte de los suelos forestales van de moderada a extremadamente ácidos (6.5a 3.5) como resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la hojarasca y la lixiviación de las bases del suelo mineral superficial. Con algunas excepciones las especies forestales están bien adaptadas a las condiciones de suelos ácidos, de hecho crecen mejor en un medio moderadamente ácido (Pritchett, 1991). Se ha observado que la acidez de la mayor parte de los suelos forestales varía ligeramente con los cambios estacionales, con un ligero aumento durante el periodo de invierno y los mínimos en verano, rara vez los cambios son superiores a la unidad de pH (Nehring, 1934, citado por Pritchett, 1991). Esta variable se correlaciono con el Ca foliar ( $r=0.31$ ;  $p \leq 0.05$ )

(*Apéndice a*).

El pH activo en el PN-IP tuvo un valor promedio de 6.52 mientras que el pH potencial fue de 4.88, en este sentido, el N, el Ca, el Mg y el K, en estos suelos tendrían baja disponibilidad para que fueran aprovechados por las plantas además de una moderada deficiencia en bases si los valores de pH son menores a 5.0, según Aguilera (1989).

En la SPF-MC el pH tuvo un valor promedio de 5.58 y el pH potencial de 5.11, en el PN-BJ el pH tuvo un valor promedio de 5.44 y el pH potencial de 4.57, en la RBSM el pH fue de 5.89 y pH potencial de 5.53, en el PN-ZA fue de 6.39 y el pH potencial de 5.3, sin embargo los cambios en el contenido de agua del suelo, la remoción de nutrientes por las raíces vegetales y las actividades químicas de los organismos del suelo en conjunto producen un cambio constante en el balance de intercambio de bases, estos valores están dentro de los intervalos propuestos por Spurr (1982) y Pritchett (1991) es evidente la adaptación de *Pinus* y *Abies*, hacia suelos ácidos atribuible

principalmente a la descomposición de hojarasca del mantillo y a la precipitación pluvial que lava las bases. Por los valores de pH y tipo de material parental, se pueden presentar deficiencia de N, P, K, Ca, Mg.

La materia orgánica del suelo (MOS) es una mezcla heterogénea debido a la cantidad de compuestos químicos que esta presenta, formada por compuestos orgánicos (plantas, animales y microorganismos) en proceso de descomposición (Rice y MacCarthy, 1991, citados por Ussiri, 2007). El contenido de MOS es de suma importancia en suelos forestales gracias a su papel en el almacenamiento y disponibilidad de nutrimentos (P y S), reservorio de C y la principal fuente de N (Buckman, 1991) es fuente de energía de la biomasa microbiana, influye en la retención de humedad y la capacidad de intercambio de cationes, da estructura al suelo (Fassbender, 1987; Ussiri, 2007) (Cuadro 7).

El PN-IP la MOS se halló en un porcentaje promedio de 7.55, en SPF-MC fue de 18.57. en el PN-BJ de 10.06, en RBSM de 11.41 y en PN-ZA de 6.33, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 para suelos volcánicos, el PN-IP, EL PN-BJ y el PN-ZA, están en la clase media (6.1-10.9), la RBSM en clase alta (11.0 -16.0) y la SPF-MC muy alto (> 16.1). Esta variable se correlacionó de forma negativa con el P foliar, ( $r=-0.19$ ;  $p \leq 0.05$ ), DA ( $r=-0.35$ ;  $p \leq 0.05$ ) pero positiva con el N y Mg del suelo ( $p \leq 0.05$ ) (Apéndice a).

En la figura 25 se observa la relación directa entre la materia orgánica del suelo y el N del suelo, ya que esta es la fuente principal de N en el suelo, no siendo así para el P (Figura 26), esto probablemente se debe al fenómeno de la fijación del fósforo en el suelo, la disponibilidad de iones fosfato en la solución del suelo se ve afectado por algunos cationes como el  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$  solubles que son comunes en suelos ácidos, la reacción ácida propicia que estos elementos precipiten con los iones  $PO_4^{=}$ , formando compuestos insolubles y por lo tanto no aprovechables para las plantas. Otro caso es cuando el P es retenido por medio de la adsorción superficial de iones  $PO_4^{=}$  en las partículas coloidales del suelo (MOS), arcillas, óxidos e hidróxidos de  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  y  $Mn^{2+}$  (Van der Zee *et al.*, 1987; Frossard *et al.*, 2000, citados por Astudillo, 2007).

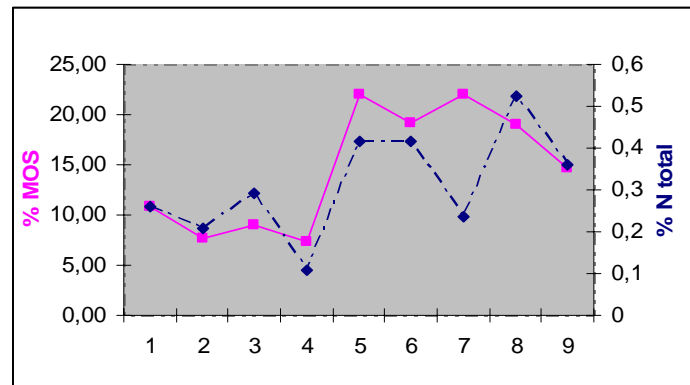


Figura 25. MOS y N del suelo

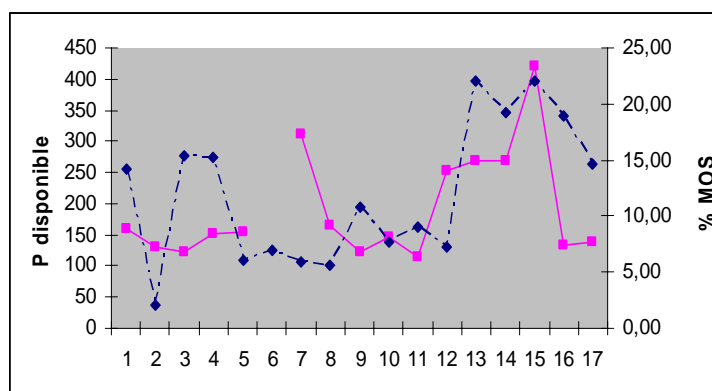


Figura 26. MOS y P disponible

El N es elemento con mayor deficiencia en el suelo, su principal fuente proviene de la MOS, solo es disponible mediante la mineralización del ión amonio por hongos, bacterias y animales del suelo y por actividad enzimática el nitrato. En este estudio se cuantifico el % N total, en el PN-IP se encontró un porcentaje promedio de 0.469, en la SPF-MC 0.858, en el PN-BJ de 0.347, para la RBSM se obtuvo 0.22 y en el PN-ZA de 0.21, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 para suelos volcánicos el porcentaje de N en la RBSM y el PN-ZA se ubican en la clase de bajo, en el PN-IP y el PN-BJ medio y la SPF-MC alto.

Sin embargo la principal causa es la baja tasa de mineralización, esta puede deberse a varios factores: la temperatura del suelo es muy baja, aireación inadecuada, la humedad del suelo es muy alta o deficiente, un pH muy ácido (Ballard, 1985). El N del suelo tuvo correlación positiva con la MOS ( $r=0.43$ ;  $p \leq 0.05$ ), el contenido de arcilla ( $r=0.38$ ;  $p \leq 0.05$ ), el K del suelo ( $r=0.45$ ;  $p \leq 0.05$ ) y negativa con la DA ( $r=-0.49$ ;  $p \leq 0.05$ ), el P disponible ( $r= -0.31$ ;  $p \leq 0.05$ ) y el Ca del suelo ( $r=-0.36$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice a).

Con respecto a la disponibilidad del P esta varía dependiendo la reacción del suelo, el P solo es disponible en un intervalo de pH entre 6 a 7. Una de las características más significativas es la fijación del P, teniendo en cuenta que en suelos ácidos este fenómeno sucede, en el PN-IP se obtuvo un valor promedio de 158.72, en la SPF-MC 184.26 y en el PN-ZA de 236.06, en suelos del PN-BJ se encontró un valor promedio de 129.79 y en la RBSM de 145.43 mg kg<sup>-1</sup> valores menores a las otras ANP de estudio, con base en la NOM-RECNAT-2000, estos suelos tienen alto contenido de fósforo.

Las bases intercambiables son importantes para conocer la reserva nutrimental del suelo y es de mucha utilidad en los estudios de fertilidad de suelos, de acuerdo a la NOM-RECNAT-2000, los valores de las bases intercambiables en general para las cinco zonas son bajos. En el PN-IP se encontró la concentración más alta de K<sup>+</sup> (0.84 c mol kg<sup>-1</sup>) y Mg (0.21 c mol kg<sup>-1</sup>), corresponde a lo que ya está documentado, los andosoles son suelos que se derivan de ceniza volcánica con altos contenidos de K<sup>+</sup>. En la SPF-MC, se encontró la mayor concentración de Na<sup>+</sup> (0.16 c mol kg<sup>-1</sup>) y la menor concentración en Ca<sup>++</sup> (0.39 c mol kg<sup>-1</sup>). El PN-BJ tuvo las concentraciones más bajas en K<sup>+</sup> (0.05 c mol kg<sup>-1</sup>), Na<sup>+</sup> (0.1 c mol kg<sup>-1</sup>) y Mg<sup>++</sup> (0.02 c mol kg<sup>-1</sup>). En PN-ZA se encontró la mayor concentración de Ca<sup>++</sup> (4.67 c mol kg<sup>-1</sup>) (Cuadro 7)

Cuadro 7. Propiedades químicas del suelo, valores promedio de las cinco zonas de estudio

ANP	pH	pH potencial	MOS	N	P	K	Ca	Na	Mg
		%		TOTAL	disponible				
PN-IP	6.5	4.8	7.5	0.4	158.72	0.84	0.51	0.11	0.21
SPF-MC	5.5	5.1	18.6	0.8	184.26	0.66	0.39	0.16	0.20
PN-BJ	5.4	4.5	10.0	0.3	129.79	0.05	3.44	0.10	0.02
RBSM	5.8	5.5	11	0.2	145.53	0.05	3.49	0.11	0.07
PN-ZA	6.3	5.3	6.3	0.2	236.06	0.06	4.67	0.15	0.04
Promedio ± DE	5.9±0.4	5.0±0.4	10.7±4.8	0.4±0.2	170.87±41.55	0.33±0.38	2.50±1.93	0.12±0.02	0.11±0.09
Intervalo	5.4-6.5	4.5-5.5	6.3-18.5	0.2-0.8	129.79-236.06	0.05-0.84	0.39-4.67	0.1-0.16	0.02-0.21

Cuadro 8. Propiedades químicas del suelo en las zonas de estudio.

Localidad	pH	pH potencial	MOS	N TOTAL	P disponible	K	Ca	Na	Mg
	1:2		%		mg kg <sup>-1</sup>		cmol kg <sup>-1</sup>		
<b>Parque Nacional Izta-Popo</b>									
Paso de Cortez	5.7	4.0	5.4	0.82	196.92	0.58	0.53	0.18	0.16
Carr. a Xalixintla	6.9	5.0	5.8	0.04	222.06	0.15	0.05	0.04	0.06
La Joya	6.1	4.4	9.7	0.63	39.40	0.38	0.09	0.09	0.09
Apatlaco	6.1	4.5	7.4	0.03	107.44	0.85	0.27	0.06	0.14
Carr. A Nexapa	7.2	5.6	7.1	0.46	164.41	1.57	1.06	0.1	0.39
promedio±D.E.	6.5±0.62	4.8±0.62	7.5±1.69	0.46±0.35	158.72±73.43	0.85±0.54	0.51±0.41	0.11±0.05	0.21±0.13
Intervalo	5.7-7.2	4.0-5.6	5.4-9.7	0.03-0.82	39.40-222.06	0.15-1.57	0.05-1.06	0.04-0.18	0.06-0.39
<b>Subprovincia Fisiográfica Mil Cumbres</b>									
Carr. Marquesa Malinalco	6.2	5.7	12.82	0.66	98.77	1.10	1.0	0.16	0.34
Nevado de toluca	4.9	4.3	14.15	0.84	107.0	0.68	0.37	0.27	0.18
Raíces/Cerro Gordo	4.9	3.8	14.15	.	111.11	0.95	0.45	0.36	0.15
Carr. Ocampo a Anganguero	6.0	5.5	12.04	0.60	135.8	0.46	0.23	0.08	0.11
Valle de los conejos, RBMM	6.4	5.6	27.65	2.19	14.41	0.94	0.45	0.02	0.12
Límite Edo. México-Mich	6.4	5.6	25.97	.	148.15	0.28	0.11	0.09	0.40
Estación "Vida silvestre"	6.3	5.5	10.59	0.65	78.19	0.20	0.12	0.12	0.12
Mil Cumbres	4.8	4.5	21.97	0.41	269.02	.	.	.	.
Nevado de Toluca	4.8	4.5	19.23	0.41	269.02	.	.	.	.
Raíces	4.8	4.5	22	0.23	421.05	.	.	.	.
La Cumbre	4.7	4.2	14.62	0.36	137.41	.	.	.	.
Promedio ± DE	5.5±0.76	5.1±0.63	18.57±5.89	0.85±0.15	184.26±114	0.65±0.35	0.39±0.3	0.15±0.11	0.20±0.11
Intervalo	4.7-6.4	3.8-5.7	10.59-27.65	0.23-2.19	14.41-421.15	0.20-1.10	0.11-1.0	0.02-0.36	0.11-0.34

**Parque Nacional Benito Juárez**

Sn Jerónimo Xola	5.9	5.1	3.71	.	129.22	0.05	3.78	0.10	0.018
A 25 km de Oax	5.6	4.4	21.07	0.08	111.11	0.01	2.73	0.08	0.007
Camino de Oax a Guelatao	5.6	4.3	.	0.71	154.00	0.06	3.75	0.11	0.018
Camino Tlalixtac e Ixtepeji	5.5	4.4	4.16	0.09	118.47	0.06	4.01	0.10	0.036
La cumbre	5.1	4.5	5.64	0.03	119.34	0.05	2.38	0.10	0.008
Antena microondas	4.2	3.7	4.75	0.44	122.36	0.06	3.45	0.09	0.022
promedio	5.4±0.61	4.5±0.44	10.06±7.41	0.34±0.29	129.79±15.03	0.05±0.018	3.44±0.65	0.102±0.012	0.021±0.01
Intervalo	4.2-5.9	3.7-5.1	3.71-21.07	0.03-0.71	111.11-15	0.01-0.069	2.38-4.01	0.08-0.1	0.007-0.036

**Reserva de la Biosfera "Sierra de Manantlán"**

Nevado de colima	6.3	5.2	6.08	0.031	147.33	0.029	3.36	0.094	0.033
ECLJ	.	.	.	.	.	0.045	2.91	0.103	0.07
ECLJ	6.2	6.0	14.18	0.27	160.23	0.051	3.12	0.096	0.017
ECLJ	5.0	4.5	2.12	0.26	131.69	0.029	3.75	0.096	0.022
ECLJ	5.9	4.9	15.42	.	122.36	0.044	2.94	0.117	0.062
ECLJ	5.4	5.2	15.22	0.27	150.76	0.102	4.16	0.141	0.160
Promedio ± D.E.	5.8±0.52	5.5±0.71	11.41±6.11	0.22±0	145.43±15.23	0.057±0.02	3.49±0.49	0.110±0.01	0.075±0.05
Intervalo	5.0-6.3	4.5-6.2	2.12-11.41	0.03-0.27	122.36-160.23	0.029-0.102	2.91-4.16	0.09-0.14	0.017-0.16

**Parque Nacional Zoquiapan y Anexas**

Zoquiapan	6.0	5.2	6.05	0.18	153.58	0.032	3.48	0.121	0.056
Zoquiapan	6.4	5.2	7.03	0.05	.	.	.	0.156	0.025
Zoquiapan	6.0	5.4	5.97	0.31	312.86	.	.	.	.
Zoquiapan	6.7	5.2	5.57	.	164.96	0.086	5.26	0.1650	0.65
Promedio ± D.E.	6.3±0.33	5.3±0.07	6.33±0.61	0.21±0.13	236.06±88.85	0.068±0.03	4.67±1.26	0.151±0.02	0.046±0.35
Intervalo	6.0-6.7	5.2-5.4	5.57-7.03	0.05-0.31	153.58-312.86	0.032-0.086	3.48-5.26	0.121-0.165	0.025-0.056

ECLJ: Estación Científica "Las Joyas"

#### 7.4 ESTADO NUTRIMENTAL DEL GÉNERO *Pinus*

Hasta ahora se reconocen 16 elementos como esenciales por las funciones que desempeñan en el metabolismo de las plantas: N, P, K, Ca, Mg y S son reconocidos como macroelementos esenciales, los cuales fueron estudiados en esta investigación con excepción del S.

El N es esencial para el crecimiento de los vegetales dado que es un constituyente de todas las proteínas, se absorbe generalmente en forma de iones nitrato o amonio (Russell, 1968, Wilson *et al.*, 2005). En el estudio de la concentración de N en pinos, se encontró diferencia significativa ( $F=5.01$ ,  $p \leq 0.05$ ), al comparar esta variable entre las diferentes zonas de estudio. Este elemento, estuvo en un intervalo de concentración entre 0.20 a 3.51 %, con valor promedio de 1.78 %, con el valor más bajo en la RBSM y el más alto en la SPF-MC. Granados (2003) en un estudio sobre Calidad del suelo y el estado nutricional en pinos en el PN-IP reportó al N-foliar entre 0.89 y 1.73 % con promedio de 1.42 %, en tanto que Valderrábano (2004), para el PN-ZA encontró al N en una concentración mínima de 0.92 y máxima con 1.90 % con promedio de 1.42 %. En otros trabajos sobre estado nutricional en pinos de bosques templados en México (Gómez, 2007) (cuadro 14), encontró al N en intervalos de concentración de 0.99 a 1.53 %, en la Columbia Británica en Canadá para el *P. lodgepole*, se reportó un intervalo entre 1.05 a 1.55%. (Ballard, 1985) (Cuadro 11).

Con referencia al P este es absorbido por las plantas como ortofosfato y desempeña un gran número de reacciones enzimáticas; al formar parte del núcleo celular es esencial para la división celular y el desarrollo de la planta. Este elemento se encontró en un intervalo de concentración que va de 0.13 a 0.44 con promedio de 0.24 %. El valor más alto de este nutrimento se presentó en los pinos del PN-BJ y el más bajo en los del PN-IP (Cuadro 9). La mayor concentración de P-foliar encontrada en el PN-BJ (0.44 %), mostró diferencia significativa con las concentraciones de este elemento encontradas en las otras zonas de estudio ( $F=34.3$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice b). Granados (2003), encontró 0.042 y 0.098 %, Valderrábano (2003) reportó un intervalo entre 0.108 y 0.262 % y una media de 0.189 %. Gómez (2007) encontró un intervalo entre 0.13 y 0.22 %, en tanto Ballard (1985) obtuvo de 0.09 a 0.15 % para el *P. lodgepole* por lo



que los valores de P en tejido vegetal de los géneros y especies estudiadas en nuestras zonas de estudio están en los intervalos señalados por los autores citados.

El K probablemente es el elemento que alcanza las concentraciones más altas en las plantas, exceptuando al carbono y al oxígeno; cuando su concentración en el suelo es muy alta, puede llegar a representar el 10 % del peso seco de la planta secada al horno. Funciona como activador enzimático, en la síntesis de proteínas y en la apertura y cierre de estomas (Raven y Evert, 1992). Este elemento se encontró en un intervalo que va de 0.18 a 0.87 % y un promedio de 0.40 %, el porcentaje más bajo lo presentaron los individuos desarrollados en el PN-BJ y el mayor en el PN-ZA con diferencia significativa entre ANPs ( $F=158.91$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice b).

Granados (2003) encontró en Pinos del PN-IP que el K estuvo entre 0.937 y 1.279 con promedio de 1.143 %. Con respecto a este nutrimento, Valderrábano (2003) reportó para los pinos del PN-ZA un intervalo que va de 1.578 a 2.801 y una media de 2.189 %. Ballard (1985), en su estudio con *P. lodgepole* reportó al K en un intervalo entre 0.35 y 0.55 %, Gómez (2007) encontró en pinos mexicanos un intervalo entre 0.32 a 0.365 %. Por lo que en referencia a este nutrimento, el K estuvo en concentraciones más altas que las encontradas en pinos mexicanos por Gómez (2007) y por Ballard (1985) en pinos de la Columbia Británica, pero menores que las de los pinos de los PN-IP y PN-ZA respectivamente (Granados, 2003 y Valderrábano, 2004).

El Ca, funciona como componente de la pared celular en la célula vegetal, forma parte de la calmodulina (proteína ligante modulada por calcio que interviene en los efectos de los iones calcio en numerosos sistemas biológicos) actúa como regulador de la membrana y actividades enzimáticas (Raven y Evert, 1992; Cruz, 2006). Se encontró que el Ca en tejido foliar tuvo correlación con el volumen maderable ( $r=0.35$ ) y se presentó entre concentraciones que van de 0.08 en el PN-ZA a 0.043 en la SPF-MC y un promedio de 0.219 % (cuadro 9) con diferencia significativa entre ANPs ( $F= 7.45$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice b). Granados, (2003) y Valderrábano, (2004) para el PN-IP y PN-ZA, reportaron que el porcentaje de Ca en tejido foliar fue de 0.170 a 468 y de 0.27 a 0.562, mientras que para Pinos de una región de Michoacán, Gómez, (2007) (cuadro 14) ha reportado

valores de Ca de 0.235 a 0.34 % y Ballard, (1985) para Pinos de la Columbia Británica en Canadá reportó el Ca entre 0.05 a 0.10 % (cuadro 11). Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación con los reportados por otros autores, se encuentra que el Ca en tejido foliar tanto en la zona de la SPF-.MC como en el PN-ZA están en concentraciones bajas clasificándose en un intervalo nutrimental de severa deficiencia (cuadro 12). Con respecto al Mg, que es parte esencial de la molécula de clorofila e importante activador enzimático y que además se absorbe en menores cantidades que el K y el Ca, el porcentaje de concentración en tejido foliar se encontró, en un intervalo entre 0.07 para el PN-IP y 0.45 en el PN-ZA y un promedio de 0.21 %. El contenido foliar de Mg entre zonas de estudio presentó diferencia significativa ( $F=81.08$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice b). Granados (2003) reportó en pinos del PN-IP concentraciones entre 0.11 a 0.2 con promedio de 0.08 %, en tanto Valderrábano en pinos del PN-ZA reportó un intervalo entre 0.13 y 0.47 y un promedio de 1.15 %. En referencia a este mismo elemento, Gómez (2007), en su estudio con pinos de Michoacán, reportó un intervalo entre 0.14 a 0.22 %, en tanto Ballard (1985) en *P. lodgepole* de la Columbia Británica en Canadá encontró un intervalo de concentración de 0.06 a 0.10 %. En esta investigación se obtuvo una concentración promedio de 0.21 %, al comparar los valores de Mg obtenidos por los autores antes citados, destaca que el valor promedio encontrado en esta investigación (0.21 %) es ligeramente menor al reportado por Gómez (2007) (Cuadro 14).

Cuadro 9. Comparación de los nutrimentos contenidos en tejido foliar en *Pinus* entre ANP.

ANP	N	P	K	Ca	Mg	Elementos limitantes
	%					
PN-IP <sup>▲</sup>	1.66 <sub>co</sub>	0.13 <sub>s</sub>	0.34 <sub>D</sub>	0.35 <sub>co</sub>	0.07 <sub>s</sub>	P, K, Mg
SPF-MC*	3.51 <sub>A</sub>	0.26 <sub>A</sub>	0.39 <sub>D</sub>	0.43 <sub>co</sub>	0.26 <sub>A</sub>	K
PN-BJ*	1.32 <sub>s</sub>	0.44 <sub>A</sub>	0.18 <sub>D</sub>	0.14 <sub>co</sub>	0.18 <sub>co</sub>	K
RBSM <sup>#</sup>	0.20 <sub>D</sub>	0.2 <sub>co</sub>	0.25 <sub>D</sub>	0.09 <sub>s</sub>	0.1 <sub>co</sub>	N, K
PN-ZA <sup>☆</sup>	2.24 <sub>co</sub>	0.27 <sub>A</sub>	0.87 <sub>co</sub>	0.08 <sub>s</sub>	0.45 <sub>A</sub>	Ca
<b>Media ± DE</b>	<b>1.8±0.87</b>	<b>0.24±0.11</b>	<b>0.40±0.27</b>	<b>0.22±0.16</b>	<b>0.21±0.15</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>0.20-3.51</b>	<b>0.13-0.44</b>	<b>0.18-0.87</b>	<b>0.08-0.43</b>	<b>0.07-0.45</b>	

co= crecimiento óptimo; A= adecuado; s= suficiente; D= deficiente. Escala de niveles nutrimentales en *Pinus* (Zotl, 1973)  
<sup>▲</sup>9; \*13, <sup>▲</sup>6; <sup>#</sup>6; <sup>☆</sup>4, Unidades ecológicas en cada una de las ANP

Uno de los objetivos de esta investigación fue determinar el estado nutrimental de los pinos en las zonas estudiadas y establecer estándares de deficiencia y suficiencia nutrimental, esto fue posible ya que se realizó una comparación con estándares establecidos a partir de otras investigaciones en las zonas de los bosques templados del Parque Nacional Izta-Popo y de Zoquiapan y Anexas.

Con base en la comparación con dichos estándares ya utilizados en *Pinus* del PN-IP por Granados, (2003) (Cuadro 10), en esta investigación se encontró que las concentraciones de N, P, Ca y Mg se clasifican en un nivel nutrimental de categoría **Alto**, mientras que el de K fue **Bajo**, de manera que para el caso en que se tuviera que suministrar nutrimentos con abonos o fertilizantes en los bosques de *Pinus* estudiados, con fines de recuperación, restauración, conservación o productividad de recursos maderables, la jerarquía de necesidad de nutrimentos quedaría de la siguiente manera: primero se consideraría el  $K > Ca > Mg > N$  y por último al P (Figura 27).

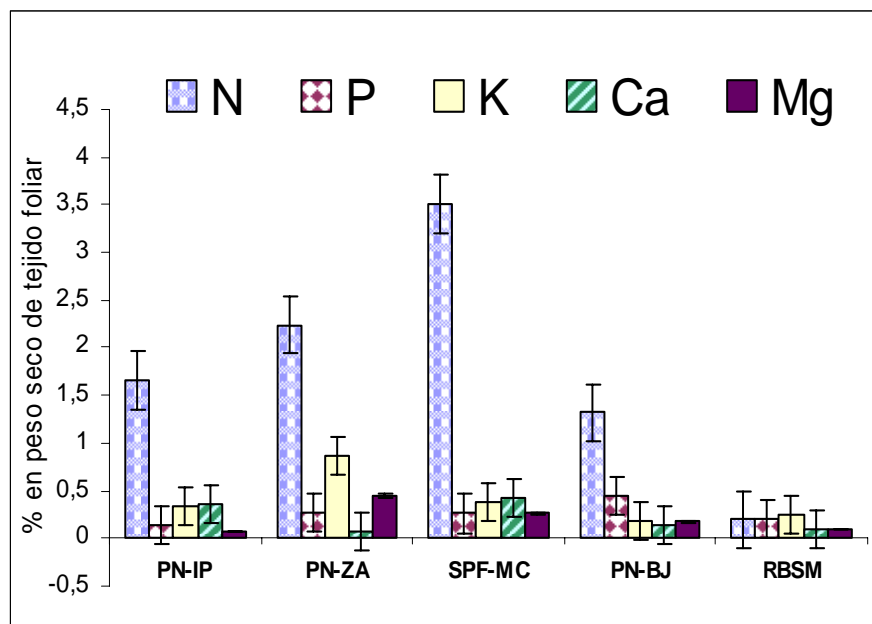


Figura 27. Estado nutrimental del género *Pinus* en las zonas de estudio

Cuadro 10. Intervalos de suficiencia nutrimental promedio de *Pinus*, reportados en investigaciones anteriores.

ELEMENTO	Límite de deficiencia	CO♣	Def. Ext. ⊗	D☼	S**	CO♣	DSM♫	DML▣	DL✎	A☑
	Pinos escoceses (Gussone, 1964, citados por Tuzet, 1987)			<i>Todos los pinos (Zotl, 1973) Modificado por Granados (2003)</i>			<i>P. lodgepole</i> (Ballard, 1985)			
N	0.7-1.6	1.8-3.2	0.8	1.2	>1.2 a <1.5	1.5-2.2	1.05	1.20	-	1.55
P	0.06-1.10	0.20-0.30	0.06	0.09	> 0.09 a < 0.13	0.13-0.20	0.09	0.12	-	0.15
K	0.30-0.45	0.55-0.9	0.30	0.5	.	0.6-1.2	0.35	0.40	-	0.55
Ca	0.05	0.05-0.24	0.02	0.05	.	0.1-0.5	0.06	0.08	0.10	
Mg	0.05-0.09	0.06-0.13	0.02	0.05	.	0.1-0.2	0.06	0.08	0.10	

♣, crecimiento óptimo, ⊗ Deficiencia Extrema, ☼ Deficiencia, \*\* Suficiencia, ♫ Deficiencia severa a moderada, ▣ Deficiencia moderada a ligera  
 ✎ Deficiencia Ligera, ☑ Adecuado

Cuadro No 11. Concentración de macronutrientes en tejido foliar en % de peso seco, en *Pinus*, *Abies* y *Cupressus* presentes en bosques de la Columbia Británica (Ballard, 1983).

Elemento	Interpretación	Abeto douglas	Pino lodgepole	Abeto occidental	<i>Picea</i> blanco	Cedro rojo occidental
		%				
N	Deficiencia severa a moderada	1.05	1.05	0.95	1.05	1.15
	Deficiencia moderada a ligera	1.30	1.20	1.20	1.30	1.50
	Adecuado	1.45	1.55	1.45	1.55	1.65
P	Deficiencia severa a moderada	0.08	0.09	0.11	0.10	0.10
	Deficiencia moderada a ligera	0.10	0.12	0.15	0.14	0.13
	Adecuado	0.15	0.15	0.35	0.16	0.16
K	Deficiencia severa a moderada	0.35	0.35	0.40	0.25	0.35
	Deficiencia moderada a ligera	0.45	0.40	0.45	0.30	0.40
	Ligera	0.8	0.55	0.80	0.50	0.85
Ca	Deficiencia severa	0.10	0.05	0.05	0.07	0.07
	Deficiencia severa a moderada	0.15	0.06	0.06	0.10	0.10
	Deficiencia moderada a ligera	0.20	0.08	0.08	0.15	0.20
	Ligera	0.25	0.10	0.10	0.20	0.25
Mg	Deficiencia severa a moderada	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
	Deficiencia severa a moderada	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06
	Deficiencia moderada a ligera	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12
	Ligera	0.12	0.10	0.10	0.12	0.14

## 7.5 COMPARACIÓN DEL ESTADO NUTRIMENTAL ENTRE ESPECIES DEL GÉNERO *Pinus*.

Al hacer la comparación respecto al contenido de nutrimentos entre las 8 especies del género *Pinus*, se encontró que *P. hartwegii* (principalmente encontrado en altitudes cercanas a 3500 m) tuvo mayor contenido de N foliar con 2.88 % y *P. douglasiana* (casi 1200 m más bajo) con 0.20% (Cuadro 12). En plantas adaptadas a elevadas altitudes sobre el nivel del mar se presenta una importante estrategia de adaptación que consiste en tener alta concentración de nutrimentos en su tejido para su sobrevivencia y reproducción (Cruz, 2006). Gómez (2007) al estudiar cuatro especies de Pino en el centro del país (Michoacán), encontró que el N en tejido foliar en *P. ayacahuite* tuvo una concentración de 1.55 % (Cuadro 14), este valor es menor que el de *P. hartwegii* que fue de 2.88 %. Granados (2003) y Valderrábano (2004) para los PN-IP y PN-ZA, reportaron valores promedio para esta especie de 1.49 y 1.56 %, menores encontrados al de esta investigación. En el estudio de Granados (2003) en pinos del PN-IP encontró que el *P. patula* tuvo la mayor concentración de N (1.727 %) y la menor fue para *P. montezumae* con 0.893% y un valor promedio de 1.418%. Valderrábano (2004) en el PN-ZA reportó que *P. patula* tuvo 1.564% y *P. teocote* 1.383%, al comparar los valores siguen siendo muy bajos, con el encontrado en esta investigación de 2.88%, una posible causa es que en SPF-MC se tuvo el mayor contenido de la mayoría de nutrimentos.

Otro elemento esencial en el desarrollo de las plantas el P, nutrimento que presentó mayor concentración en peso seco en *P. montezumae* con 0.58 % y la menor en *P. patula*, con 0.13 % (cuadro 12). Este contraste mostró que el contenido de P entre especies tuvo diferencia altamente significativa ( $F=6.60$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice b). Los resultados aquí encontrados son similares a los reportados para este nutrimento en otros estudios de estado nutricional, por ejemplo para *P. ayacahuite* (Gómez, 2007), encontró 0.22 % y 0.13 % en *P. michoacana*. Granados (2003) en el PN-IP encontró en *P. montezumae* una concentración de 0.098 y en *P. pseudostrabus* de 0.042 y un valor promedio de 0.042 % mientras que Valderrábano (2004) reportó concentraciones de 0.26 % en *P. hartwegii* y 0.108 % en *P. patula*.

Con lo que se refiere al K, que es un importante activador de muchos sistemas enzimáticos se encontró en *P. patula*, la concentración más alta (0.51%) y la más baja en *P. teocote* (0.16%). En la investigación de Gómez (2007), se registraron concentraciones de K en *P. montezumae* de 0.29 % y 0.36% en *P. ayacahuite*.

Granados (2003) en el PN-IP encontró en *P. pseudostrabus* y *P. teocote* 0.937 y un valor promedio de 0.945%, mientras que Valderrábano (2004) para los pinos del PN-ZA reportó en *Pinus sp.* 2.337 % y en *P. patula* 2.094 %. En Ca foliar, *P. patula* tuvo un mayor contenido con 0.92 % en tanto que el menor porcentaje se encontró en *P. douglasiana* con 0.09 %. El contenido de Ca foliar entre especies, mostró alta diferencia significativa ( $F=6.87$  ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice b). En la investigación de Gómez (2007) él reportó una concentración de 0.235 % en *P. pseudostrabus* y de 0.34 % en *P. ayacahuite*, mientras que Granados (2003), en pinos del PN-IP reportó para el *P. hartwegii* 4.688 % y en *P. pseudostrabus* 0.170 % y un valor promedio de 0.107 %. Valderrábano (2004) en el PN-ZA encontró en *P. teocote* 0.21 % y la concentración menor en *P. pseudostrabus* 0.064%. Para el Mg, que además de otras funciones importantes es constituyente de la molécula de la clorofila, la concentración mayor en tejido foliar se encontró en *P. ayacahuite* con 0.24 %, y la menor de 0.075 % en *P.sp.*, sin diferencia significativa entre especies. (Figura 28). En otros estudios sobre Estado nutrimental de *Pinus*, Granados (2003) reportó 0.195 para *P. montezumae* y 0.081 en *P. pseudostrabus* y un valor promedio de 0.107 %. Valderrábano (2004) en el PN-ZA encontró en *P. montezumae* 0.917 % y en *P. pseudostrabus* 0.391 %. Gómez (2007) en pinos de Michoacán reportó una concentración de tejido foliar en Mg de 0.13 % en *P. michoacana* y 0.21 % en *P. ayacahuite*.

Cuadro 12. Estado nutrimental promedio de las especies estudiadas del género *Pinus*.

ESPECIE	N	P	K	Ca	Mg
%					
<i>P. sp</i>	2.32 <sub>CO</sub>	0.15 <sub>CO</sub>	0.33 <sub>D</sub>	0.12 <sub>CO</sub>	0.07 <sub>S</sub>
<i>P. hartwegii</i>	2.88 <sub>CO</sub>	0.20 <sub>CO</sub>	0.27 <sub>D</sub>	0.19 <sub>CO</sub>	0.10 <sub>CO</sub>
<i>P. pseudostrabus</i>	2.12 <sub>CO</sub>	0.40 <sub>CO</sub>	0.25 <sub>D</sub>	0.11 <sub>CO</sub>	0.16 <sub>CO</sub>
<i>P. montezumae</i>	1.03 <sub>D</sub>	0.58 <sub>CO</sub>	0.16 <sub>D</sub>	0.19 <sub>CO</sub>	0.18 <sub>CO</sub>
<i>P. teocote</i>	1.10 <sub>D</sub>	0.37 <sub>CO</sub>	0.16 <sub>D</sub>	0.37 <sub>CO</sub>	0.11 <sub>CO</sub>
<i>P. ayacahuite</i>	1.89 <sub>CO</sub>	0.36 <sub>CO</sub>	0.19 <sub>D</sub>	0.15 <sub>CO</sub>	0.24 <sub>CO</sub>
<i>P. douglasiana</i>	0.20 <sub>D</sub>	0.19 <sub>CO</sub>	0.25 <sub>D</sub>	0.09 <sub>S</sub>	0.09 <sub>S</sub>
<i>P. patula</i>	1.53 <sub>CO</sub>	0.13 <sub>CO</sub>	0.51 <sub>D</sub>	0.92 <sub>S</sub>	0.15 <sub>CO</sub>
<b>Promedio ± DE</b>	<b>1.63 ± 0.84</b>	<b>0.42 ± 0.47</b>	<b>0.26 ± 0.11</b>	<b>0.26 ± 0.27</b>	<b>0.13 ± 0.05</b>
<b>Intervalo</b>	<b>0.2 – 2.8</b>	<b>0.13 – 0.58</b>	<b>0.16 – 0.51</b>	<b>0.09 – 0.92</b>	<b>0.07 – 0.24</b>

CO=crecimiento óptimo; D=deficiente; S=suficiente. Escala de niveles nutrimentales en *Pinus* (Zotl, 1973).

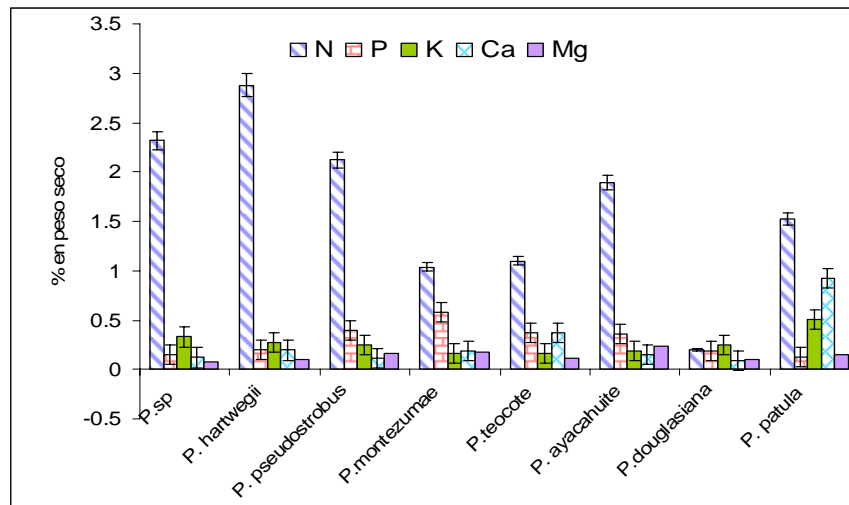


Figura 28. Concentración nutrimental de N, P, K, Ca y Mg en especies del género *Pinus* en cinco zonas del país con bosques templados

Cuadro 13. Estado nutrimental de los pinos estudiados en las ANP

Especie	ANP	%				
		N	P	K	Ca	Mg
<i>P.sp</i>	PN-IP	1.04 <sub>D</sub>	0.11 <sub>S</sub>	0.24 <sub>D</sub>	0.14 <sub>CO</sub>	0.05 <sub>CO</sub>
<i>P.sp</i>	SPF-MC	3.7 <sub>CO</sub>	0.22 <sub>CO</sub>	0.28 <sub>D</sub>	0.11 <sub>CO</sub>	0.11 <sub>CO</sub>
<i>P.sp</i>	PN-ZA	.	0.18 <sub>CO</sub>	0.8 <sub>CO</sub>	0.08 <sub>S</sub>	.
<i>P. pseudostrobus</i>	SPF-MC	3.11 <sub>CO</sub>	0.57 <sub>CO</sub>	0.24 <sub>D</sub>	0.1 <sub>CO</sub>	0.18 <sub>CO</sub>
<i>P. pseudostrobus</i>	RBSM	0.15 <sub>D</sub>	0.27 <sub>CO</sub>	0.26 <sub>D</sub>	0.15 <sub>CO</sub>	0.13 <sub>CO</sub>
<i>P. pseudostrobus</i>	PN-ZA	.	0.19 <sub>CO</sub>	.	0.09 <sub>S</sub>	0.5 <sub>CO</sub>
<i>P. montezumae</i>	PN-BJ	1.03 <sub>D</sub>	0.58 <sub>CO</sub>	0.16 <sub>D</sub>	0.19 <sub>CO</sub>	0.18 <sub>CO</sub>
<i>P. teocote</i>	PN-BJ	1.1 <sub>D</sub>	0.4 <sub>CO</sub>	0.16 <sub>D</sub>	0.14 <sub>CO</sub>	0.1 <sub>CO</sub>
<i>P. teocote</i>	PN-IP	1.1 <sub>D</sub>	0.24 <sub>CO</sub>	.	0.13 <sub>CO</sub>	0.13 <sub>CO</sub>
<i>P. ayacahuite</i>	PN-BJ	1.89 <sub>CO</sub>	0.36 <sub>CO</sub>	0.19 <sub>D</sub>	0.15 <sub>CO</sub>	0.24 <sub>CO</sub>
<i>P. douglasiana</i>	RBSM	0.2 <sub>D</sub>	0.19 <sub>CO</sub>	0.25 <sub>D</sub>	0.09 <sub>S</sub>	0.098 <sub>S</sub>
<i>P. patula</i>	PN-BJ	1.53 <sub>CO</sub>	0.13 <sub>S</sub>	0.51 <sub>D</sub>	0.92 <sub>CO</sub>	0.15 <sub>CO</sub>
<i>P. hartwegii</i>	PN-IP	2.32 <sub>CO</sub>	0.11 <sub>S</sub>	0.29 <sub>D</sub>	0.32 <sub>CO</sub>	0.35 <sub>CO</sub>
<i>P. hartwegii</i>	SPF-MC	3.72 <sub>CO</sub>	0.33 <sub>CO</sub>	0.24 <sub>D</sub>	0.04 <sub>D</sub>	0.15 <sub>CO</sub>
<i>P. hartwegii</i>	PN-ZA	2.88 <sub>CO</sub>	0.24 <sub>CO</sub>	.	0.09 <sub>S</sub>	.

**CO**= crecimiento óptimo, **S**=suficiente y **D**=deficiente, según el estándar para pinos (Zotl, 1973, modificado por Granados, 2003)



Cuadro 14. Concentraciones foliares para algunos pinos de México (Tomado de Gómez, 2007).

ESPECIE	valor	N	P	K	Ca	Mg
<i>P. michoacana</i>	promedio	0.996	0.13	0.34	0.25	0.13
	Intervalo	0.73 - 1.55	0.08 - 0.19	0.26 - 0.42	0.16 - 0.39	0.12 - 0.16
<i>P. pseudostrobus</i>	promedio	1.27	0.17	0.32	0.235	0.15
	Intervalo	1.21 - 1.34	0.15- 0.19	0.3 - 0.34	0.2 - 0.27	0.15 - 0.16
<i>P. ayacahuite</i>	promedio	1.53	0.22	0.36	0.34	0.21
	Intervalo	1.51 - 1.55	0.21 - 0.23	0.34 - 0.39	0.27- 0.41	0.18 - 0.25
<i>P. montezumae</i>	promedio	1.24	0.19	0.29	0.24	0.16

## 7.6 ESTADO NUTRIMENTAL DEL GÉNERO *Abies*

*Abies religiosa*, estuvo presente en las cinco zonas de estudio en altitudes generalmente superiores a los 2800 m. Este registro coincide con lo citado por la (SIRE, 2007), que esta especie se desarrolla en altitudes que van de los 2800 a los 3500 m.

En SPF-MC se encontró el valor más alto de concentración de N en tejido foliar, con un 3.42 % y el valor más bajo fue en la RBSM con 0.15 % y un promedio de 1.73 %. El P se presentó en un intervalo que va de 0.12 a 0.24 %, siendo el PN-BJ el que obtuvo el valor más alto y SPF-MC el más bajo, igualmente para el K con un valor mínimo de 0.35 %, el contenido nutrimental mayor de K (0.46%), se encontró en el PN-IP. El Ca, se encontró en mayor concentración en individuos del PN-ZA con 0.13% y la mínima se tuvo en la RBSM con 0.8% y en referencia al Mg se tuvo la menor concentración en PN-BJ con 0.09 % y el valor máximo en PN-IP con 0.38% (Cuadro 15).

Comparando el estado nutrimental de *Abies* entre ANP se encontró el porcentaje de N foliar fue alto en PN-IP, SPF-MC y PN-BJ; bajo en la RBSM y el PN-ZA, el P fue suficiente en los PN-IP, PN-ZA y SPF-MC; alto en PN-BJ y RBSM, el K fue bajo en todas las zonas, el Ca se encontró alto en el PN-IP y RBSM; suficiente en SPF-MC y bajo en el PN-ZA, en tanto que el Mg fue suficiente excepto en PN-BJ que fue bajo (Figura 29).

Cuadro 15. Estado nutrimental de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. & Cham. en las ANP

ANP	N	P	K	Ca	Mg	Elementos Limitantes
	%					
PN-IP <sup>▲</sup>	2.22 <sub>A</sub>	0.19 <sub>S</sub>	0.46 <sub>B</sub>	0.77 <sub>A</sub>	0.38 <sub>S</sub>	K, P y Mg
SPF-MC <sup>♂</sup>	3.42 <sub>A</sub>	0.12 <sub>S</sub>	0.35 <sub>B</sub>	0.50 <sub>S</sub>	0.14 <sub>S</sub>	K, P, Ca y Mg
PN-BJ <sup>▼</sup>	2.65 <sub>A</sub>	0.38 <sub>A</sub>	0.39 <sub>B</sub>	0.16 <sub>B</sub>	0.09 <sub>B</sub>	K, Ca y Mg
RBSM <sup>♂</sup>	0.15 <sub>B</sub>	0.34 <sub>A</sub>	0.45 <sub>B</sub>	0.8 <sub>A</sub>	0.14 <sub>S</sub>	N, K y Mg
PN-ZA <sup>☼</sup>	0.19 <sub>B</sub>	0.17 <sub>S</sub>	0.40 <sub>B</sub>	0.13 <sub>B</sub>	0.23 <sub>S</sub>	N, P, K, Ca, Mg
Media ± DE	1.73±1.48	0.24±0.11	0.41±0.04	0.48±0.32	0.19±0.11	
Intervalo	0.15-3.42	0.12-0.38	0.35-0.46	0.13-0.8	0.09-0.38	

▲9; \*13, ▲6: ♂6; ☼4, sitios de estudio correspondiente a cada ANP

A=ALTO, S=SUFICIENTE y B=BAJO, de acuerdo a intervalos de suficiencia y deficiencia nutrimental en *A. religiosa* (cuadro 17).

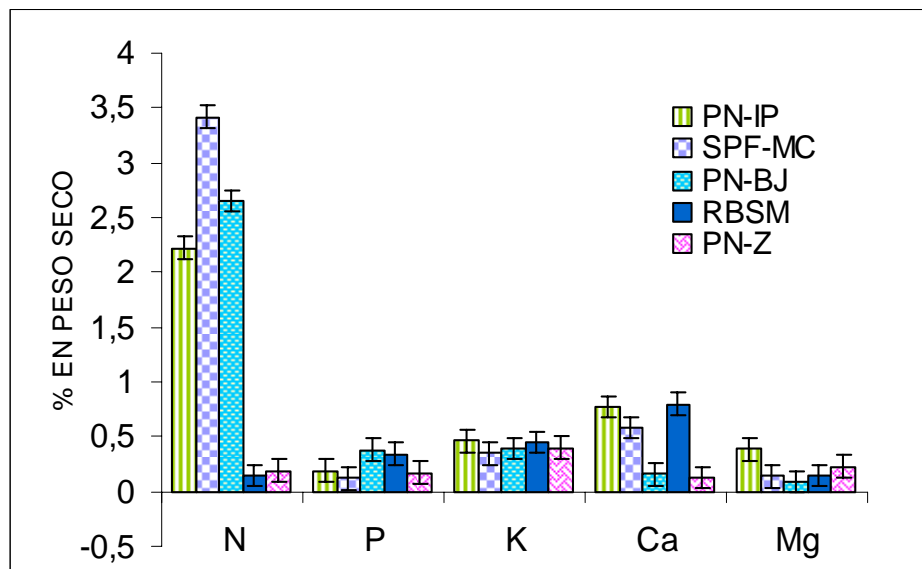


Figura 29. Estado nutrimental de *Abies religiosa*, en las zonas de estudio

Al comparar los resultados reportados, López (2003) encontró para la concentración de N un porcentaje de 1.75, muy cercano al valor que se encontró en este estudio que fue de 1.73 %. Con respecto al P, Valderrábano (2004) reportó una concentración de 0.21 que fue ligeramente baja con respecto a la encontrada en esta investigación que fue de 0.24%.

El K tuvo un espectro de variación muy amplio, en ninguno de los casos coinciden los valores de los autores citados, probablemente porque el K es un elemento muy dinámico en la fisiología de la planta (Zas y Serrada, 2003).

Por lo que se refiere al Ca, López (2003) reporta 0.48, que es similar al encontrado en esta investigación que fue de 0.40 %.

Con respecto al Mg, este se encontró en 0.19 %. El valor más cercano al encontrado en este trabajo fue 0.23 % reportado por García (2003) quien estudió oyameles en la exposición occidental del PN-IP (Cuadro 16).

Cuadro 16. Intervalos de suficiencia nutrimental promedio de *Abies religiosa* Kunth Schldl. et Cham, reportados en investigaciones anteriores y en el presente estudio

Nutrientes	López (1993) Sierra Nevada <i>A. religiosa</i>	Moreno (1996) Invernadero Montecillo, Edo. De Méx. <i>A. religiosa</i>	Richardson <i>et al.</i> , (2001) PN "El Chico" <i>A. balsamea</i>	García (2003) PN-IP <i>A. religiosa</i>	Valderrábano (2004) PN-Z y Anexas <i>A. religiosa</i>	Soriano (2007) <i>A. religiosa</i>
	%					
N	1.750	1.21	1.481	1.46	1.564	1.73
P	0.188	0.057	-	0.083	0.210	0.24
K	0.792	1.32	-	3.63	2.489	0.41
Ca	0.489	-	-	5.0	0.717	0.48
Mg	0.269	-	-	0.23	0.965	0.19

Con base en los niveles de suficiencia nutrimental propuesto por García (2003) (Cuadro 17). Se establecieron los niveles nutrimentales de los bosques de *Abies religiosa* estudiados y se encontró que, el N y P tienen un **Alto** nivel nutrimental, el K *Bajo*, el Ca y Mg estuvieron en nivel **Suficiente** (Figura 30)

Cuadro 17. Intervalos de suficiencia y deficiencia nutrimental en *Abies religiosa* (Tomado de García, 2003)

<i>Abies religiosa</i>			
Nivel Nutrimental			
Elemento	Bajo	Suficiente	Alto
	%		
P	≤0.093	>0.093 a 0.203	>0.203 a 0.262
N	≤1.340	>1.340 a 1.583	>1.583 a 2.033
Ca	≤0.283	>0.283 a 0.720	>0.720 a 1.673
K	≤1.044	>1.044 a 2.489	>2.489 a 2.791
Mg	≤0.112	>0.112 a 0.965	>0.965 a 1.291

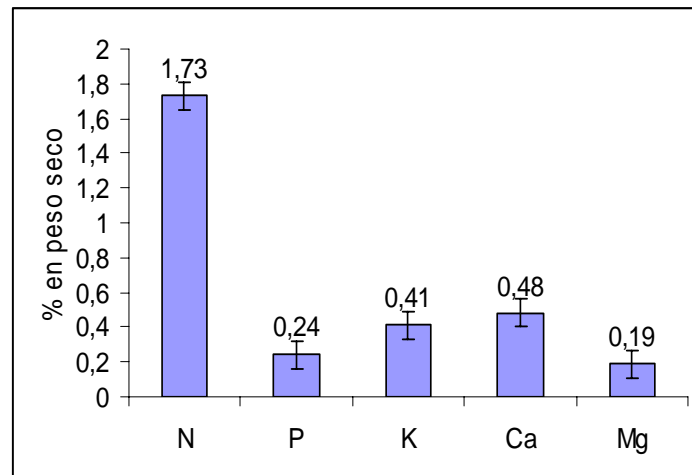


Figura 30. Concentración nutrimental promedio de *Abies religiosa*, en cinco bosques de México

### 7.7 DIFERENCIAS ENTRE GÉNEROS

En el género *Pinus* se encontró el mayor porcentaje de N y P en biomasa seca, respecto al contenido de K, existe semejanza entre géneros, mientras que el Ca tuvo una concentración dos veces mayor en el género *Abies*, en tanto que el Mg no mostró diferencia considerable (Figura 31).

En el estudio de las correlaciones se observó que el volumen maderable utilizado como indicador de productividad presentó diferencia significativa entre géneros ( $r=0.4$ ;  $p \leq 0.05$ ) (Apéndice a).

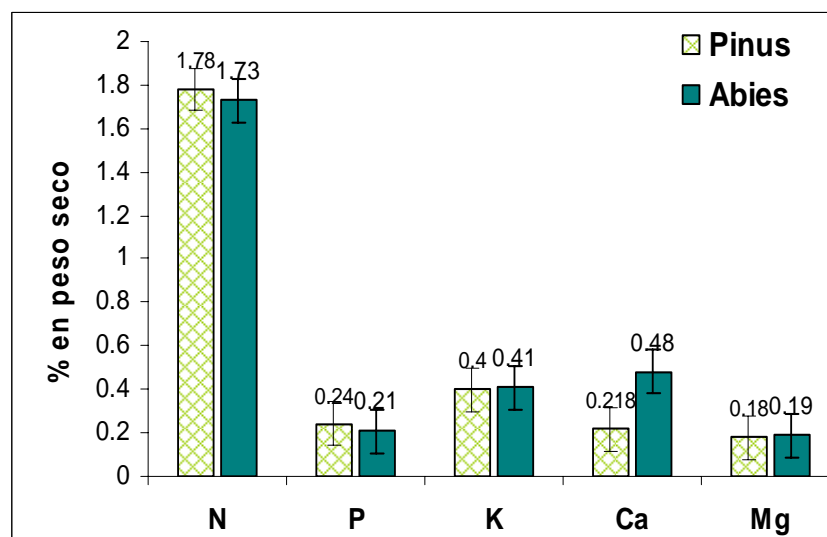


Figura 31. Comparación del estado nutrimental entre los géneros *Abies* y *Pinus* de bosques templados: PN-IP, SPF-MC, PN-BJ, RBSM y PN-ZA.

De las correlaciones (*Apéndice a*) se observó que el N en tejido foliar tuvo correlación significativa con la altitud ( $r=0.27$ ;  $p \leq 0.05$ ), y esto corresponde a los mayores contenidos de N en individuos que se desarrollan a mayores altitudes, otra correlación significativa se encontró con la DA ( $r=-0.42$ ;  $p \leq 0.05$ ) y con la variable C /  $\text{kg ha}^{-1}$  ( $r=-0.37$ ;  $p \leq 0.05$ ). Al analizar el contenido de P en tejido foliar se encontró que las concentraciones de este elemento tuvo correlación significativa con altitud disminuyendo con esta ( $r=-0.31$ ;  $p \leq 0.05$ ), con especies ( $r=-0.35$ ;  $p \leq 0.05$ ), con la humedad del suelo ( $r=-0.32$ ;  $p \leq 0.05$ ), la MOS ( $r=-0.19$ ;  $p \leq 0.05$ ), el fósforo disponible que puede estar fijado en coloides del suelo ( $r=-0.16$ ;  $p \leq 0.05$ ), el K del suelo ( $r=-0.31$ ;  $p \leq 0.05$ ), pero aumenta con incrementos de Ca del suelo ( $r=0.22$ ;  $p \leq 0.05$ ) (*Apéndice a*), lo cual indica que estas variables contribuyen a los contenidos de P foliar. Se observó también que al incrementarse el contenido en tejido foliar de Mg, aumenta el contenido de K foliar ( $r=0.67$ ;  $p \leq 0.05$ ) esta mostró diferencia significativa al correlacionarse con los géneros volumen maderable (Cuadro 18).

Cuadro 18. Coeficientes de correlación entre los contenidos de nutrimentos en tejido foliar de las especies estudiadas.

	N	P	K	Ca	Mg
N	1.00	-0.04 *	-0.09 *	0.20 **	0.21 **
P	-0.04 *	1.00	-0.09 *	-0.14 *	-0.09 *
K	-0.09 *	-0.09 *	1.00	-0.02 *	0.67**
Ca	0.20 **	-0.14 *	-0.02 *	1.00	-0.02 *
Mg	0.21 **	-0.09 *	0.66 S**	-0.02 *	1.00

Valores de r: \*\* Existe diferencia significativa; \*: sin diferencia significativa. ( $p \leq 0.05$ )

En referencia con las propiedades del suelo el contenido de Ca foliar tuvo diferencia significativa con el pH ( $r=-0.31$ ;  $p \leq 0.05$ ) y humedad ( $r=0.28$ ;  $p \leq 0.05$ ), estas variables influyeron para que el contenido de Ca foliar mostrara diferencia significativa en las variables: géneros ( $r=0.40$ ;  $p \leq 0.05$ ), especies ( $r=0.23$ ;  $p \leq 0.05$ ) y en consecuencia el volumen maderable ( $r=0.35$ ;  $p \leq 0.05$ ) (*Apéndice a*).

## 8. CONCLUSIONES

- \* En general los suelos estudiados y a pesar de su diferente origen geológico se caracterizaron por poseer pendientes pronunciadas, acidez moderada, altos porcentajes de materia orgánica y porosidad, textura predominantemente franco arenosa y bajos porcentajes en Ca, Mg y K.
- \* Se encontró que la densidad aparente, porcentaje de espacio poroso, humedad, materia orgánica, pH y P disponible del suelo tuvieron correlación significativa y por lo tanto influencia en el contenido foliar de N, P, K, Ca y Mg
- \* En el género *Pinus*, se encontró al N deficiente en la RBSM, suficiente en el PN-BJ, en nivel de crecimiento óptimo en PN-IP y alto en PN-ZA y SPF-MC. El P fue suficiente en el PN-IP, en nivel de crecimiento óptimo en la RBSM y alto en: PN-IP, SPF-MC y PN-BJ. El K fue encontrado en nivel deficiente excepto en el PN-ZA donde estuvo en nivel de crecimiento óptimo, en tanto que el Ca se encontró en nivel de crecimiento óptimo en PN-IP, PN-BJ y SPF-MC, en nivel suficiente en la RBSM y el PN-ZA. Por último el Mg fue suficiente en el PN-IP, en nivel de crecimiento óptimo en PN-BJ y RBSM; alto en SPF-MC y PN-ZA.
- \* En especies del género *Pinus* se encontró que *P. hartwegii* tuvo la mayor concentración de N; *P. montezumae* la de P; *P. patula* el de K y Ca y *P. ayacahuite* el de Mg.
- \* En *Abies religiosa* se encontró el porcentaje de N foliar alto en PN-IP, SPF-MC y PN-BJ; bajo en la RBSM y el PN-ZA, el P fue suficiente en los PN-IP, PN-ZA y SPF-MC; alto en PN-BJ y RBSM, el K fue bajo en todas las zonas, el Ca se encontró alto en el PN-IP y RBSM; suficiente en SPF-MC y bajo en el PN-ZA, en tanto que el Mg fue suficiente excepto en PN-BJ que fue bajo.
- \* En un programa de suministro de nutrimentos el K sería el primer elemento en ser considerado ya que en *Abies* y *Pinus* fue deficiente.
- \* Los porcentajes de concentración de N y P, fueron mayores en *Pinus*, el porcentaje de concentración del K mostró semejanza en ambos géneros, en Ca la mayor concentración se obtuvo en *Abies* y en Mg no hubo diferencia significativa entre ellos.

- \* Con fines de recuperación, restauración, conservación o productividad de recursos maderables, si se tuviera que suministrar nutrimentos con abonos o fertilizantes en los bosques estudiados, la jerarquía de necesidad de nutrimentos sería en Abies: PN-IP K>P>Mg; SPF-MC K>P>Ca>Mg; PN-BJ K>Ca>Mg; RBSM N>K>Mg y PN-ZA N>P>K>Ca>Mg.

En el género *Pinus*: PN-IP K>P>Mg; SPF-MC K; PN-BJ K > N; RBSM K > N y PN-ZA Ca.

## **COMENTARIOS**

- ⌘ *Es necesario seguir haciendo levantamientos nutricionales en las especies forestales, dado que son pocos los trabajos que existen en México, en la manera en la que vaya incrementado el interés por el tema será posible obtener la información adecuada sobre el requerimiento nutrimental en especies forestales mexicanas y con ello establecer un programa de uso racional y eficiente de fertilizantes en nuestros bosques y estar a la vanguardia, como Estados Unidos, Canadá, Francia, Alemania que lo utilizan como alternativa para la preservación de sus zonas boscosas.*
- ⌘ *Se ratifica que el muestreo debe hacerse del tercio superior de la copa del árbol, con luz favorable, las hojas deben ser de los últimos dos años, ya que son hojas nuevas que aseguran información de calidad para la evaluación nutrimental.*
- ⌘ *Sería interesante realizar un muestreo periódico durante una estación de crecimiento, un año o entre años, para conocer los cambios de disponibilidad de nutrimentos y con ello determinar con mayor precisión cual es la época más apropiada para realizar los muestreos.*



## 9. LITERATURA CITADA

- 📖 Aguilera, H. 1989. Tratado de Edafología de México, Tomo I, Facultad de Ciencias, UNAM, 222p
- 📖 Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy, Varian Techtron, Walnut Creek, California, USA.
- 📖 Arbestain, M., Mourenza, C., Álvarez, E., Macías, F. 2004. Influence of parent material and soil type on the root chemistry of forest species grown on acid soils. *Forest Ecology and Management*. 193 (3), p 307-320.
- 📖 Arruda, S.R., Malavolta E. 2001. Nutricao y adubacao potassica em Eucalyptus. *Informacoes Agronómicas. POTAFOS. Encarte Técnico* 91:1-10
- 📖 Astudillo, B. Y. 2006. Fosfatasa ácida y alcalina del suelo y su efecto en la disponibilidad de P en suelos de bosques templados de México. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM.
- 📖 Ballard, T. M. 1985. Evaluating forest stand nutrient status. Faculty of forestry, University of British Columbia, Vancouver. 55p
- 📖 Bautista, C. M., 2001. Indicadores de la calidad de suelo en tres cronosecuencias del bosque mesófilo, Sierra Norte de Oaxaca. Tesis de Maestría. COLPOS, Montecillo.
- 📖 Brady, N. C., Weil R. R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall, 372 p
- 📖 Brockley, R. 2001. Foliar Sampling Guidelines and Nutrient Interpretative Criteria for Lodgepole Pine. Research Branch BC. Ministry of Forest Kalamaiika Forestry Centre, British Columbia. Extension Note.
- 📖 Bockheim, J. G. 1991. Suelos forestales. Young. R. A. Noriega Editores. México,
- 📖 Buckman, H. O., Brady, N. C. 1991. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Limusa. México, 590p.
- 📖 CONAFOR, 2007, en <http://www.conafor.gob.mx>. Consultado el 28 de mayo del 2007.
- 📖 CONANP. 2007, en <http://iztapopo.conanp.gob.mx/infbasica.php>. Consultado el 7 de junio del 2007
- 📖 Cotler, H. A. 2003. El uso de la información edáfica en estudios ambientales. *In Gaceta ecológica*. Julio-septiembre. No. 068. INE. DF. México. pp 33-42.
- 📖 Cruz, F. G. 2006. Fertilidad del suelo y nutrición vegetal: un enfoque ecológico. 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.

- 📖 Doran, J. W., Parkin, T. B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. p 3-22. *In* Doran J. W., D. C. Coleman, D. F. Bezdicek and, B.A. Stewart. (eds). SSSA Special Publication No. 35, Wisconsin, USA.
- 📖 Doran, J. W., Zeiss, M. R. 2000. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*. 15: 3-11.
- 📖 Duchafour, P., Souchier, B. 1984. Edafología 1. Edafogénesis y Clasificación. Masson S.A. Barcelona, España.
- 📖 Etchevers. B. J. 1987. Análisis químicos de plantas. Aspectos teóricos. COLPOS, Montecillo, México.
- 📖 Etchevers B. J. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Agrociencia*, 36:5. pp 209-219
- 📖 Fasbender, H., Bornemisza, E. 1987. Química de suelos de América Latina. Ed. IICA, San José Costa Rica.
- 📖 Fisher, R.F., Binkley, D. 2000. Ecology and management of forest soils. 3a. ed. John Willey & Sons, New York, USA.
- 📖 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. FES Zaragoza, UNAM.
- 📖 Gómez, G. A. 2007. Análisis de vectores: un método práctico para evaluar la respuesta a la fertilización en especies forestales. Reporte técnico 1 y 2. Programa Forestal, Gerencia regional IV, Balsas. Colegio de Postgraduados-IRENAT, Montecillo, 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. FES Zaragoza, UNAM.
- 📖 INE, 2007. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/2/manan.html>. Consultado el 8 de junio del 2007.
- 📖 INE, 2007. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/395/cotler.html>
- 📖 INEGI, 1984. Mapa topográfico 1: 50000, E14:B41, Ameca.
- 📖 Jackson, M. L. 1982. Análisis químicos de suelos. Omega, 4a ed., Barcelona, España. pp
- 📖 Jardel, J. E. 1990. La Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán y el Laboratorio Natural Las Joyas. *Foro* 21, núm. 5, pp. 53-58.
- 📖 Karlen, D. L., Stoot, D. E. 1994. A Framework Evaluating Physical And Chemical Indicators Of Soil Quality. *In*: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdizek y B.A. Stewart (eds.). Defining Soil Quality For A Sustainable Environment. SSSA Special publication. 35. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin.

- 📖 Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In*: Landis, T.D.; Tinus R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. The Container Tree Nursery Manual, Volume 4. Agriculture. Handbook. 674. Washington, DC. U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 1-67.
- 📖 LGEEPA, Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental. SEMARNAT. 2006  
*In*: Agenda ecológica, ISEF, México, DF.
- 📖 León, M. H. M. 2007. Estimación del contenido de C en suelos de bosques templados y su relación con la calidad del suelo. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.
- 📖 López, L. M. A., Estañol, B. E. 2004. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra latinoamericana*, 25:9-15
- 📖 Manzanilla, H. 1976. Investigaciones epidémicas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAG, México. DF.
- 📖 Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Ed. Botas. 3ª edición, México, 261p.
- 📖 NOM-021-RECNAT-2000.SEMARNAT
- 📖 Palmer, G. R. & Truoch. 1989. Introducción a la ciencia del suelo. Manual de laboratorio. AGT. Eds, México.
- 📖 Powers, R. F. 1984. Estimating nitrogen availability through soil and foliar analysis. *In* E. L. Stone ed. Forest soils and treatment impacts proceedings of the 6th Nort America Forest Soil Conference, University of Tennessee, Knoxville. pp. 335-377.
- 📖 Pritchett, W. 1991. Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial limusa-Grupo Noriega Editores, México. 634p.
- 📖 Quiroz, G. V. 2002. Relación nutrimental nitrógeno/ fósforo y nitrógeno/ potasio en maíz y su influencia sobre la eficiencia de estos nutrimentos. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.
- 📖 Russell, J. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Editorial Aguilar, 4ª edición, España, 801p
- 📖 Raven, P. H. y Evert. 1992. Biología de las plantas. Reverté, S. A. Barcelona. 773p.
- 📖 Rzedowski, J. 1983. Vegetación de México. Limusa. 2ª reimpresión, México, pp 283-313
- 📖 Rodríguez, F. H. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas, Criterios de interpretación. Trillas, México, 196p.
- 📖 Seybold, C. A., Mausbach, M. J., Karlen D. L., Rogers, H. H. 1997. Quantification of Soil Quality. The Soil Quality Concept. 1998, Bull. The Soil Quality Institute, USDA, NRCS, E.U.
- 📖 SIRE (Sistema de Información para la Reforestación en México) 2007. CONABIO, PRONARE, Paquetes tecnológicos.
- 📖 Specht, A., Turner., J. 2006. Foliar nutrient concentrations in mixed-species plantations of subtropical cabinet timber species and their potencial as a management tool. *Forest Ecology and Management*.

(233) 324-337.

- 📖 Spurr, S. H. 1982. Ecología forestal. AGT Editor, S. A. México. 690p.
- 📖 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. 266p.
- 📖 Tisdale, S. L., Nelson, W. L. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. UTEHA, México, 760p
- 📖 Ussiri, D. A., Jhonson, C. E. 2007. Organic matter composition and dynamics in a northern hardwood forest ecosystem 15 years after clear-cutting. *Forest Ecology and Management*. (240) 131-142.
- 📖 Valderrábano, G. J. M. 2005. Calidad del Suelo y Estado Nutricional de la Vegetación Forestal en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza. UNAM
- 📖 Vergara, S. M., Etchevers, J. D. 2004. Indicadores de calidad del suelo en laderas de la Sierra Norte. Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología. UNAM. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-WWF, México, p 585-602.
- 📖 Wilson, S. Mc.G., Pyatt D. G. 2005. Indices of soil nitrogen availability for an ecological site classification of British forest. *Forest Ecology and Management*. (220) 51-65
- 📖 Zas, R., Serrada, R. 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *Forest Ecology and Management*. (174) 167-176.

## 10. APÉNDICE

### ❖ Apéndice a

#### Correlaciones Pearson

27 Variables:	sitio	ANP	ALT	GEN	SP	N	P	K	Ca
	Mg	VOLMAD	pH	pHKCl	Daprob	DR	PORDA	HUME	MOS
	CE	li	arc	are	NS	PS	KS	CaS	NaS
	MgS								

#### Estadística simple

Variable	N	Media	Desv Std	Suma	Mínimo	Máximo
sitio	186	19.06989	10.80393	3547	1.00000	37.00000
ANP	186	3.81183	2.05125	709.00000	1.00000	6.00000
ALT	177	2892	563.99666	511874	1818	3902
GEN	186	1.49462	0.91384	278.00000	1.00000	4.00000
SP	183	6.56831	3.71284	1202	1.00000	15.00000
N	115	2.02705	2.49495	233.11100	0.09000	25.00000
P	184	0.26361	0.25571	48.50430	0.01500	1.43000
K	149	0.75727	2.04853	112.83350	0.07000	14.88000
Ca	145	2.02126	6.05402	293.08200	0.01000	40.05000
Mg	143	0.17384	0.17198	24.85850	0.03000	0.90000
VOLMAD	82	338.32695	882.51190	27743	32.93000	4802
pH	153	5.87373	0.69860	898.68000	4.18000	7.24000
pHKCl	159	5.08541	0.60834	808.58000	3.78000	6.22000
Daprob	132	0.94076	0.22455	124.18000	0.48000	1.45000
DR	124	2.15565	1.05674	267.30000	1.01000	9.47000
PORDA	104	53.00067	9.00638	5512	29.13000	67.22000
HUME	130	25.99308	13.54875	3379	4.08000	69.52000
MOS	150	11.87747	7.38851	1782	0.03000	28.76000
CE	120	0.08707	0.07027	10.44800	0.02000	0.37000
li	162	29.47062	12.15763	4774	6.04000	59.00000
arc	162	9.00000	7.72429	1458	3.00000	39.00000
are	162	61.58642	14.57542	9977	25.00000	90.00000
NS	133	0.37241	0.40392	49.53100	0.01500	2.34600
PS	164	155.56927	70.90209	25513	14.40900	430.11000
KS	101	0.35912	0.43248	36.27100	0.01800	1.61000
CaS	101	1.63834	1.49471	165.47200	0.04500	4.23000
NaS	98	0.09985	0.04827	9.78530	0.00900	0.27600
MgS	101	0.12826	0.13357	12.95390	0.00500	0.43800

#### Coefficiente correlación Pearson Prob > |r| under H0: Rho=0

	sitio	ANP	ALT	GEN	SP	N	P	K
sitio	1.00000	0.15060	-0.13509	0.19631	0.20172	0.02794	-0.21817	0.19898
	186	0.0402	0.0730	0.0072	0.0062	0.7669	0.0029	0.0150
		186	177	186	183	115	184	149
ANP	0.15060	1.00000	-0.28947	0.11336	0.23107	-0.06948	-0.01631	-0.17969
	0.0402	<.0001	<.0001	0.1234	0.0016	0.4606	0.8260	0.0283
	186	186	177	186	183	115	184	149
ALT	-0.13509	<b>-0.28947</b>	1.00000	-0.04755	<b>-0.16805</b>	<b>0.26902</b>	<b>-0.31521</b>	0.06770
	0.0730	<.0001	<.0001	0.5297	0.0267	0.0043	<.0001	0.4234
	177	177	177	177	174	111	176	142
GEN	<b>0.19631</b>	0.11336	-0.04755	1.00000	<b>0.39563</b>	0.17053	<b>-0.21510</b>	0.09792
	0.0072	0.1234	0.5297	<.0001	<.0001	0.0684	0.0034	0.2348
	186	186	177	186	183	115	184	149
SP	0.20172	<b>0.23107</b>	-0.16805	<b>0.39563</b>	1.00000	-0.00047	<b>-0.35035</b>	0.09456
	0.0062	0.0016	0.0267	<.0001	<.0001	0.9961	<.0001	0.2546
	183	183	174	183	183	113	181	147
N	0.02794	-0.06948	<b>0.26902</b>	0.17053	-0.00047	1.00000	-0.04529	0.16343
	0.7669	0.4606	0.0043	0.0684	0.9961	0.9961	0.6323	0.0895
	115	115	111	115	113	115	114	109
P	<b>-0.21817</b>	-0.01631	<b>-0.31521</b>	<b>-0.21510</b>	<b>-0.35035</b>	-0.04529	1.00000	-0.09047
	0.0029	0.8260	<.0001	0.0034	<.0001	0.6323	0.6323	0.2725
	184	184	176	184	181	114	184	149
K	0.19898	-0.17969	0.06770	0.09792	0.09456	0.16343	-0.09047	1.00000

	0.0150 149	0.0283 149	0.4234 142	0.2348 149	0.2546 147	0.0895 109	0.2725 149	149
Ca	<b>0.43717</b> <.0001 145	0.10691 0.2006 145	0.04864 0.5711 138	<b>0.40027</b> <.0001 145	<b>0.23110</b> 0.0055 143	<b>0.20504</b> 0.0309 111	<b>-0.14871</b> 0.0742 145	-0.02307 0.7853 142
Mg	0.15285 0.0684 143	-0.21782 0.0090 143	0.01884 0.8276 136	<b>0.24091</b> 0.0038 143	0.02593 0.7602 141	<b>0.21033</b> 0.0274 110	-0.09370 0.2657 143	<b>0.66516</b> <.0001 140
VOLMAD	0.10777 0.3352 82	0.02404 0.8303 82	0.10798 0.3532 76	<b>0.43441</b> <.0001 82	0.07957 0.4858 79	0.21962 0.0837 63	0.06774 0.5505 80	0.10162 0.4096 68
pH	<b>-0.48862</b> <.0001 153	<b>-0.40461</b> <.0001 153	-0.08382 0.3179 144	0.02323 0.7756 153	0.00500 0.9516 150	0.00576 0.9549 99	0.03248 0.6922 151	0.02460 0.7854 125
pHKCl	0.00377 0.9624 159	0.14670 0.0650 159	<b>-0.30628</b> 0.0001 150	<b>0.16895</b> 0.0333 159	<b>0.34943</b> <.0001 156	-0.00137 0.9892 99	-0.03797 0.6368 157	0.08418 0.3429 129
Daprob	0.08859 0.3124 132	<b>-0.43509</b> <.0001 132	<b>-0.26964</b> 0.0023 126	<b>-0.27143</b> 0.0016 132	<b>-0.18140</b> 0.0397 129	<b>-0.42333</b> <.0001 97	<b>0.23797</b> 0.0064 130	0.18388 0.0534 111
DR	<b>0.25192</b> 0.0048 124	<b>-0.35111</b> <.0001 124	0.16045 0.0826 118	-0.12353 0.1717 124	-0.12127 0.1852 121	-0.05902 0.5617 99	-0.01838 0.8407 122	-0.00546 0.9566 102
PORDA	-0.15400 0.1186 104	<b>0.07173</b> 0.4693 104	<b>0.33039</b> 0.0009 98	0.03664 0.7119 104	-0.10276 0.3017 103	<b>0.21232</b> 0.0497 86	<b>-0.20097</b> 0.0428 102	<b>-0.22703</b> 0.0314 90
	Ca	Mg	VOLMAD	pH	pHKCl	Daprob	DR	PORDA
sitio	<b>0.43717</b> <.0001 145	0.15285 0.0684 143	0.10777 0.3352 82	<b>-0.48862</b> <.0001 153	0.00377 0.9624 159	0.08859 0.3124 132	<b>0.25192</b> 0.0048 124	-0.15400 0.1186 104
ANP	0.10691 0.2006 145	-0.21782 0.0090 143	0.02404 0.8303 82	<b>-0.40461</b> <.0001 153	0.14670 0.0650 159	<b>-0.43509</b> <.0001 132	<b>-0.35111</b> <.0001 124	0.07173 0.4693 104
ALT	0.04864 0.5711 138	0.01884 0.8276 136	0.10798 0.3532 76	-0.08382 0.3179 144	<b>-0.30628</b> 0.0001 150	<b>-0.26964</b> 0.0023 126	0.16045 0.0826 118	<b>0.33039</b> 0.0009 98
GEN	<b>0.40027</b> <.0001 145	<b>0.24091</b> 0.0038 143	<b>0.43441</b> <.0001 82	<b>0.02323</b> 0.7756 153	<b>0.16895</b> 0.0333 159	<b>-0.27143</b> 0.0016 132	-0.12353 0.1717 124	0.03664 0.7119 104
SP	<b>0.23110</b> 0.0055 143	0.02593 0.7602 141	0.07957 0.4858 79	0.00500 0.9516 150	<b>0.34943</b> <.0001 156	<b>-0.18140</b> 0.0397 129	-0.12127 0.1852 121	-0.10276 0.3017 103
N	<b>0.20504</b> 0.0309 111	<b>0.21033</b> 0.0274 110	0.21962 0.0837 63	0.00576 0.9549 99	-0.00137 0.9892 99	<b>-0.42333</b> <.0001 97	-0.05902 0.5617 99	<b>0.21232</b> 0.0497 86
P	-0.14871 0.0742 145	-0.09370 0.2657 143	0.06774 0.5505 80	0.03248 0.6922 151	-0.03797 0.6368 157	<b>0.23797</b> 0.0064 130	-0.01838 0.8407 122	<b>-0.20097</b> 0.0428 102
K	-0.02307 0.7853 142	<b>0.66516</b> <.0001 140	0.10162 0.4096 68	0.02460 0.7854 125	0.08418 0.3429 129	0.18388 0.0534 111	-0.00546 0.9566 102	-0.22703 0.0314 90
Ca	1.00000 145	-0.02144 0.8001 142	0.35908 0.0033 65	-0.31130 0.0005 121	-0.07796 0.3875 125	-0.03439 0.7251 107	0.16755 0.0891 104	-0.22065 0.0356 91
Mg	-0.02144 0.8001 142	1.00000 0.9741 143	0.00413 0.9741 64	0.23466 0.0102 119	0.20340 0.0240 123	0.23404 0.0163 105	-0.00582 0.9537 102	-0.24481 0.0208 89

VOLMAD	0.35908 0.0033 65	0.00413 0.9741 64	1.00000 82	-0.44445 <.0001 73	-0.24873 0.0338 73	-0.25684 0.0283 73	-0.05784 0.6446 66	0.04168 0.7519 60
pH	-0.31130 0.0005 121	0.23466 0.0102 119	-0.44445 <.0001 73	1.00000 153	0.67687 <.0001 153	0.00790 0.9309 123	-0.07396 0.4321 115	-0.02261 0.8224 101
pHKCl	-0.07796 0.3875 125	0.20340 0.0240 123	-0.24873 0.0338 73	0.67687 <.0001 153	1.00000 159	-0.20486 0.0230 123	-0.24525 0.0082 115	-0.10320 0.3044 101
Daprob	-0.03439 0.7251 107	0.23404 0.0163 105	-0.25684 0.0283 73	0.00790 0.9309 123	-0.20486 0.0230 123	1.00000 132	0.21734 0.0181 118	-0.73116 <.0001 104
DR	0.16755 0.0891 104	-0.00582 0.9537 102	-0.05784 0.6446 66	-0.07396 0.4321 115	-0.24525 0.0082 115	0.21734 0.0181 118	1.00000 124	0.08523 0.3896 104
PORDA	-0.22065 0.0356 91	-0.24481 0.0208 89	0.04168 0.7519 60	-0.02261 0.8224 101	-0.10320 0.3044 101	-0.73116 <.0001 104	0.08523 0.3896 104	1.00000 104
	HUME	MOS	CE	li	arc	are	NS	PS
sitio	0.67633 <.0001 130	0.15488 0.0584 150	0.18228 0.0463 120	0.41761 <.0001 162	0.05152 0.5150 162	-0.36637 <.0001 162	-0.19411 0.0252 133	0.34367 <.0001 164
ANP	0.00530 0.9523 130	0.58101 <.0001 150	0.21345 0.0192 120	0.41838 <.0001 162	0.24471 0.0017 162	-0.47410 <.0001 162	0.28453 0.0009 133	-0.05850 0.4568 164
ALT	0.31433 0.0004 124	-0.06899 0.4163 141	0.17641 0.0640 111	-0.06299 0.4347 156	-0.19621 0.0141 156	0.17469 0.0292 156	0.13202 0.1438 124	0.22703 0.0045 155
GEN	0.15102 0.0863 130	0.14284 0.0812 150	0.21389 0.0190 120	0.08691 0.2714 162	-0.02318 0.7697 162	-0.06370 0.4206 162	0.08571 0.3266 133	0.05005 0.5245 164
SP	0.07466 0.4041 127	0.22383 0.0064 147	0.14063 0.1305 117	0.08225 0.3027 159	0.14631 0.0657 159	-0.14667 0.0651 159	0.06444 0.4664 130	-0.02635 0.7400 161
N	0.07610 0.4684 93	0.12075 0.2290 101	0.20683 0.0518 89	-0.01385 0.8858 110	-0.04467 0.6431 110	0.03731 0.6988 110	0.12074 0.2710 85	0.00510 0.9588 105
P	-0.32365 0.0002 130	-0.19413 0.0181 148	-0.13969 0.1314 118	-0.21137 0.0073 160	-0.07741 0.3306 160	0.21167 0.0072 160	-0.16034 0.0663 132	-0.16869 0.0314 163
K	0.28758 0.0021 112	-0.09039 0.3122 127	0.06717 0.5024 102	-0.09798 0.2655 131	-0.04939 0.5753 131	0.10770 0.2208 131	-0.11320 0.2412 109	0.14853 0.0856 135
Ca	0.28605 0.0021 113	0.13702 0.1307 123	0.11476 0.2605 98	0.25626 0.0036 127	-0.09480 0.2891 127	-0.15677 0.0784 127	-0.03074 0.7556 105	0.21979 0.0117 131
Mg	0.11489 0.2277 112	-0.15415 0.0914 121	-0.02612 0.8006 96	-0.08007 0.3747 125	0.07981 0.3763 125	0.02148 0.8121 125	-0.11614 0.2427 103	0.09596 0.2793 129
VOLMAD	0.03836 0.7654 63	-0.20630 0.0821 72	0.09226 0.4375 73	0.04695 0.6871 76	-0.06948 0.5509 76	0.01004 0.9314 76	0.08272 0.5262 61	-0.00664 0.9558 72
pH	-0.28503 0.0023 112	-0.07252 0.3997 137	-0.07658 0.4058 120	-0.51380 <.0001 144	0.02832 0.7362 144	0.40302 <.0001 144	0.04421 0.6360 117	-0.22460 0.0062 147
pHKCl	0.01167 0.9002	0.13878 0.1008	0.14702 0.1091	-0.20828 0.0122	0.02385 0.7766	0.15440 0.0646	0.09411 0.3005	-0.16067 0.0473

	118	141	120	144	144	144	123	153
Daprob	-0.19641 0.0592 93	-0.37251 <.0001 119	-0.49390 <.0001 108	-0.28687 0.0009 132	-0.15972 0.0673 132	0.29399 0.0006 132	-0.49352 <.0001 98	0.20316 0.0231 125
DR	-0.00415 0.9680 96	-0.20044 0.0349 111	-0.18120 0.0712 100	-0.16091 0.0742 124	-0.12398 0.1701 124	0.18692 0.0376 124	-0.16219 0.1183 94	0.04604 0.6221 117
PORDA	0.19041 0.0907 80	0.16936 0.1046 93	0.29340 0.0055 88	0.48976 <.0001 104	0.10620 0.2833 104	-0.39914 <.0001 104	0.14400 0.2146 76	-0.03835 0.7077 98
	KS	CaS	NaS	MgS	mN	Pm	Km	Cam
sitio	-0.56768 <.0001 101	0.81690 <.0001 101	0.06444 0.5285 98	-0.40089 <.0001 101	-0.38055 0.0154 40	-0.41821 <.0001 93	0.48865 <.0001 72	0.32319 0.0068 69
ANP	-0.19476 0.0510 101	0.13678 0.1726 101	0.05985 0.5583 98	0.06403 0.5247 101	-0.15989 0.3244 40	-0.31543 0.0021 93	-0.11550 0.3340 72	-0.60594 <.0001 69
ALT	0.54154 <.0001 97	-0.63897 <.0001 97	0.10085 0.3335 94	0.33685 0.0007 97	-0.41670 0.0115 36	-0.24866 0.0217 85	0.28186 0.0219 66	0.32145 0.0102 63
GEN	0.13207 0.1880 101	-0.18249 0.0678 101	-0.03349 0.7434 98	0.36194 0.0002 101	0.04250 0.7946 40	-0.23758 0.0218 93	0.19918 0.0935 72	0.43256 0.0002 69
SP	0.07364 0.4689 99	0.15084 0.1361 99	0.02642 0.7984 96	0.21658 0.0313 99	-0.03422 0.8384 38	-0.34726 0.0008 90	0.13360 0.2702 70	-0.17576 0.1548 67
N	0.29670 0.0065 83	-0.57360 <.0001 83	-0.02994 0.7921 80	0.40788 0.0001 83	0.29523 0.0644 40	0.06928 0.5957 61	0.07850 0.5689 55	0.32181 0.0166 55
P	-0.31313 0.0014 101	0.22068 0.0266 101	-0.10021 0.3262 98	-0.32636 0.0009 101	0.45942 0.0029 40	0.37412 0.0003 91	-0.39414 0.0006 72	-0.29530 0.0138 69
K	-0.15921 0.1213 96	0.22947 0.0245 96	0.08925 0.3949 93	-0.10718 0.2986 96	-0.15433 0.3482 39	-0.19425 0.0927 76	0.48568 <.0001 68	0.59739 <.0001 66
Ca	0.02271 0.8299 92	0.03923 0.7104 92	-0.05475 0.6103 89	0.10468 0.3207 92	0.17412 0.2826 40	-0.00290 0.9800 77	0.05650 0.6447 69	-0.02983 0.8106 67
Mg	0.12558 0.2382 90	0.18126 0.0873 90	0.09607 0.3761 87	0.09811 0.3576 90	0.26088 0.1040 40	-0.20784 0.0697 77	0.37039 0.0017 69	0.82185 <.0001 67
VOLMAD	-0.04956 0.7045 61	0.19453 0.1330 61	-0.11968 0.3709 58	-0.07078 0.5878 61	-0.01465 0.9324 36	0.24027 0.0831 53	-0.04861 0.7720 38	-0.25342 0.1302 37
pH	0.43764 <.0001 95	-0.47878 <.0001 95	-0.36828 0.0003 92	0.46678 <.0001 95	-0.10324 0.5612 34	-0.13143 0.2578 76	-0.14836 0.2664 58	0.37333 0.0050 55
pHKCl	0.18548 0.0719 95	-0.04519 0.6636 95	-0.15734 0.1342 92	0.33065 0.0011 95	-0.28044 0.1082 34	-0.29331 0.0083 80	-0.00457 0.9719 62	0.11492 0.3861 59
Daprob	-0.06278 0.5456 95	0.47455 <.0001 95	-0.02518 0.8117 92	-0.39493 <.0001 95	0.63184 <.0001 34	0.02833 0.8228 65	-0.05288 0.7182 49	0.00192 0.9895 49
DR	-0.08583 0.4432 82	0.22232 0.0447 82	0.01385 0.9029 80	-0.27801 0.0114 82	0.34896 0.0431 34	0.22096 0.0769 65	-0.25264 0.0799 49	-0.01370 0.9256 49
PORDA	0.10853	-0.50857	-0.04365	0.34869	-0.46929	0.13468	-0.09851	-0.01991



	0.3410 79	<.0001 79	0.7062 77	0.0016 79	0.0077 31	0.3269 55	0.5348 42	0.9004 42
	sitio	ANP	ALT	GEN	SP	N	P	K
HUME	0.67633 <.0001 130	0.00530 0.9523 130	0.31433 0.0004 124	0.15102 0.0863 130	0.07466 0.4041 127	0.07610 0.4684 93	-0.32365 0.0002 130	0.28758 0.0021 112
MOS	0.15488 0.0584 150	0.58101 <.0001 150	-0.06899 0.4163 141	0.14284 0.0812 150	0.22383 0.0064 147	0.12075 0.2290 101	-0.19413 0.0181 148	-0.09039 0.3122 127
CE	0.18228 0.0463 120	0.21345 0.0192 120	0.17641 0.0640 111	0.21389 0.0190 120	0.14063 0.1305 117	0.20683 0.0518 89	-0.13969 0.1314 118	0.06717 0.5024 102
li	0.41761 <.0001 162	0.41838 <.0001 162	-0.06299 0.4347 156	0.08691 0.2714 162	0.08225 0.3027 159	-0.01385 0.8858 110	-0.21137 0.0073 160	-0.09798 0.2655 131
arc	0.05152 0.5150 162	0.24471 0.0017 162	-0.19621 0.0141 156	-0.02318 0.7697 162	0.14631 0.0657 159	-0.04467 0.6431 110	-0.07741 0.3306 160	-0.04939 0.5753 131
are	-0.36637 <.0001 162	-0.47410 <.0001 162	0.17469 0.0292 156	-0.06370 0.4206 162	-0.14667 0.0651 159	0.03731 0.6988 110	0.21167 0.0072 160	0.10770 0.2208 131
NS	-0.19411 0.0252 133	0.28453 0.0009 133	0.13202 0.1438 124	0.08571 0.3266 133	0.06444 0.4664 130	0.12074 0.2710 85	-0.16034 0.0663 132	-0.11320 0.2412 109
PS	0.34367 <.0001 164	-0.05850 0.4568 164	0.22703 0.0045 155	0.05005 0.5245 164	-0.02635 0.7400 161	0.00510 0.9588 105	-0.16869 0.0314 163	0.14853 0.0856 135
KS	-0.56768 <.0001 101	-0.19476 0.0510 101	0.54154 <.0001 97	0.13207 0.1880 101	0.07364 0.4689 99	0.29670 0.0065 83	-0.31313 0.0014 101	-0.15921 0.1213 96
CaS	0.81690 <.0001 101	0.13678 0.1726 101	-0.63897 <.0001 97	-0.18249 0.0678 101	0.15084 0.1361 99	-0.57360 <.0001 83	0.22068 0.0266 101	0.22947 0.0245 96
NaS	0.06444 0.5285 98	0.05985 0.5583 98	0.10085 0.3335 94	-0.03349 0.7434 98	0.02642 0.7984 96	-0.02994 0.7921 80	-0.10021 0.3262 98	0.08925 0.3949 93
MgS	-0.40089 <.0001 101	0.06403 0.5247 101	0.33685 0.0007 97	0.36194 0.0002 101	0.21658 0.0313 99	0.40788 0.0001 83	-0.32636 0.0009 101	-0.10718 0.2986 96
	Ca	Mg	VOLMAD	pH	pHKCl	Daprob	DR	PORDA
HUME	0.28605 0.0021 113	0.11489 0.2277 112	0.03836 0.7654 63	-0.28503 0.0023 112	0.01167 0.9002 118	-0.19641 0.0592 93	-0.00415 0.9680 96	0.19041 0.0907 80
MOS	0.13702 0.1307 123	-0.15415 0.0914 121	-0.20630 0.0821 72	-0.07252 0.3997 137	0.13878 0.1008 141	-0.37251 <.0001 119	-0.20044 0.0349 111	0.16936 0.1046 93
CE	0.11476 0.2605 98	-0.02612 0.8006 96	0.09226 0.4375 73	-0.07658 0.4058 120	0.14702 0.1091 120	-0.49390 <.0001 108	-0.18120 0.0712 100	0.29340 0.0055 88
li	0.25626 0.0036 127	-0.08007 0.3747 125	0.04695 0.6871 76	-0.51380 <.0001 144	-0.20828 0.0122 144	-0.28687 0.0009 132	-0.16091 0.0742 124	0.48976 <.0001 104
arc	-0.09480 0.2891 127	0.07981 0.3763 125	-0.06948 0.5509 76	0.02832 0.7362 144	0.02385 0.7766 144	-0.15972 0.0673 132	-0.12398 0.1701 124	0.10620 0.2833 104
are	-0.15677	0.02148	0.01004	0.40302	0.15440	0.29399	0.18692	-0.39914

	0.0784 127	0.8121 125	0.9314 76	<.0001 144	0.0646 144	0.0006 132	0.0376 124	<.0001 104
NS	-0.03074 0.7556 105	-0.11614 0.2427 103	0.08272 0.5262 61	0.04421 0.6360 117	0.09411 0.3005 123	-0.49352 <.0001 98	-0.16219 0.1183 94	0.14400 0.2146 76
PS	0.21979 0.0117 131	0.09596 0.2793 129	-0.00664 0.9558 72	-0.22460 0.0062 147	-0.16067 0.0473 153	0.20316 0.0231 125	0.04604 0.6221 117	-0.03835 0.7077 98
KS	0.02271 0.8299 92	0.12558 0.2382 90	-0.04956 0.7045 61	0.43764 <.0001 95	0.18548 0.0719 95	-0.06278 0.5456 95	-0.08583 0.4432 82	0.10853 0.3410 79
CaS	0.03923 0.7104 92	0.18126 0.0873 90	0.19453 0.1330 61	-0.47878 <.0001 95	-0.04519 0.6636 95	0.47455 <.0001 95	0.22232 0.0447 82	-0.50857 <.0001 79
NaS	-0.05475 0.6103 89	0.09607 0.3761 87	-0.11968 0.3709 58	-0.36828 0.0003 92	-0.15734 0.1342 92	-0.02518 0.8117 92	0.01385 0.9029 80	-0.04365 0.7062 77
MgS	0.10468 0.3207 92	0.09811 0.3576 90	-0.07078 0.5878 61	0.46678 <.0001 95	0.33065 0.0011 95	-0.39493 <.0001 95	-0.27801 0.0114 82	0.34869 0.0016 79
	HUME	MOS	CE	li	arc	are	NS	PS
HUME	1.00000 130	0.06108 0.5360 105	0.11296 0.3123 82	0.17610 0.0645 111	-0.08008 0.4034 111	-0.10057 0.2936 111	-0.05806 0.5622 102	0.33683 0.0002 120
MOS	0.06108 0.5360 105	1.00000 150	0.34516 0.0001 119	0.29348 0.0005 139	0.17248 0.0423 139	-0.31294 0.0002 139	0.43632 <.0001 116	-0.11213 0.1763 147
CE	0.11296 0.3123 82	0.34516 0.0001 119	1.00000 120	-0.03507 0.7074 117	0.24300 0.0083 117	-0.11790 0.2055 117	0.20694 0.0517 89	-0.30315 0.0009 117
li	0.17610 0.0645 111	0.29348 0.0005 139	-0.03507 0.7074 117	1.00000 162	0.04271 0.5894 162	-0.84995 <.0001 162	0.02248 0.8090 118	0.37449 <.0001 149
arc	-0.08008 0.4034 111	0.17248 0.0423 139	0.24300 0.0083 117	0.04271 0.5894 162	1.00000 162	-0.56201 <.0001 162	0.38793 <.0001 118	-0.31204 0.0001 149
are	-0.10057 0.2936 111	-0.31294 0.0002 139	-0.11790 0.2055 117	-0.84995 <.0001 162	-0.56201 <.0001 162	1.00000 162	-0.18136 0.0494 118	-0.16519 0.0441 149
NS	-0.05806 0.5622 102	0.43632 <.0001 116	0.20694 0.0517 89	0.02248 0.8090 118	0.38793 <.0001 118	-0.18136 0.0494 118	1.00000 133	-0.31282 0.0003 130
PS	0.33683 0.0002 120	-0.11213 0.1763 147	-0.30315 0.0009 117	0.37449 <.0001 149	-0.31204 0.0001 149	-0.16519 0.0441 149	-0.31282 0.0003 130	1.00000 164
KS	-0.23823 0.0357 78	0.11062 0.2993 90	0.23376 0.0257 91	-0.05885 0.5669 97	0.05202 0.6128 97	0.01507 0.8835 97	0.45760 <.0001 77	-0.19399 0.0569 97
CaS	0.01937 0.8663 78	-0.23042 0.0289 90	-0.27741 0.0078 91	0.06788 0.5088 97	-0.00513 0.9602 97	-0.04082 0.6914 97	-0.36422 0.0011 77	0.01042 0.9193 97
NaS	0.11330 0.3298 76	-0.15007 0.1653 87	-0.17562 0.1017 88	0.19929 0.0541 94	-0.21088 0.0413 94	-0.01482 0.8872 94	0.00162 0.9891 74	0.01805 0.8629 94
MgS	-0.02110 0.8545 78	0.33995 0.0010 90	0.49338 <.0001 91	0.03990 0.6980 97	-0.10891 0.2883 97	0.04008 0.6967 97	0.28424 0.0122 77	0.04391 0.6693 97

❖ APÉNDICE b

SAS  
GLM

Informacion

Class	Levels	Values
sitio	35	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 33 34 35 36 37
ANP	5	1 2 4 5 6
ALT	35	1818 1952 2003 2114 2134 2326 2327 2387 2430 2437 2486 2489 2527 2544 2719 2855 2897 3047 3068 3166 3215 3218 3230 3232 3306 3320 3383 3471 3569 3582 3621 3639 3749 3798 3902
GEN	3	1 2 4
SP	11	1 2 3 4 5 6 7 8 12 13 15

Número de observaciones 186  
Variables Dependientes con Equivalentes

Patrón	Obs	Variables Dependientes
1	109	N
2	173	P
3	140	K
4	136	Ca
5	134	Mg
6	73	VOLMAD
7	141	pH
8	147	pHKCl
9	123	Daprob
10	115	DR
11	97	PORDA
12	121	HUME
13	138	MOS
14	108	CE
15	153	li arc are
16	121	NS
17	152	PS
18	95	KS CaS MgS
19	92	NaS

Variable Dependiente: N

Fuente	DF	Type I SS	Cuadrado Media	Valor F	Pr > F
ANP	4	115.7396873	28.9349218	5.01	0.0013
ALT	26	134.2164039	5.1621694	0.89	0.6154
GEN	2	31.4525703	15.7262851	2.72	0.0729
SP	7	18.2488061	2.6069723	0.45	0.8662

Dependent Variable: P

ANP	4	3.25053956	0.81263489	34.27	<.0001
ALT	30	3.71938888	0.12397963	5.23	<.0001
GEN	2	0.22617648	0.11308824	4.77	0.0101
SP	10	1.56472300	0.15647230	6.60	<.0001

Dependent Variable: K

ANP	4	317.9660377	79.4915094	158.91	<.0001
ALT	30	253.1015702	8.4367190	16.87	<.0001
GEN	2	0.2618020	0.1309010	0.26	0.7703
SP	7	0.1654528	0.0236361	0.05	0.9998

Dependent Variable: Ca

ANP	4	388.590774	97.147694	7.45	<.0001
ALT	30	1984.825450	66.160848	5.08	<.0001
GEN	2	817.931084	408.965542	31.38	<.0001
SP	8	715.864757	89.483095	6.87	<.0001

Dependent Variable: Mg

ANP	4	2.42420729	0.60605182	81.08	<.0001
ALT	30	0.90679835	0.03022661	4.04	<.0001
GEN	2	0.12980487	0.06490243	8.68	0.0004
SP	8	0.05134898	0.00641862	0.86	0.5543

Dependent Variable: VOLMAD

ANP	3	5261046.14	1753682.05	Infty	<.0001
ALT	13	57482569.89	4421736.15	Infty	<.0001
GEN	1	0.00	0.00	.	.
SP	6	0.00	0.00	.	.

Dependent Variable: pH

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
ANP	4	21.64049880	5.41012470	397.05	<.0001
ALT	25	49.52555935	1.98102237	145.39	<.0001
GEN	2	0.00153267	0.00076633	0.06	0.9453
SP	8	0.00991805	0.00123976	0.09	0.9994

Dependent Variable: pHKCl

ANP	4	10.68415173	2.67103793	2517.79	<.0001
ALT	26	38.94527888	1.49789534	1411.95	<.0001
GEN	2	0.00000215	0.00000107	0.00	0.9990
SP	10	0.00003436	0.00000344	0.00	1.0000

Dependent Variable: Daprob

ANP	4	2.41561591	0.60390398	459.24	<.0001
ALT	21	3.15041000	0.15001952	114.08	<.0001
GEN	2	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
SP	7	0.00009372	0.00001339	0.01	1.0000

Dependent Variable: DR

ANP	4	18.00521730	4.50130433	3.69	0.0083
ALT	22	21.14666907	0.96121223	0.79	0.7312
GEN	2	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
SP	7	0.00822456	0.00117494	0.00	1.0000

Dependent Variable: PORDA

ANP	4	567.419712	141.854928	12.37	<.0001
ALT	20	4113.985029	205.699251	17.94	<.0001
GEN	2	0.000000	0.000000	0.00	1.0000
SP	7	0.000000	0.000000	0.00	1.0000

Dependent Variable: HUME

ANP	4	4957.83925	1239.45981	36.91	<.0001
ALT	29	13971.67525	481.78191	14.35	<.0001
GEN	2	4.31944	2.15972	0.06	0.9378
SP	9	49.59362	5.51040	0.16	0.9969

Dependent Variable: MOS

ANP	4	3910.459453	977.614863	190.56	<.0001
ALT	26	3130.890602	120.418869	23.47	<.0001
GEN	2	41.391009	20.695505	4.03	0.0208
SP	8	30.292808	3.786601	0.74	0.6577

Dependent Variable: CE

ANP	3	0.06510554	0.02170185	7.69	0.0001
ALT	18	0.29418853	0.01634381	5.79	<.0001
GEN	2	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
SP	7	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000

Dependent Variable: li

ANP	4	6226.36366	1556.59092	Infty	<.0001
ALT	26	14132.86510	543.57173	Infty	<.0001
GEN	2	0.00000	0.00000	.	.
SP	7	0.00000	0.00000	.	.

Dependent Variable: arc

Source

ANP	4	1855.929030	463.982257	Infty	<.0001
ALT	26	7540.541558	290.020829	Infty	<.0001
GEN	2	0.000000	0.000000	.	.
SP	7	0.000000	0.000000	.	.

Dependent Variable: are

ANP	4	12752.19012	3188.04753	Infty	<.0001
ALT	26	16291.31315	626.58897	Infty	<.0001
GEN	2	0.000000	0.000000	.	.
SP	7	0.000000	0.000000	.	.

Dependent Variable: NS

ANP	4	4.69277948	1.17319487	236.05	<.0001
ALT	24	15.18106815	0.63254451	127.27	<.0001
GEN	2	0.00000920	0.00000460	0.00	0.9991
SP	10	0.00021159	0.00002116	0.00	1.0000

Dependent Variable: PS

ANP	4	48147.4479	12036.8620	39.55	<.0001
ALT	28	701980.8007	25070.7429	82.37	<.0001
GEN	2	19.3749	9.6874	0.03	0.9687
SP	10	1129.2804	112.9280	0.37	0.9566

Dependent Variable: KS

ANP	4	7.36203460	1.84050865	2324.60	<.0001
ALT	18	10.58648088	0.58813783	742.83	<.0001
GEN	2	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
SP	7	0.00000060	0.00000009	0.00	1.0000

Dependent Variable: CaS

ANP	4	189.8988149	47.4747037	2909.43	<.0001
ALT	18	17.3222288	0.9623460	58.98	<.0001
GEN	2	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
SP	7	0.0009628	0.0001375	0.01	1.0000

Dependent Variable: MgS

ANP	4	0.72705896	0.18176474	327.19	<.0001
ALT	18	0.94956865	0.05275381	94.96	<.0001
GEN	2	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
SP	7	0.00000060	0.00000009	0.00	1.0000

Dependent Variable: NaS

ANP	4	0.00399134	0.00099784	1.37	0.2536
ALT	18	0.17702500	0.00983472	13.55	<.0001
GEN	2	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
SP	7	0.00000167	0.00000024	0.00	1.0000