



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**CONTENIDO FOLIAR DE N, P, Ca, Mg y K EN ESPECIES
ARBÓREAS DE BOSQUES TEMPLADOS Y CALIDAD DEL
SUELO EN LA SIERRA DE MANANTLÁN Y LA SIERRA
JUÁREZ**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A

MARTÍNEZ COHETERO JUAN FRANCISCO

DIRECTOR DE TESIS: Dr. GERARDO CRUZ FLORES

PROYECTO APOYADO POR DGAPA PAPIIT IN- 228403

MEXICO, D.F.

Marzo 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

*Gabino Martínez Hernández
Ninfa Cohetero Cohetero.*

HERMANOS:

José Luís

Aaraón

Humberto

Araceli

Raúl

Oscar

Un hombre inteligente es aquel que siempre quiere seguir aprendiendo, los demás enseñan.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, por permitirme haberme dejado sentir orgullo, cariño, respeto y sobre todo el compromiso de pertenecer a esta gran institución.

FES Zaragoza C.II Por la oportunidad que me brindo para ser parte de esta institución y por ser la casa de estudios que me brindo una formación profesional.

Al Dr. Gerardo Cruz Flores por compartir sus conocimientos, tanto académicos como también de la vida misma.

A la M. en C. Lourdes Castillo Granada por el apoyo en las lecturas de los elementos en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Al jurado: Q. Ma. Gpe. De la Cruz Corona Vargas, Dr. Gerardo Cruz Flores, M en C. Efraín Ángeles Cervantes, Biól. Leticia López Vicente, Dr. Ma. Socorro Orozco Almanza. Por sus comentarios y observaciones que mejoraron y enriquecieron este trabajo.

A mis compañeros del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal (L301) y a los de la Unidad Multidisciplinaria de Investigación Experimental Zaragoza L 8 (UMIEZ).

A mis compañeros de la generación, por todo lo compartido dentro y fuera de los salones de clases.

A mis amigos y amigas: Ivan (galo), Ricardo (doña), valdo, Jorge (yorch), paco, noa, Enrique (chito), Alfredo, Ivan (tucán), Miguel L, Arturo, Pedro (peter), Miriam, Rasviet, Tania, Claudia, Yanet, Fabiola, Lety, Azucena, Ana, Bere, Sara, Beyi, Margarita, Nancy, Cintia, Mario, Keta, Paco, Evelyn, Lalo, Mike, Miguel, y a todos aquellos que no he mencionado.

ÍNDICE TEMÁTICO

	Página
Índice de Figuras	iii
Índice de Cuadros	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Estado nutrimental foliar de las especies vegetales	3
2.2 Elementos esenciales	3
2.3 Características de los nutrimentos foliares esenciales	5
2.4 Áreas Naturales Protegidas (ANP)	8
2.5 Bosques templados de montaña	10
2.6 Importancia nutrimental del mantillo	10
2.7 Concepto de suelo	11
2.8 Características de los suelos forestales	12
2.9 Concepto de calidad del suelo	12
2.9.1 Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo	13
2.9.2 Indicadores físicos	14
2.9.3 Indicadores químicos	14
2.9.4 Indicadores biológicos	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. HIPÓTESIS	16
5. OBJETIVOS	17
6. ZONAS DE ESTUDIO	18
6.1 Sierra de Juárez, Oaxaca	19
6.2 Sierra de Manantlán, Jalisco	20
7. MATERIALES Y MÉTODOS	23
7.1 Trabajo de campo	23
7.1.1 Selección de sitios de muestreo	23
7.1.2 Recolectas de muestras foliares	24
7.1.3 Recolectas de muestras de mantillo	25
7.1.4 Recolectas de muestras de suelo	26
7.2 Tratamiento de muestras foliares, mantillo y suelo	26
7.3 Análisis químico de foliar y mantillo	27
7.4 Determinación de parámetros físicos y químicos de suelo	28
7.5 Análisis Estadístico	31
7.6 Diagrama de Flujo	32
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
8.1 Descripción general de las condiciones fisiográficas en los sitios de estudio	33
8.1.1 Sierra Juárez (SJ), Oaxaca	33
8.1.2 Sierra de Manantlán (SM), Jalisco	34
8.2 Caracterización Arbórea	37
8.2.1 Estado nutrimental del género <i>Pinus</i>	37
8.3 Estado nutrimental en el tejido foliar de las especies de <i>Pinus</i>	43

8.4 Estado nutrimental de <i>Abies religiosa</i> en Sierra Juárez, Oaxaca y Sierra de Manantlán, Jalisco	47
8.5 Reserva nutrimental en mantillo	48
8.6 Caracterización de suelos	50
8.6. 1 Propiedades físicas del suelo	50
8.6.2 Propiedades químicas del suelo	51
8.7 Análisis de componentes principales	53
8.8 Análisis de correlaciones canónicas	54
9. Conclusiones	55
10. Comentarios y sugerencias	57
11. Literatura citada	58
12. Apéndices	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Localización de las zonas de estudio	18
2. Bosque de pino en la Sierra de Juárez, Oaxaca	20
3. Estación científica las Joyas dentro de la Sierra de Manantlán Jalisco	22
4. Selección de las áreas de estudio	24
5. Toma de datos de la zona	24
6. Georeferenciación de la zona de estudio	24
7. Obtención de muestra foliar con tijeras de jardinería	25
8. Toma de la muestra foliar con la cuerda en árboles de 20 a 30m	25
9. Almacenamiento de muestras foliares	25
10. Recolecta de mantillo	25
11. Toma de muestras de suelo	26
12. Estufa para secado de muestras	26
13. Molienda y guardado de muestras foliares	27
14. Nitrógeno por semimicro-kjeldahl	27
15. Fósforo por el método Vanadato-molibdato	27
16. Extracción de cationes	28
17. Determinación de pH	28
18. Determinación de conductividad eléctrica	29
19. Determinación de densidad, técnica de la probeta	29
20. Determinación materia orgánica	29
21. Nitrógeno por semimicro-kjeldahl con inclusión de nitratos	30
22. Extracción de cationes intercambiables del suelo	30
23. Bosque de pino	34
24. Práctica del ocoteo	34
25. Introducción de ganado	34
26. Bosque de pino	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo	15
2. Descripción fisiográfica y ubicación de las zonas estudiadas	35
3. Estado nutricional de tejido foliar en <i>Pinus</i> en la Sierra Juárez y Sierra de Manantlán	42
4. Intervalos de Suficiencia nutrimental propuestos por (Touzet, 1987)	42
5. Especies del género <i>Pinus</i> encontradas en las zonas de estudio	44
6. Nivel nutrimental del género <i>Pinus</i> por especie en la SJ Oaxaca	45
7. Nivel nutrimental del género <i>Pinus</i> por especie en la SM Jalisco	46
8. Intervalos de concentración foliar para <i>Abies religiosa</i>	47
9. Concentración nutrimental de N, P, Ca, Mg y K de <i>Abies religiosa</i> en las zonas de estudio	48
10. Concentración y contenido de N, P, Ca, Mg y K en el mantillo	49
11. Guía general de los niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de los Nutrimientos y elementos benéficos para las plantas	50
12. Propiedades físicas del suelo, valores promedio de las ANP	51
13. Contenido de MOS, N-T, P y cationes intercambiables	52
14. Grupo de Componentes Principales (CP)	53
15. Coeficientes canónicos estandarizados para calidad del suelo	54

RESUMEN

Por la importancia económica, social y ecológica de los bosques templados es pertinente el estudio del estado nutricional de las especies arbóreas porque éste se relaciona directamente con su crecimiento y su productividad. Con el objetivo de determinar el estado de N, P, K⁺, Ca²⁺, y Mg²⁺ en *Pinus* y *Abies*, esta investigación fue realizada en la Sierra de Juárez (SJ), Oaxaca y Sierra de Manantlán (SM), Jalisco, en un intervalo altitudinal entre 842 y 3275m. En los sitios de estudio, se encontraron las siguientes especies: *Pinus rudis*, *P. patula*, *P. teocote*, *P. Pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite variedad Oaxacana*, *P. douglasiana*, *P. sp* y *Abies religiosa*. Se delimitaron cuadrantes de 50×20 m en los que se colectaron muestras foliares, de los dos últimos años, de 6 individuos seleccionados al azar para cada especie arbórea presente. Las muestras se secaron a 75 °C hasta alcanzar peso constante, se molieron e hicieron pasar por una malla No. 20. Se determinó N-total para lo cual se solubilizaron los nutrimentos mediante digestión (1:2) nítrico-perclórica. Ca, Mg y K se determinaron por absorción y emisión atómica y finalmente el P con el método vanadato-molibdato. Los resultados demostraron que las especies del género *Pinus*, tuvieron mayores concentraciones de N, K, Ca y Mg en la Sierra de Manantlán mientras que el P presentó valores semejantes en ambas zonas. Los suelos analizados son ricos en MOS con tendencia a incrementarse con la altitud y disminuir a mayor pendiente. El Análisis de componentes principales mostró que de un total de 34 variables originales, las variables robustas fueron el porcentaje de arena, humedad del suelo, espacio poroso, relación N:Ca, P-mantillo, Nfol y Pfol. El análisis de correlaciones canónicas demostró que las variables más importantes para la determinación de la calidad del suelo fueron el Mg, Ca y K intercambiables y la relación N/K foliar. Los suelos estudiados bajo *Pinus* y *Abies* se caracterizaron por presentar texturas franco arenosas, con conductividad eléctrica muy baja, su acidez fue de moderada a extrema y es atribuible a la descomposición de restos de los *Pinus* que predominan en el mantillo.

Palabras clave: Bosques templados, *Pinus*, estado nutrimental, Sierra de Manantlán, Sierra de Juárez.

ABSTRACT

Due to the social, economic and ecological importance of temperate forests is increasing the need for studies on the nutritional status of tree species because it relates directly to their growth and productivity. In order to determine the nutritional status of N, P, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in *Pines* and *Abies*, this research was conducted in the Sierra Juárez (SJ), Oaxaca and Sierra Manantlan (SM), Jalisco, in an altitudinal range between 842 and 3275m. At sites that were studied, we found the following species: *Pinus rudis*, *P. patula*, *P. teocote*, *P. Pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite oaxacana* variety, *P. douglasiana*, *P. sp* and *Abies religiosa*. Was divided into quadrants of 50x20m in which leaf samples were collected from the two most recent years in 6 individuals selected at random for each tree species present. The samples were dried at 75 °C until constant weight, were milled and made to pass through a No.20 mesh. N-total was determined and solubilize nutrients through digestion (1:2) nitric-perchloric. Ca, Mg and K were determined by atomic absorption and emission, and finally the P with vanadate-molybdate method. The results showed that the species of the genus *Pinus*, had higher concentrations of N, K, Ca and Mg in the Sierra Manantlán while the P presented similar values in both areas. Studied soils under *Pinus* and *Abies* are characterized by sandy loam textures, with very low electrical conductivity, soil acidity was moderate to extreme, and is attributable to the decomposition of humus in the remains of which dominate the Pines. The soils were analyzed with high MOS tended to increase with increasing altitude and decreasing the slope. Principal components analysis showed that percentage of sand, soil moisture, pore space, N:Ca, P-litter, Nfol and Pfol variables were robust a total of 34 original variables. In the analysis of canonical correlations, the most important variables in determining soil quality were Mg, Ca, and K exchangeable and N:K leaf.

Key words: Temperate forest, *Pinus*, nutritional status, Sierra Manantlan, Sierra de Juárez.

1. INTRODUCCIÓN

El estado nutrimental relacionado con el contenido de los elementos en los diferentes órganos en las plantas superiores, puede estar asociado con estadios de deficiencia y suficiencia de los nutrimentos esenciales. El estado nutrimental, se determina con métodos de análisis químicos para la cuantificación de los nutrimentos del suelo y de ciertas partes de las plantas. Su importancia radica en el diagnóstico (cuantificación de la presencia o deficiencia) de nutrimentos esenciales o de elementos químicos en niveles tóxicos que afectan el desarrollo y producción de la planta (Etchevers *et al.*, 2000).

Los bosques templados ocupan una cobertura entre 15-20% del territorio mexicano con un amplio rango altitudinal (0 a 4560 msnm), destacan los árboles como *Pinus* y *Abetos*, aunque la mayoría de las especies se encuentra entre los 1500 a 3000 msnm, distribuidos a lo largo de las cadenas montañosas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur (SEMARNAT, 2000), en estas dos últimas se localizan la Sierra de Manantlán, Jalisco y la Sierra de Juárez, Oaxaca que tienen, además de otros tipos de vegetación, bosques templados de pinos y oyamel y de pino-encino en los que se definieron unidades ambientales homogéneas en cuanto al paisaje fisiográfico y tipo de vegetación para determinar en especies arbóreas, mediante análisis químico del follaje, su estado nutrimental.

Para relacionar el estado nutrimental de las especies arbóreas con los capitales de reserva de nutrimentos en suelo y mantillo, se realizó el análisis químico en esos compartimientos y se estimó con ello la calidad del suelo expresada en función del contenido y balance de nutrimentos.

Dada la importancia económica, social y ecológica de los bosques los cuales, son recursos fundamentales que representan una fuente de gran variedad de bienes destinados directamente al consumo familiar (alimentos, medicina, leña, materiales de construcción), a la regulación de flujos hídricos (aumentando la captación de agua, el caudal de arroyos y enriquecimiento de mantos acuíferos) y contribuyendo también a la conservación de la flora y fauna y al incremento en la captura de carbono, el

estudio del estado nutrimental de especies arbóreas presentes en bosques es un elemento importante para proponer un manejo adecuado de la fertilidad de suelos forestales y contribuir a la solución de la crisis en que se encuentra el área boscosa de México debida a la gran presión que ejercen sobre los bosques las comunidades humanas que habitan cerca de ellas por tala inmoderada, de árboles aún en edad de crecimiento y reproducción, por ocoteo y cambio de uso de la tierra en el que hay disminución del área forestal a favor de apertura de suelos a las actividades agropecuarias o desarrollos inmobiliarios (extensión de zonas urbanas).

El conocimiento, por los usuarios del bosque, del estado nutrimental en especies arbóreas de bosques templados es una herramienta importante para el manejo de la fertilidad de los suelos y para establecer programas de suministro adecuado de nutrientes que permita una producción de madera y otros recursos del bosque superiores a la que se consumen (manejo sustentable).

2. MARCO TEORICO

2.1 Estado nutrimental foliar de las especies vegetales.

El estado nutrimental de una especie se puede relacionar con estadios de deficiencia y suficiencia de los nutrimentos esenciales, ya que las plantas construyen su organismo con determinados elementos químicos que se encuentran en el medio que las rodea. Aproximadamente entre 95 y 98% del peso seco de la planta está constituida por H, C, O y N por lo que de 2 a 5% corresponden a otros elementos (Quiroz, 2002).

Los elementos nutrimentales no sólo deben estar presentes en las formas que la planta los puede utilizar, sino también debe de existir entre ellos un equilibrio aproximado de acuerdo con las cantidades que necesiten las plantas. Si falta alguno de éstos o se encuentra presente en proporciones inadecuadas, las plantas no tendrán un crecimiento normal. Entonces, los elementos requeridos por la planta para un desarrollo óptimo son los elementos esenciales (Narváez, 2001).

2.2 Elementos esenciales

(Marschner, 1995), ha considerado que un elemento esencial, deberá cumplir cada uno de los tres criterios que se mencionan a continuación:

- La planta no podrá completar su ciclo de vida en ausencia del elemento.
- La acción del elemento deberá ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente.
- El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, por lo menos, ser necesaria su presencia para la acción de una enzima esencial, y no ser simplemente la causa para que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser por lo menos un antagonista de un efecto tóxico de otros elementos.

Además, los nutrimentos ejercen funciones específicas en la vida de la planta, las cuales pueden ser clasificadas en tres grandes grupos:

- Estructural.- El elemento forma parte de la molécula de uno o más compuestos orgánicos (aminoácidos y proteínas).
- Constituyentes de enzimas.- Se trata de un caso particular del primero y se refiere a elementos, generalmente metales o elementos de transición que forman parte del grupo prostético de enzimas y que son esenciales en las actividades de las mismas. Este es el caso del cobre, hierro, zinc, manganeso, molibdeno y níquel.
- 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 (Cruz, 2006).

En la actualidad, 16 elementos son considerados como esenciales: Carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl). Tales elementos nutritivos, a su vez, pueden clasificarse como macronutrimentos (C, H, O, N, P, K, S, Ca y Mg) y micronutrimentos (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B y Cl) (Domínguez, 1989). Los primeros, por lo general son necesarios en cantidades relativamente grandes de más de 500 partes por millón (ppm). Para el caso de los micronutrimentos, se necesitan en cantidades mucho más pequeñas, de ordinario de menos de 50 partes por millón (Narváez, 2001; Donahue, 1981).

Los elementos C, O, H, N, y S son constituyentes de compuestos orgánicos básicos en el metabolismo de la planta, los dos primeros formando parte del grupo carboxílico, el N en grupos amida y amino principalmente (proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, nucleoproteínas, clorofila, etc.) y el S como grupo sulfhídrido; participando en todos ellos el H.

2.3 Características de los nutrimentos foliares esenciales

Las plantas para su desarrollo necesitan de nutrimentos, dentro de estos el nitrógeno(N), es esencial para su crecimiento, ya que es parte de cada célula viva, por lo que las plantas exigen grandes cantidades de este elemento. El N en el suelo no es tan abundante como en la atmósfera por lo que las plantas han tenido que desarrollar estrategias para poder obtenerlo. Así mismo, es un constituyente de los más importantes, debido a que su contenido en la planta varía entre 2 y 4% en la materia seca y de éste, entre 80 y 85% corresponde a proteínas y 10% a los ácidos nucleicos.

El N es absorbido, tanto en forma nítrica (ión nitrato, NO_3^-) como en forma amoniacal (NH_4^+), siendo la primera la preferentemente absorbida. Por otro lado, la presencia de la forma amoniacal parece más favorecida a baja temperatura, en tanto que la forma nítrica lo es a bajo pH (Marschner, 1995).

El N absorbido por las plantas es transformado en su interior a las formas R-N=, R-NH-, R-NH₂. Este N reducido es asimilado en compuestos más complejos y finalmente transformado en proteínas.

No obstante, un excesivo contenido de N en la planta puede reducir la acumulación de hidratos de carbono en la célula con lo que la pared celular puede verse afectada y en consecuencia, obtenerse plantas más débiles. Por otro lado, una deficiencia de éste elemento en la planta, se manifiesta con color claro de ellas, hojas amarillas, y cuando se secan, de color café claro, tallos cortos y delgados si el elemento es deficiente en estadios avanzados del crecimiento.

También se aprecia reducción general del crecimiento vegetativo de tallos y raíces, las partes aéreas son delgadas, ahiladas y de crecimiento vertical, las hojas son de tamaño reducido y de color verde amarillento pálido. En algunos casos, con baja temperatura puede aparecer alguna tonalidad púrpura. La deficiencia es más frecuente al principio de la primavera tras periodos de lluvias intensas y en la época de maduración en condiciones de baja temperatura (Salisbury y Ross, 1992).

Después del nitrógeno, el fósforo (P) es el segundo nutrimento en importancia para la planta, siendo un elemento relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos, como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y altamente lixiviados. Esta gran estabilidad resulta de baja solubilidad, lo que a veces causa deficiencias en su disponibilidad para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo. Es esencial para el crecimiento de las plantas y ningún otro elemento lo puede sustituir. Es más abundante que el N en el suelo, pero el problema que se presenta con él es que se fija muy fácilmente en complejos que la planta no puede separar.

El P participa en todas las reacciones de la planta en las que hay intercambio de energía y es el compuesto más importante en el Trifosfato de Adenosina (ATP). Las plantas absorben la mayor parte del fósforo como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y pequeñas cantidades del ion secundario (HPO_4^{2-}) son también absorbidas. Las plantas pueden absorberlo del suelo aún de concentraciones muy bajas. Cruz (2006), menciona que la temperatura y el pH tienen una marcada influencia en la absorción del P, la cual se reduce con el frío a pH elevado.

El P es un constituyente de las enzimas y proteínas, componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos, glucosa, ATP, ácidos nucleicos (genes y cromosomas); por lo que juega un papel importante en el ciclo de vida de las plantas y es importante en el desarrollo reproductivo.

La cantidad de P presente en los tejidos de las plantas vivas es aproximadamente de una décima parte de la que se tiene de N. Por otra parte, la mayor concentración se presenta en los tejidos vegetales jóvenes (Marschner, 1995).

El P fomenta la formación de raíces laterales y fibrosas, lo que aumenta la superficie de absorción de nutrimentos. Hace mayor la resistencia a las enfermedades de las plantas y da un desarrollo normal de la célula (Sánchez y Escalante, 1984; Pritchett, 1991 y Tamhane, 1978).

Los síntomas más característicos por deficiencia son: coloración anormal de las hojas (tono oscuro azul verdoso, con tinte bronceado o púrpura visible por formación de antocianina en los bordes de los nervios) y el sistema radicular es fibroso y poco desarrollado.

Respecto al potasio (K), éste es el catión más abundante en el citoplasma y esto influye en una mayor contribución al potencial osmótico de las células. Este elemento se absorbe en forma de K^+ ; la velocidad de absorción del potasio por las plantas es superior a la del nitrógeno (Marschner, 1995), tiene funciones en la estabilización del pH en la célula, es activador de más de 60 enzimas en el tejido meristemático, aumenta la resistencia de la planta a enfermedades y plagas; además de ayudar a mantener la permeabilidad de la célula y hacer que el hierro sea más móvil en la planta.

El K tiene un papel muy importante en los tejidos de división. De modo parecido a lo que ocurre con el P, el K está presente en mayor proporción en las partes de la planta que se encuentra en división activa (Marschner, 1995; Pritchett, 1991).

Casi no existen estudios completos sobre el ciclo del K en plantaciones forestales tropicales y subtropicales. De acuerdo con los datos en *Pinus patula* de treinta años, se remueven $696 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K del suelo; de la demanda anual de $78 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K, aproximadamente la mitad ($35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K) retorna al suelo en forma de hojarasca. Para el caso de *Pinus caribaea* de diez años de edad se acumulan, en total $375 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K, de los cuales 152 se encuentran en las acículas y 105 en las ramas y tallos; el resto aparece en las raíces y en la capa de mantillo (Fassbender y Bornemiza, 1987).

En cuanto al Calcio (Ca), éste se encuentra en las plantas principalmente como pectato de calcio (componente de las paredes celulares) y dentro de las vacuolas como un precipitado de oxalato cálcico. Este elemento está involucrado en la elongación y división celular (mitosis).

Es absorbido bajo la forma de ion Ca^{2+} y es necesario para la formación de algunas enzimas, como la amilasa y determinadas nucleasas, tiene influencia sobre el pH de las células y en la estabilidad estructural, así como en la

permeabilidad de las membranas celulares. También es absolutamente necesario para la división y crecimiento celular y proporciona un material básico para la neutralización de los ácidos orgánicos (Tisdale y Nelson, 1988; Pritchett, 1991). Las variaciones en el contenido de calcio son más o menos solubles, originando que los suelos de regiones húmedas, donde la humedad asegura una continúa solución de minerales de calcio, sean de bajo contenido. Los minerales de calcio son tan predominantes que muy rara vez los suelos son deficientes en calcio excepto los suelos arenosos (los cuales contienen nada o muy poco de minerales de calcio). Muchos suelos orgánicos son ácidos y bajos en calcio por que los residuos de plantas originales son también bajos en calcio (Donahue, 1981).

El Magnesio (Mg) es parte esencial de la molécula de clorofila, por lo que una parte apreciable del contenido total en la planta se halla en los cloroplastos de las células de las hojas. Este elemento es absorbido como ion Mg^{2+} y en menores cantidades que el K o el Ca.

El Mg es muy susceptible a la competencia con otros cationes en su absorción. Entre sus múltiples funciones se encuentra: ayudar a la formación de azúcares, aceites y grasas, activar la formación de cadenas polipeptídicas de aminoácidos; está involucrado en la respiración, es activador enzimático en el metabolismo de carbohidratos y síntesis de ácidos nucleicos, es esencial para mantener la estructura del ribosoma; además, ayuda a la absorción del P, participando en la formación de ésteres de ácido fosfórico de complejos orgánicos (Quiroz, 2002).

2.4 Áreas Naturales Protegidas (ANP)

La protección de hábitats que poseen una especial importancia por sus características particulares, o por la biodiversidad que se encuentra en ellos, se ha realizado desde hace varias décadas a través del establecimiento de las Áreas Naturales Protegidas (ANP).

Una ANP se define como “una zona en la que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad humana o que requieran ser restauradas, y que hayan quedado sujetas a cualquiera de los regímenes de protección. Su objetivo es servir de albergue a varias especies de animales y

vegetales, muchas de ellas en serio peligro de extinción, para que pueden desarrollarse a su modo. También se puede aprender mucho acerca de historia pues estos parques son el reflejo del pasado de las civilizaciones”.

Dentro de las ANP, entran las Reservas de la Biosfera. Son áreas representativas de uno o más ecosistemas no alterados por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción (SEMADES, 2004).

En la práctica los objetivos específicos para los cuales se manejan las áreas protegidas son los siguientes:

- Investigación científica
- Protección de zonas silvestres
- Preservación de las especies y la diversidad genética
- Mantenimiento de los servicios ambientales
- Protección de características naturales y culturales específicas
- Turismo y recreación
- Educación
- Utilización sostenible de los recursos derivados de ecosistemas naturales
- Mantenimiento de los atributos culturales y tradicionales.

Teniendo en cuenta las diferentes combinaciones de estos objetivos de manejo y las prioridades de los mismos, la World Conservación Unión (UICN), avalada por la Organización de las Naciones Unidas, ha Establecido dentro de la Categoría II a los Parques Nacionales, en los que se lleva a cabo la Conservación de ecosistemas, turismo y recreación (CICEANA, 2007).

2.5 Bosques templados de montaña

Los bosques templados de montaña en México abarcan una superficie de 327,510.6 km² (Velázquez *et al.*, 2001) y se distribuyen principalmente a lo largo de las cadenas montañosas, cubriendo una gran variedad de condiciones morfogénicas y litológicas. A lo largo de la Sierra Madre Oriental, los bosques de pino-encino se encuentran desde el sur de Tamaulipas hasta el centro de Veracruz; a lo largo de la Sierra Madre Occidental, desde Chihuahua hasta el norte de Michoacán; en el centro del país desde Colima hasta el centro de Veracruz cubriendo parte del Eje Neovolcánico Mexicano; y en la Sierra Madre del Sur, desde Michoacán hasta Oaxaca (Challenger, 1998).

El intervalo de pendiente dominante donde se encuentra el 24.84% del bosque varía entre 10° y 15°, mientras que 10.6% de esta cobertura se encuentra en superficies con pendientes muy suavemente inclinadas (<3°) y 7.6% en superficies con pendientes fuertes a muy fuertemente inclinadas (20-45°). Casi todos los bosques templados de montaña crecen en zonas cuya precipitación anual promedio varía entre 600 y 1200 mm distribuida a lo largo de seis a siete meses del año (Rzedowski 1978).

Como respuesta a estas condiciones morfogénicas se forma una gran variedad de suelos. Algunos presentan un fuerte desarrollo con lixiviación de arcillas, como son los Acrisoles y Luvisoles; otros muestran un moderado intemperismo, como los Cambisoles. Otro grupo de suelos característicos presentan propiedades que están determinadas por su fracción coloidal (arcilla y materia orgánica, principalmente), como los Andosoles; sin embargo, los suelos dominantes que sustentan a los bosques templados se caracterizan como superficiales, con un incipiente desarrollo, como son los Litosoles y Regosoles, los cuales mantienen en forma conjunta al 58.6% del bosque templado (Cotler, 2005).

2.6 Importancia nutrimental del mantillo

Definición de Mantillo: Hojarasca depositada sobre la superficie del suelo, denominada mantillo, representa uno de los grandes depósitos de nutrientes y energía dentro del ecosistema. El mantillo está sujeto a un proceso dinámico de descomposición que determina su tasa de recambio y acumulación. Por este

proceso, los nutrientes en el mantillo se hacen disponibles para el crecimiento de las plantas, constituyéndose en una ruta importante del reciclaje de nutrientes en el ecosistema (Vitousek, 1982 citado por Camargo, 2006).

El gran espesor del mantillo es una de las características más distintivas de los suelos forestales y una de las reservas más importantes de nutrimentos para el suelo y las plantas. La materia orgánica depositada como mantillo, además de proteger las plantas, al descomponerse con el tiempo enriquece al suelo convirtiéndose en humus el cual es un conjunto de sustancias coloidales que representan a los productos más resistentes a la descomposición, tanto los sintetizados por microorganismos como los resultantes de la modificación de los tejidos originarios de las plantas (Buckman y Brady, 1991; Duchaufour, 1984). En este contexto, el mantillo contribuye considerablemente a las propiedades únicas de los suelos forestales y constituye los restos de vegetales y animales que se desintegran por encima de la superficie del suelo mineral, además de ser el hábitat para la microflora y fauna (Pritchett, 1991).

También es la principal fuente de dos elementos minerales: el P y el S; y esencialmente la única fuente de N; e incluso, su capacidad para almacenar iones nutrientes y agua es mucho mayor que la de la arcilla (Buckman y Brady, 1991).

2.7 Concepto de suelo

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes para la nación (SEMARNAT, 2000). Es un cuerpo viviente, natural, dinámico y vital para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres que se forma a una tasa de 1 cm por cada 100 a 400 años por interacción del clima, topografía, biota y material parental. Por el tiempo que toma su formación se puede considerar a éste como un recurso no renovable en la escala humana de tiempo (Doran y Parkin, 1994).

Los componentes del suelo incluyen materiales minerales (arena, limo y arcilla), materia orgánica, agua, gases y organismos vivos como lombrices, insectos, bacterias, hongos, algas y nemátodos. En el suelo, hay un continuo intercambio de iones y moléculas, entre sus fases sólida, líquida y gaseosa que está mediado por procesos químicos físicos y biológicos. A esta definición se debe añadir que además de ser un sistema vivo y dinámico cumple con funciones primordiales, entre las que están las de mantener la productividad de las especies vegetales que en él se

establecen, la biodiversidad, la calidad del aire y del agua así como la salud humana y el hábitat (Etchevers *et al.*, 2000).

2.8 Características de los suelos forestales

Un suelo forestal es una parte de la superficie terrestre que sirve como medio para el sostenimiento de la vegetación forestal consta de materia mineral y materia orgánica impregnada por diversas cantidades de agua y aire y que está habitada por organismos. Manifiesta características peculiares adquiridas bajo la influencia de tres factores que son poco comunes en otros suelos: Hojarasca o humus forestal, raíces de árboles y organismos específicos, cuya existencia depende de la presencia de vegetación forestal (Bockheim, 1991).

Para los árboles los suelos forestales son importantes porque:

- Ofrece soporte mecánico.
- Retienen y transmiten el agua y los gases.
- Sirven como hábitat para los macro y microorganismos.
- Retienen, intercambian y fijan las sustancias nutritivas.

Una problemática actual y global es la presión que ejercen las actividades humanas sobre la degradación y condición de los recursos naturales y, el deterioro del suelo como receptor de estos efectos por el papel que desempeña y por el tiempo que tarda su formación, tiene efectos permanentes dentro del ecosistema (Enkerlin, 1997).

2.9 Concepto de calidad del suelo

La calidad del suelo es un concepto que tiene como base el manejo, estabilización y mejoramiento de las funciones del mismo en los ecosistemas (Franzluebbers, 2002); sin embargo debido a la compleja interacción de las propiedades físicas, químicas y biológicas, salvo pocas excepciones, los estándares de calidad no han sido establecidos (Singer y Ewing, 2000, citados por Etchevers *et al.*, 2000).

En investigaciones recientes en suelos agrícolas, en terrazas y en ladera escarpada (Li y Lindstrom, 2001) y en suelos forestales bajo *Pinus sp.* (Granados, 2003) y *Abies religiosa* (García Hernández, 2003), se han utilizado a algunas propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas como indicadores de calidad del suelo, los cuales son: clase textural, densidad aparente y real, color, pH activo y potencial, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total; además de la disponibilidad de nutrimentos esenciales, respiración del suelo (como indicador de actividad microbiana) y el estado nutricional de las comunidades de *Pinus* y *Abies* (Schoenholtz *et al.*, 2000).

2.9.1 Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben de cumplir las siguientes condiciones (Doran y Parkin, 1994):

- a) Describir los procesos del ecosistema.
- b) Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- c) Reflejar los atributos de sustentabilidad que se quieren medir.
- d) Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo.
- e) Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo.
- f) Ser reproducibles.
- g) Ser fáciles de entender.
- h) Ser sensitiva a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- i) Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo se plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo (Cuadro 1).

Los indicadores disponibles para evaluar la calidad del suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo. La identificación de indicadores apropiados para evaluarla calidad del suelo depende del objetivo, que debe de considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental.

2.9.2 Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Swing, 2000 citados por Bautista, 2001). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y además que estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros, la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

2.9.3 Indicadores químicos

Los indicadores químicos propuestos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI, 1996 citados por Bautista, 2001). Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable.

2.9.4 Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos propuestos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996; Karlen *et al.*, 1997 citados por Bautista, 2001). Como la biomasa es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación C-microbiano:Carbono-orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica.

Cuadro 1. Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo (Doran y Parkin, 1994; Seybold *et al.*, 1997).

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo.	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Físicas		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo.	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces.	Estima la productividad potencial y la erosión.	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad.	minutos/2.5 cm de agua y g/cm ³ .
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica.	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad. Aprovechable /30 cm; intensidad de precipitación.
Químicas		
Materia orgánica (N y C total).	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión.	kg de C o N ha ⁻¹
pH	Define la actividad química y biológica	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana.	dSm ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos.
Biológicas		
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica.	kg de N o C ha ⁻¹ relativo al C y N total o CO ₂ producidos.
Respiración, contenido de humedad y temperatura.	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa.	kg de C ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C.
N potencialmente mineralizable.	Productividad del suelo y suministro potencial de N.	kg de N ha ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo al contenido de C y N total.

3. JUSTIFICACIÓN

El desconocimiento de la concentración de los nutrimentos del suelo en sitios de bosque donde crecen los géneros *Pinus* y *Abies*, presentes en la Sierra de Juárez, Oaxaca y la Sierra de Manantlán, Jalisco limita la productividad forestal (fracaso de programas de reforestación), hay decline forestal y disminuye la calidad del suelo, se altera la regulación de flujos hídricos (disminuye la captación de agua, el caudal de arroyos y limita el enriquecimiento de mantos acuíferos).

Por ello para establecer un programa de fertilización que permita el incremento de la productividad forestal se debe tener un diagnóstico que incluya la cuantificación de la presencia o ausencia de nutrimentos esenciales, de su balance nutricional (relaciones nutrimentales) o de elementos químicos en niveles tóxicos que afectan el desarrollo y producción de la planta.

Al considerar que Wu *et al.* (2007), establecieron que el estado nutricional de las plantas está relacionado con su crecimiento y productividad, y que éste depende de factores genéticos, de su potencial de absorción de nutrimentos, de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y otros factores ambientales y considerando que en esta investigación se evaluará el contenido de nutrimentos en mantillo y suelo se plantea la siguiente hipótesis:

4. HIPÓTESIS

El estado nutricional de la vegetación arbórea de bosques templados (*Pinus* y oyameles) está determinado tanto por los capitales de nutrimentos en mantillo como en los del suelo.

5. OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar el estado nutrimental foliar del estrato arbóreo de las especies de *Pinus* y *Abies* en relación con la calidad del suelo de la Sierra de Juárez, Oaxaca y la Sierra de Manantlán, Jalisco

Objetivos particulares

- Determinar el contenido de N, P Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} foliar en las especies de *Pinus* y *Abies*
- Determinar la reserva de N, P y cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ presentes en suelo y mantillo en bosque de *Pinus* y bosque de *Abies*
- Determinar propiedades físicas y químicas de los suelos de las zonas de estudio
- Establecer un índice de calidad de suelo con base en suministro de nutrimentos

6. ZONAS DE ESTUDIO

En México se encuentran prácticamente todos los tipos de vegetación conocidos, al igual que la India y Perú (Cloud y Toledo, 1988). Particularmente los bosques templados, cubren la mayor parte de las montañas, con dominancia de los pinos, encinos y bosques mixtos en climas templados subhúmedos, abarcando una superficie de 327,510.6 km² (Velásquez *et al.*, 2002). Estos bosques albergan gran abundancia de especies y endemismos de plantas vasculares y coníferas (Rzedowski, 1993). México ocupa un lugar importante como centro primario en diversidad de pinos (*Pinus spp.*) a nivel mundial y de diversidad de encinos (*Quercus spp.*) en el hemisferio occidental (Nixon, 1993; Styles, 1993; Challenger, 1998). En él se encuentran cerca de 55 especies de *Pinus*, que representan la mitad de las que se distribuyen a nivel mundial (CONABIO, 1998), y el 85% son especies endémicas del país (Styles, 1993). En el caso de los encinos, se encuentran entre 135 y 150 especies, de las cuales 94 son endémicas (Valencia, 2004), representando alrededor del 40% de la diversidad mundial (Nixon, 1993).



Figura. 1. Localización de las zonas de estudio

6.1 Sierra de Juárez, Oaxaca

Incluye los municipios: San Pablo ETLA, San Agustín ETLA, San Andrés Huayapan, Oaxaca, con una superficie de 3180 hectáreas. Su ubicación geográfica se localiza entre las coordenadas 17° 06' y 17° 10' 05". Entre 96° 40' y 96° 44' 20". Tiene altitudes que van de 1650 a los 3050 msnm. Presenta clima semicálido subhúmedo y templado subhúmedo Cw. Los ríos Huayapan y San Felipe cruzan el parque y son enriquecidos por varios arroyos de la zona y que en la actualidad aún son permanentes, pero cuentan con muy poco agua.

Vegetación. Se encuentran varios tipos de vegetación: Bosque de pino y encino en las partes altas; con *Pinus michoacana*, *P. Oocarpa*, *P. Teocote*, *P. Montezumae*, *Quercus*, *Arbutus* y *Alnus*. Mientras que en las faldas se encuentran matorrales de encino y en las cañadas existe selva baja caducifolia. Es necesario señalar que a pesar de que el bosque de pino-encino del parque es de crecimiento secundario, conserva áreas no muy perturbadas y bellas, que pueden ser manejadas como zonas de uso restringido, para la exclusiva observación de la vida silvestre.

El bosque de abetos u oyameles se distribuye en la sierra madre de Oaxaca entre los 2500 y 3000 m en donde el clima predominante es semifrío subhúmedo, con suelos profundos, húmedos, migajón arenosos, ligeramente ácidos el bosque se encuentra compuesto por ejemplares de 30 a 40 m de altura de *Abies hicklii* y *Pinus spp* (García *et al.*, 2004).

Problemática

Las problemáticas que presenta la Sierra Juárez principalmente son el abandono, introducción de ganado, cacería, tala, desmonte e incendios forestales de los bosques, aprovechamientos forestales clandestinos. Además se entubó el río San Felipe, para abastecer de agua a la Ciudad de Oaxaca. La vegetación ha sido modificada por talas clandestinas y contrabando de madera con fines de autoconsumo. Otra fuente de disturbio fue en otros tiempos el cambio de uso del suelo con fines agrícolas, que aunado a las otras fuentes de impacto, han deteriorado la calidad del suelo y agua. 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.



Figura.2. Bosque de pino en la Sierra de Juárez, Oaxaca

6.2 Sierra de Manantlán Jalisco

Es un macizo montañoso ubicado al sur de Jalisco y al noroeste de Colima (19° 21', 19° 43' latitud N; 103° 49', 104° 29' W). La Sierra de Manantlán constituye el área natural protegida más importante del Occidente de México, debido a su gran extensión (139,577 ha; 41,901 ha. distribuidas en tres zonas núcleo y 97,676 ha, como zona de amortiguamiento), alta riqueza de especies silvestres y cultivadas, potencial forestal y servicios ecológicos que presta a toda una región de Colima y del Sur de Jalisco. Los principales municipios son: Autlán, Casimiro Castillo, Cuautitlán, Tolimán y Tuxcacuesco y los municipios de Comalá y Minatitlán al norte de Colima.

Los principales centros de población dentro de la zona son Cuzalapa, Tecopatlán, San Pedro Toxín, el Terrero, la Laguna, Telcruz, Ayotitlán, Cenzontle y El Camichín. En la zona de influencia se localizan tres ciudades: Autlán, Casimiro Castillo y el Grullo, y los poblados de Ahuacapán, el Chante y Tolimán. La Reserva presenta problemas de comunicación debido a la accidentada topografía y a lo disperso de la población, la carretera que conduce a el Grullo es la mejor vía de comunicación, la superficie de la reserva es aproximadamente 39,577 ha y es administrada por el Instituto Manantlán de la Universidad de Guadalajara conserva tres centros comunitarios en el ejido de Cenzontle, en el Terrero y en la comunidad indígena de Cuzalapa y una estación científica, "Las Joyas".

La Sierra se localiza en un área de transición biogeográfica de gran amplitud altitudinal y variaciones climáticas. Es representativa de las condiciones ecológicas de las montañas de México. Su condición transicional entre las regiones neártica y neotropical propician una variedad de condiciones ambientales que se traduce en una diversidad de ecosistemas y especies. Los grupos climáticos que se presentan en Manantlán yendo 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, (SEMADES, 2004). El relieve es accidentado con un rango altitudinal que va de los 400 a los 2,860 msnm. Hidrológicamente, forma parte de las cuencas de los ríos Armería, Marabasco y Purificación, sistemas que se subdividen dentro del área.

Vegetación. Rzedowski (1978) Bosque de *Pinus*. Tipo de vegetación con la mayor extensión, se establece en los 1800 y los 2400 msnm, con 8 especies del género *Pinus* entre ellos destacan *Pinus durangensis*, *P. herrerae*, *P. leiophylla*, *P. maximinoi* y *P. michoacana* y forma comunidades con especies de encino como *Quercus elliptica*, *Q. laurina* y *Q. crassipes* además de *Arbutus xalapensis* y *Clethra mexicana*. Bosque de *Abies*. Por explotación forestal los bosques de oyamel se encuentran en pequeños manchones entre 2000 y 2600 msnm, *Abies religiosa* dominante se mezcla con *Cupressus benthamii* var. *Lindleyi* y *Pinus*. Bosque de *Quercus*. Con base en su fisonomía se presentan encinares caducifolios y subcaducifolios. Los primeros con altura entre 4 y 6 m, se desarrollan entre 400 y 1200 msnm (*Quercus castanea*, *Q. glaucencens*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata*, *Q. resinosa* y *Acacia pennatulak*). Los encinares subcaducifolios presentes en sitios húmedos alcanzan una altura entre 20 y 30 m (*Quercus laurina*, *Q. candicans*, *Q. conspersa*, *Q. crassipes*, y *Clethra hartwegii*). Se presenta también bosque mesófilo de montaña, el bosque tropical subcaducifolio y el bosque de galería.

Problemática

Entre los principales problemas podemos señalar los incendios forestales y el cambio de bosque por pastizales, la tala clandestina y cacería furtiva. Presión sobre poblaciones de plantas por la explotación de recursos forestales no maderables; el impacto de la infraestructura en la hidrología, los suelos y la calidad del paisaje. Contaminación de ríos y arroyos por aguas residuales, desechos sólidos y agroquímicos. Erosión y pérdida de fertilidad de suelos.

Agudización de las condiciones de marginación y pobreza, debido a los problemas de tenencia de la tierra.



Figura. 3. Estación científica las Joyas dentro de la Sierra de Manantlán Jalisco

7. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el estado nutrimental de bosques de *Pinus* y *Abies* en la Sierra de Manantlán (SM) Jalisco y en la Sierra de Juárez (SJ) Oaxaca, se localizaron en cartas topográficas las zonas de estudio con bosques con algunas de estas especies: *Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite*, *P. patula*, *P. sp*, *P. douglasiana*, *P. rudis*, *P. oocarpa*, *Abies religiosa*, *Quercus sp* y *Cupressus sp*, en un intervalo altitudinal de 842 a 2682 m para Sierra de Manantlán y de 1806 a 3275 m en la Sierra de Juárez.

7.1 TRABAJO DE CAMPO

7.1.1 Selección de sitios de muestreo

Para determinar el estado nutrimental de los bosques *Pinus* y *Abies* en la Sierra de Juárez, y en la Sierra de Manantlán se localizaron las zonas de estudio en cartas geográficas, caracterizadas por presentar bosques templados en distintos pisos altitudinales y suelos con diferente origen geológico y de acuerdo a los parámetros de georeferenciación (latitud y longitud altitud, temperatura, pendiente, exposición).

Se realizaron recorridos en gradientes altitudinales eligiendo las unidades ambientales más representativas de la zona y lo menos perturbadas por actividad humana (camino, tala o incendios). En ella se delimitó un cuadrante de 50×20m perpendicular a la pendiente, para hacer la caracterización del sitio mediante la descripción geográfica (medición de altitud y ubicación geográfica georeferenciada), ecológica (tipo de vegetación, relieve pendiente y exposición). La fecha de recolecta de las muestras foliares, mantillo y de suelo se llevaron a cabo para la Sierra de Juárez en los meses de abril (2006), Julio, Septiembre y Noviembre (2005) y para la Sierra de Manantlán en Mayo (2006), Octubre y Diciembre (2005).



Figura 4. Selección de las áreas de estudio.



Figura 5. Toma de datos de la zona



Figura 6. Georeferenciación de la zona de estudio

7.1.2 Recolecta de muestras foliares

La obtención de muestras foliares perennifolias, de las especies arbóreas presentes en cada unidad ambiental seleccionada, se realizó al azar por lo menos en 4 individuos de cada especie recolectando los ápices de los dos últimos años que se localizan en las diversas orientaciones respecto a los puntos cardinales tanto en árboles adultos como en juveniles los cuales fueron tratados por separado. Para la toma de muestras procedentes de alturas superiores a los 3 metros, éstas se recolectaron con unas tijeras para jardinería y para las ramas ubicadas a mayor altura, se utilizaron cuerdas con un contrapeso que permitan sujetar las ramas que se utilizarán para tomar la muestra.

Una vez obtenidas las muestras se guardaron en bolsas de papel estraza del #14 y trasladaron al laboratorio.



Figura 7. Obtención de muestra foliar con tijeras de jardinería.



Figura 8. Toma de la muestra foliar con la cuerda en árboles de 20 a 30 m.



Figura 9. Almacenamiento de muestras foliares.

7.1.3 Recolectas de muestras de mantillo

Para la obtención de las muestras de mantillo se delimitaron dentro de la unidad ambiental cuatro cuadrantes de 25×20cm seleccionados aleatoriamente, y con la ayuda de una pala para jardinería se hace la colecta del mismo hasta la profundidad correspondiente al horizonte Ao. Las muestras obtenidas se guardaron en bolsas de papel estraza del #14.



Figura 10. Recolecta de mantillo

7.1.4 Recolección de muestras de suelo

En cada unidad se recolectaron aleatoriamente cuatro muestras de suelo (0-20 cm de profundidad), que se colocaron en bolsas de plástico herméticas para su transporte al laboratorio para determinar sus características físicas y químicas.



Figura 11. Toma de muestras de suelo

7.2 Tratamiento de muestras foliares, mantillo y suelo

Las muestras foliares y de mantillo se secaron en una estufa a 75°C hasta obtener peso constante. Con diversas muestras de la misma especie en cada unidad ambiental se preparó una muestra compuesta que fue molida en un molino de la marca Thomas Scientific hasta que pasen por una malla de #20 almacenando las muestras en frascos de polietileno hasta el momento del análisis químico para la determinación de los nutrientes.

En laboratorio las muestras de suelo se pusieron a secar a temperatura ambiente y se tamizaron (malla 2 mm) y se almacenaron en frascos de polietileno para los análisis físicos y químicos, que se realizaron por triplicado, (García, 2003).



Figura 12. Estufa para secado de muestras



Figura 13. Molienda y guardado de muestras foliares

7.3 Análisis químico de foliar y mantillo

- Porcentaje de Nitrógeno, por el método semimicro-kjeldahl (Bremner, 1965).



Figura 14. Nitrógeno por semimicro-kjeldahl

- Porcentaje de fósforo Total, por el método Vanadato-molibdato (Allan, 1971).



Figura 15. Fósforo por el método Vanadato-molibdato

- Porcentaje de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} por digestión ácida y cuantificación por absorción atómica (Allan, 1971).



Figura 16. Extracción de cationes.

7.4 Determinación de parámetros físicos y químicos de suelo

- pH activo relación suelo: agua 1:2 y pH potencial en solución salina de KCl 1N en relación 1:2 por el método potenciométrico (Jackson, 1964).



Figura.17. Determinación de pH

- Conductividad de la solución del suelo relación 1:5, con un conductímetro (Richards, 1990).



Figura 18. Determinación de conductividad eléctrica

- Densidad real por la técnica del picnómetro y la Densidad aparente por la técnica de la probeta (Domínguez y Aguilera, 1982).



Figura 19. Determinación de densidad, técnica de la probeta.

- Materia orgánica por el método de Walkley y Black (Walkley y Black, 1934, citados en Jackson, 1964).



Figura 20. Determinación materia orgánica.

- Nitrógeno total con inclusión de nitratos, método de Kjeldhal (Bremner, 1965).



Figura 21. Nitrógeno por semimicro-kjeldahl con inclusión de nitratos.

- Extracción de cationes intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) con acetato de amonio 1N y posterior cuantificación por absorción atómica (Chapman & Pratt, 1979).



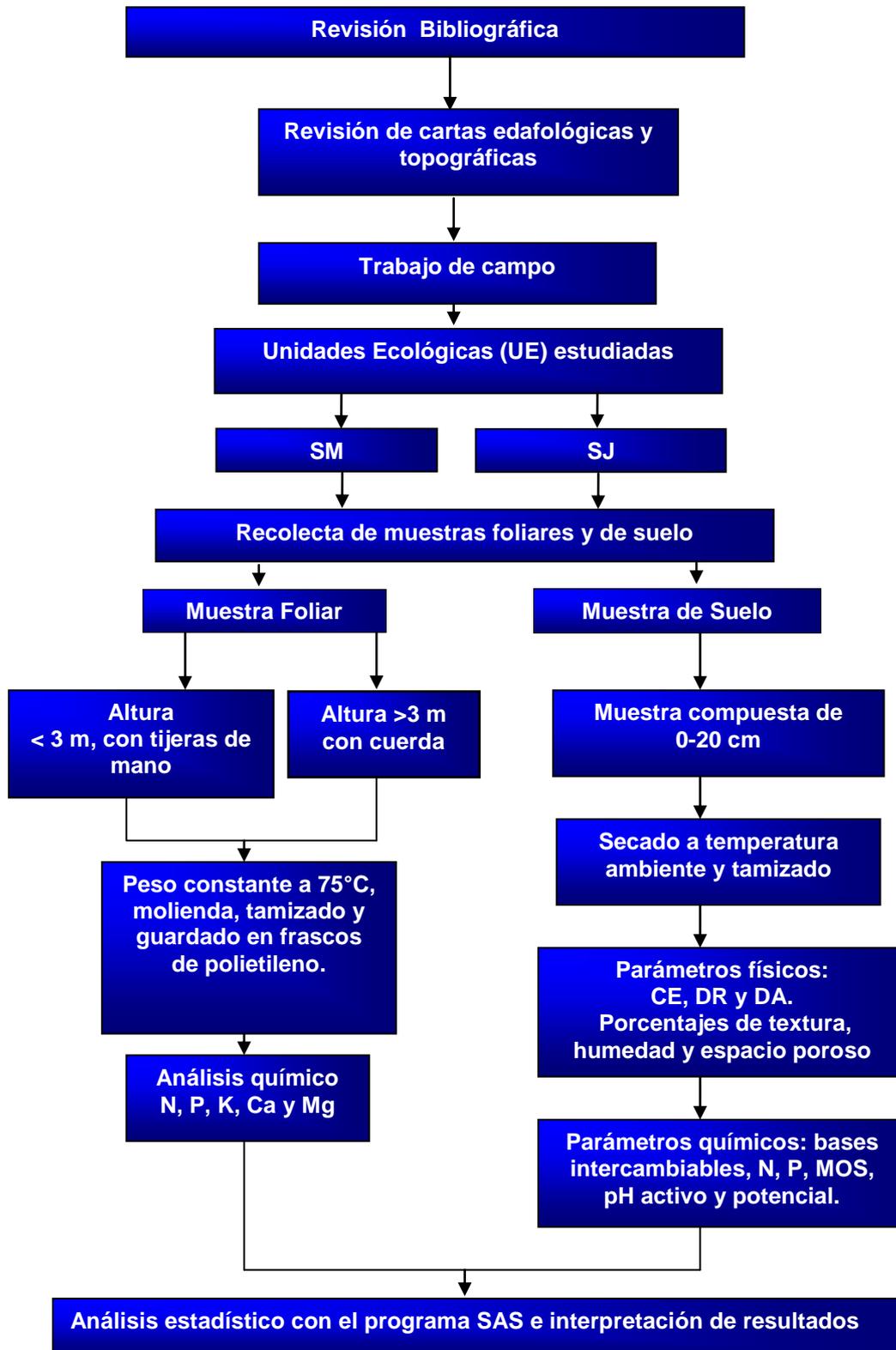
Figura 22. Extracción de cationes intercambiables del suelo

- Fósforo extractable por el método de (Bray y Kurtz, 1945).
- Textura por el método de Bouyoucos (Boyucos, 1963, citado por Palmer y Truoch, 1989).

7.5 Análisis Estadístico

Con los datos obtenidos de los análisis del suelo, foliar y mantillo, se realizó una base de datos en Excel, que incluyó las concentraciones de los macronutrientes N, P, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en tejido vegetal y los resultados de los parámetros físicos y químicos. Se realizaron análisis de varianza considerando como fuente de variación a las ANP, la pendiente, altitud, género y especie. Análisis de correlaciones de Pearson para estudiar la relación entre las concentraciones de los nutrientes estudiados con propiedades del suelo y análisis de componentes principales y correlaciones canónicas para determinar la influencia de cada variable en la variación total y en la calidad del suelo usando la concentración de nutrientes en tejido foliar. Los análisis estadísticos se realizarán con el uso de con el programa SAS (Statistical Analysis System).

7.6 Diagrama de Flujo



8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Descripción general de las condiciones fisiográficas en los sitios de estudio.

Durante los recorridos en campo se observó una adecuada distribución de bosque de *Pinus* tanto en laderas como cañadas en diferente exposición, que se encontraban en asociación con *Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*, entre otros. En muchos de los lugares estudiados la vegetación fue encino-pino por la dominancia de encino, pino-encino o solo de pino.

Con los resultados encontrados, se considera que los aspectos físicos del terreno no limitan el establecimiento de las especies de *Pinus* y *Abies*, sin embargo, la altitud sí influye en su distribución, ya que se encontró en el intervalo entre los 842 y 3275 msnm, aunque por debajo de los 2000 no son la vegetación dominante. Como se observó en campo, por arriba de los 3000 m el clima es más frío y húmedo y esto favorece la dominancia de las especies de *Pinus* y *Abies*. En la Sierra Juárez (SJ), se encontraron las mayores altitudes arriba de 3000 msnm y en Sierra de Manantlán (SM) solamente se llegó a 2683 msnm.

8.1.1 Sierra Juárez (SJ) Oaxaca.

El estudio en campo se realizó entre Julio de 2005 y Abril de 2006 en un intervalo altitudinal entre 1806 y 3275m, se encontraron pendientes del terreno de 20 a 70% con diferentes orientaciones predominando las, N, W, NW. En la SJ, se encontró bosque de *Pinus*, en asociación con *Quercus sp*, *Juniperus*, *Alnus* y *leguminosas*. Los pinos que fueron determinados hasta especie son: *Pinus rudis*, *P. patula*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite variedad oaxacana*, *P. sp* y *Abies religiosa* (Figura 23). Por carecer de conos, algunas de las especies de *Pinus* no pudieron determinarse y se estudiaron agrupándolas como *Pinus, sp*. (Cuadro 2).

Se observó la práctica del ocoteo y la tala del bosque (Figura 24), para la introducción del pastoreo de ganado vacuno principalmente (Figura 25).



Figura 23. Bosque de pino



Figura 24. Práctica del ocoteo.



Figura 25. Introducción de ganado

8.1.2 Sierra de Manantlán (SM), Jalisco.

Para esta zona el análisis se realizó entre de Octubre de 2005 a Mayo de 2006 en sitios de estudio que estuvieron entre 842 y 2682 m con pendientes de 20 a 56%, y orientaciones principalmente expuestas hacia NW y NE. La distribución de *Pinus* fue buena para esta zona, se observó asociación con *Arbutus*, las especies de *Pinus* determinadas fueron *Pinus montezumae*, *P. douglasiana*, *P. pseudostrobus*, *P. oocarpa*, *P. sp*, *Abies religiosa*, (Figura 26) en esta zona también se encontraron especies de *Pinus* que no se lograron determinar y se estudiaron agrupándolas como *Pinus, sp* (Cuadro 2).



Figura 26. Bosque de pino.

Cuadro 2. Descripción fisiográfica y ubicación de las zonas estudiadas.

Localidad	Latitud	Longitud	Exposición	Altura	Pendiente	Vegetación
SIERRA DE JUAREZ OAXACA	UTM			m	%	
Santa Catarina Ixtepeji (1)	1900490	750039	E	3183	25	<i>Pinus rudis</i>
Santa Catarina Ixtepeji (2)	1901408	750745	W	3101	50	<i>P. rudis, P. patula, Abies religiosa.</i>
Santa Catarina Ixtepeji (3)	1902437	751253	NW	2844	70	<i>P. sp, Quercus sp</i>
Santa Catarina Ixtepeji (4)	1901385	753623	NW	2883	70	<i>P. pseudostrobus</i>
San Pablo Etla (1)	1898886	740190	W	1905	44	<i>P. teocote,</i>
San Pablo Etla (2)	1899471	740621	S	2024	20	<i>P. sp adulto y juvenil</i>
San Felipe del Agua (1)	1896410	743598	W - NW	2258	40	<i>P. sp,</i>
San Felipe del Agua (2)	1893740	743608	W - NW	2576	40	<i>P. sp, P. pseudostrobus.</i>
Yuvila (1)	1900065	757636	W	2662	46	<i>P. teocote.</i>
Yuvila (2)	1899152	755813	E	2755	70	<i>P. montezumae,</i>
Adelante del Cerezal.	1899384	756924	NW	2119	60	<i>P. montezumae, P. teocote</i>
San Pablo Huitzo km 213.5	1912185	714971	SW	2039	35	<i>P. oocarpa</i>
San Jerónimo Xola	1918730	707421	NW	1806	50	<i>P. monteumae</i>
San Jerónimo Xola	1918646	707559	NE	1818	50	<i>P. montezumae, P. teocote, Juniperus.</i>
25 Km de Oaxaca.	1911191	714640	N	2003	50	<i>P. teocote</i>
De Oaxaca a Guelatao	1896519	753176	N	2114	60	<i>P. teocote</i>
Tlalixtac a Ixtepexi	1897552	754441	N	2430	60	<i>P. ayacahuite var. Oaxacana, P. hartwegii</i>
La Cumbre. Antena de Microondas	1900178	749490	NW	3215	45	<i>Abies religiosa</i>
Entre Campamento y Estacion de Microondas	1901916	750783	N	3047	45	<i>Abies religiosa</i>

Cuadro 2. Continuación...

SIERRA DE MANANTLAN JALISCO	Latitud	Longitud	Exposición	Altura	Pendiente	Vegetación
	UTM		m	%		
Cuzalapa las Fundiciones	2163613	569287	NW	1029	20	<i>Pinus. sp</i>
Rancho las Tablas	2164062	568851	S	1062	56	<i>P. sp</i>
Piedra Calzada la Capulinera	2165141	568602	SW	1208	35	<i>P. sp</i>
La Capulinera	2163217	569401	NW	960	55	<i>P. sp</i>
El Tajo	2161829	569904	W	842	35	<i>P. sp</i>
Nevado de Colima, Oeste de Cd Guzmán	2168664	649984	NW	2682	55	<i>P. montezumae, Abies religiosa</i>
Reserva la Joya	2162993	579814	E	2133	36	<i>P. sp, Abies religiosa.</i>
Reserva la Joya	2163369	579098	SE	2120	40	<i>P. sp, P. montezumae.</i>
Dentro de las Joyas	2163369	579098	NE	2120	25	<i>P. douglasiana,</i>
Ejido de Ahuacapan	2163369	579098	N	2120	20	<i>P. montezumae.</i>
Ejido de Ahuacapan	2172585	646467	W	2222	20	<i>P. oocarpa</i>
Nevado de Colima	2173622	646568	N	2387	30	<i>P. oocarpa, Abies religiosa,</i>
Estación Biológica Las Joyas	2163713	583006	NE	2387	30	<i>Abies religiosa, P. pseudostrobus</i>
Estación Biológica Las Joyas	2163297	583497	W	2327	30	<i>P. pseudostrobus</i>
Estación Biológica Las Joyas	2163303	582498	NW	2326	30	<i>P. oocarpa. P douglasiana</i>
Estación Biológica Las Joyas	2163303	582498	NW	2326	30	<i>P. douglasiana</i>
Estación Biológica Las Joyas	2162809	583012	NE	2134	30	<i>P. douglasiana</i>
Estación Biológica Las Joyas	2165754	576104	NE	1952	30	<i>Abies religiosa</i>

8.2 Caracterización Arbórea

8.2.1 Estado nutrimental del género *Pinus*.

Las plantas requieren de elementos esenciales, la mayoría de los cuales se obtienen a partir del suelo: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl. Estos elementos esenciales se llaman así porque sin ellos la planta no puede completar su ciclo biológico y estos elementos no pueden ser sustituidos por ningún otro elemento. De estos elementos los que se analizaron en esta investigación fueron el N, P, Ca, Mg y K, por ser los de mayor importancia para la nutrición de *Pinus* como de *Abies*, (Cuadro 3).

NITRÓGENO FOLIAR (Nfol).

El N es un componente de los aminoácidos, proteínas, nucleótidos, ácidos nucleicos, clorofila y coenzimas (Pritchett, 1991; Tisdale y Nelson, 1988; Hernández, 2000 y Cruz *et al.*, 2001), las plantas lo absorben principalmente en las formas de nitratos NO_3^- y amonio NH_4^+ . Para la Sierra de Juárez (SJ), la concentración promedio de nitrógeno foliar (Nfol) fue 1.06%, y del análisis de varianza realizado ($r^2=0.73$, $P\leq 0.05$) se encontró diferencia significativa ($F=5.59$, $P\leq 0.05$) con efecto del factor género y sin significancia para el factor especie en esta zona (Apéndice A-2), con base en el estudio de correlaciones de Pearson entre las variables se ratificó que el Nfol no tiene variaciones debidas a la especie ($r=-0.00467$, $p>0.05$) (Apéndice B-1).

En la Sierra de Manantlán (SM) el promedio de Nfol encontrado fue 1.89% y, de su análisis de varianza presentado en el (Apéndice A-3) se encontró una $r^2=0.94$ ($F=26.91$, $p\leq 0.05$) y con efectos significativos de los factores altitud, género y especie. Por otro lado, con base en el estudio de correlaciones de Pearson (Apéndice B-2), se ratificó que el Nfol tiene relación significativa con las variables altitud ($r=0.48524$, $p\leq 0.05$), género ($r=0.32960$, $p\leq 0.05$) y especie ($r=0.41493$, $p\leq 0.05$). En el análisis de componentes principales (ACP), que explican el peso específico de las variables originales, se encontró que el Nfol es una variable robusta, definida en el sexto componente principal (Apéndice C). En referencia a las correlaciones canónicas, el Nfol, tuvo un coeficiente de -1.33 que fue entre los coeficientes de nutrimentos en tejido foliar el de mayor peso específico (Apéndice D).

Valderrábano (2005), para el PN-ZA encontró al N de tejido foliar en *Pinus* en una concentración mínima de 0.92 y máxima con 1.90 % con promedio de 1.42 %. Granados (2003) en el 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 %, mientras que Soriano (2008) en su trabajo levantamiento nutricional de los géneros de *Pinus* y *Abies* en bosques templados de México, reporta para el género *Pinus* 0.20 a 3.51 %, con un promedio de 1.78 % de N. Al comparar los resultados obtenidos con lo reportado por los autores citados se encuentra que en la SM hay un mayor porcentaje de N en tejido foliar respecto a los Parques Nacionales del Centro del País.

FÓSFORO FOLIAR (Pfol).

En la planta el P es un elemento móvil, está presente en los ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas y juega un papel preponderante en la transformación de energía química ya que forma parte de las moléculas de ATP y ADP, además de participar en la fosforilación de azúcares. Fomenta la formación de raíces laterales y fibrosas, lo que aumenta la superficie de absorción de nutrimentos genera mayor la resistencia a las enfermedades de las plantas e incrementa desarrollo normal de la célula (Sánchez y Escalante, 1984; Pritchett, 1991 y Tamhane, 1978).

El contenido de Fósforo foliar (Pfol) encontrado en la SJ, se presentó entre 0.02 y 0.21 con un promedio de 0.09%. Del análisis de varianza realizado ($r^2=0.77$) solo se encontró efecto significativo del sitio estudiado, pero no hay efectos de ANP, género, especie, pendiente y altitud (Apéndice A-2). Con base en el estudio de correlaciones de Pearson, se muestra que el Pfol muestra relación significativa con N y con la relación N:P ($r=-0.26$, $r=0.72$ respectivamente; $p\leq 0.05$) (Apéndice B-1).

Los valores de Pfol en la SM fueron de 0.01 a 0.47% con una media de 0.13%. En el análisis de varianza realizado ($r^2= 0.86$, $P\leq 0.05$) se encontró diferencia significativa ($F=11.4$, $P\leq 0.05$) con efecto en el factor género y sin significancia para los factores altitud y especie (Apéndice A-3).

Las correlaciones de Pearson realizadas mostraron que el Pfol tuvo relación significativa con la mayoría de los nutrimentos en tejido foliar (género, especie, Mgfol, Nfol, Kfol, N:P y N:K y N:Ca en tejido vegetal, Apéndice B-2). Del ACP se observó que el Pfol fue una variable robusta, definida en el séptimo componente principal (Apéndice C), y respecto a las correlaciones canónicas, el Pfol, tuvo un coeficiente de

0.46 que tuvo uno de los coeficientes más bajos (Apéndice D). Valderrábano (2005) reportó un intervalo entre 0.10 y 0.26 % y una media de 0.18 %, mientras que Granados (2003), reporta valores de 0.042 y 0.098 %, y Soriano (2008) encontró en un intervalo de concentración que va de 0.13 a 0.44 con promedio de 0.24 % de Pfol.

CALCIO FOLIAR (Cafol)

Dado que el Ca es un nutrimento de participación estructural, forma parte esencial de todas las paredes y membranas celulares, debe estar presente para la formación de nuevas células. Una vez que se depositan en los tejidos de las plantas, el calcio no es removilizado. En consecuencia, los tejidos jóvenes son los primeros en ser afectados cuando existen deficiencias de este nutriente. Los valores encontrados de calcio foliar (Cafol) en individuos presentes en la SJ fueron de 0.02 hasta 0.87 con un promedio de 0.17%. En el análisis de varianza realizado ($r^2=0.66$, $F=4.1$; $P\leq 0.05$), se observaron diferencias significativas en los factores: sitio, género y la especie (Apéndice A-2). En el análisis de correlaciones de Pearson, se encontró relación significativa con el Mgfol, las relaciones N:K, N:Ca y con los contenidos de N y K ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en mantillo (Apéndice B-1).

En la SM los valores obtenidos estuvieron de 0.04 hasta 0.79 con un promedio 0.16%. En el análisis de varianza realizado se encontró diferencia significativa para el sitio y el género, y sin significancia para los factores de ANP, pendiente, altitud y especie ($r^2=0.88$, $F=14.2$, $P\leq 0.05$; Apéndice A-3). Del análisis de correlaciones de Pearson se observó que el Cafol tuvo relación significativa con género, Nfol, la relación N:Ca y los contenidos de Mg y K en la reserva del mantillo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Apéndice B-2). En el ACP no se encontró al Cafol como variable robusta (Apéndice C). Para las correlaciones canónicas, el Cafol tuvo el coeficiente más bajo (Apéndice D). Los valores reportados de Cafol por Granados (2003), se encuentra entre 0.17 a 0.47% y Valderrábano (2005), reportó valores de este elemento entre 0.27 y 0.56%, mientras que Soriano (2008) reporta valores de 0.08 a 0.043 con un promedio de 0.021% de Cafol. Marschner (1995), reporta contenidos de Cafol entre 0.1 y > 0.5% en general para todo tipo de vegetales.

POTASIO FOLIAR (Kfol).

El papel más importante del K es el de activador del metabolismo vegetal y promotor de intercambios activos entre los otros elementos, tanto en el medio nutritivo como en los tejidos. Controla y regula las actividades de varios elementos minerales esenciales. Uno de los efectos más notables del K es su facultad para incrementar la eficiencia fotosintética en condiciones de baja intensidad lumínica (Prittchet, 1991; Hernández, 2000 y Salisbury y Ross, 1992). Las concentraciones de potasio foliar (Kfol) en la SJ fueron de 0.13 a 0.98 con un promedio de 0.53%. Del análisis de varianza realizado ($r^2=0.87$, $F=14.08$, $P\leq 0.05$) se encontró diferencia significativa para los factores: sitio y especie pero sin significancia para el factor género (Apéndice A-2). En las correlaciones de Pearson entre las variables que se relacionan con el Kfol, se encontró que éste tuvo relación significativa con sitio, pendiente, altitud, género, la relación N:K y el contenido de la reserva de Ca en mantillo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Apéndice B-1).

Los valores de Kfol presentes en la SM se encontraron de 0.28 a 1.04 con un valor promedio de 0.73%. En el análisis de varianza ($r^2=0.78$, $F=6.69$, $P\leq 0.05$) se encontró diferencia significativa teniendo el Kfol efectos significativos con: sitio, género y especie (Apéndice A-3).

Del análisis de correlaciones de Pearson se encontró que el Kfol tuvo relación significativa con sitio, pendiente, altitud, especie, Mgfol, Pfol, Nfol, la relación N:Ca y el contenido de N en el mantillo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Apéndice B-2). El kfol en el ACP no tuvo peso específico para ser tomado en cuenta para formar parte de las variables robustas (Apéndice C). Del análisis de correlaciones canónicas se encontró que el Kfol tuvo un coeficiente bajo (Apéndice D).

Marschner (1995), reporta contenidos de Kfol en tejido vegetal entre 2 y 5% en general para todo tipo de vegetales sin especificar cuál es la concentración de este elemento en especies de coníferas mientras Granados (2003) reportó para los pinos del Parque Nacional-IztaPopo que el Kfol se encontró entre 0.9 y 1.2 con promedio de 1.14 % y Valderrábano (2005) en los pinos del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas encontró concentraciones de Kfol un intervalo de 1.5 a 2.8 con un promedio de 2.19 %, y Soriano (2008), reportó un valor mínimo de 0.18 a 0.87 % y un promedio de 0.40 % de Kfol.

MAGNESIO FOLIAR (Mgfol).

La molécula de clorofila contiene a este elemento. Por tanto, es esencial para el proceso de fotosíntesis. El Mg funciona como activador (catalizador) de muchas enzimas que se requieren para los procesos de crecimiento de las plantas. El Magnesio foliar (Mgfol) encontrado en la SJ se encontró en un intervalo de 0.06 a 0.26% con un promedio de 0.12%. Con análisis de varianza realizado ($r^2=0.83$, $F=9.87$, $P\leq 0.05$), se encontró diferencia significativa para los factores: sitio, género y especie (Apéndice A-2). El análisis de las correlaciones de Pearson muestra que el Mgfol tiene relación significativamente con (altitud, género, Cafol, las relaciones N:K y N:Ca, y los contenidos de N, Mg y K del mantillo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Apéndice B-1).

Para la SM la concentración promedio del Mgfol fue de 0.37%. En el análisis de varianza ($r^2=0.62$, $F= 5.59$, $P\leq 0.05$) hubo relación significativa para el factor sitio, y no hubo significancia para los factores ANP, pendiente, altitud, género y especie (Apéndice A-3). En el análisis de correlaciones de Pearson, se encontró relación significativa con la mayoría de los nutrimentos en tejido foliar (Pfol, Nfol, Kfol), además con el sitio, la altitud y especie, con la relación N:K y las reservas en mantillo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de todos los elementos estudiados (N, P, Ca, Mg y K; Apéndice B-2). En el ACP el Mgfol no se encuentra dentro de las variables robustas que definen a los componentes principales. De las correlaciones canónicas, el Mgfol fue el segundo de los nutrimentos del tejido foliar con coeficiente de más peso específico (Apéndice D).

A este nutrimento, Granados (2003) lo encontró en los pinos del Parque Nacional Izta-Popo el Mgfol entre 0.11 a 0.2 con promedio de 0.08%. Valderrábano (2005), encontró concentraciones de Mgfol en los pinos del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas en un intervalo que va de 0.13 a 0.47 con un promedio de 1.15 % de este elemento. Soriano (2008), reportó un valor mínimo de 0.07 a 0.45 % y un promedio de 0.21 % de Mgfol. En referencia al Mgfol, Marschner (1995), reporta que este elemento se presenta en un intervalo de 0.15 a 0.35%.

Cuadro 3. Estado nutricional de tejido foliar en *Pinus* en Sierra de Juárez y Sierra de Manantlán.

ANP	N	P	K	Ca	Mg
%					
Sierra de Juárez ♠	1.06b	0.09s	0.53s	0.17a	0.12s
Sierra de Manantlán ♣	1.89a	0.13s	0.73s	0.16a	0.37a

Escala de niveles nutrimentales en *Pinus* (Touzet, 1987). mb= muy bajo, b= bajo, s= suficiente, a= alto

♠21 Unidades ecológicas en Sierra Juárez.

♣18 Unidades ecológicas en Sierra de Manantlán

Uno de los objetivos planteados fue determinar el estado nutrimental de los *Pinus* en cada una de las zonas de estudio y con ello establecer niveles de suficiencia o deficiencia de los macro elementos (N, P, Ca, Mg y K). Para la comparación del estado nutricional se utilizaron estándares establecidos a partir de otros trabajos de investigación en las zonas de los bosques templados del Parque Nacional Izta-Popo y de Zoquiapan y Anexas utilizando la guía de Touzet, 1987 citado en Granados, 2003), (Cuadro 4).

Cuadro 4 .Intervalos de Suficiencia nutrimental propuestos por (Touzet, 1987) y utilizados en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas (Granados, 2003).

<i>Pinus</i>				
Nivel Nutrimental foliar				
Elemento	Muy Bajo	Bajo	Suficiente	Alto
%				
P	≤0.06	>0.06-0.09	>0.09-0.13	>0.13-0.262
N	≤0.8	>0.8-1.2	>1.2-1.5	>1.5-2.2
Ca	≤ 0.02	>0.02-0.05	>0.05-0.091	>0.091-0.562
K	≤ 0.3	>0.3-0.5	>0.5-1.20	>1.20-2.80
Mg	≤ 0.05	> 0.05-0.09	> 0.09-0.20	> 0.20-1.145

Al realizar la comparación de estándares entre los niveles obtenidos con los utilizados en investigaciones anteriores a esta (Cuadro 4), se observó que para la SJ se encontraron niveles de Ca, alto; de P, K y Mg nivel suficiente y para N, un nivel bajo, mientras que para la SM las concentraciones de N, Ca y Mg estuvieron en un nivel alto y para P y K el nivel determinado fue de suficiente. De manera que, para el caso en que se tuviera que suministrar nutrimentos a los bosques de *Pinus* estudiados, con fines de recuperación, restauración, conservación o productividad de recursos maderables, la jerarquía de necesidad de nutrimentos aplicados mediante abonos o fertilizantes en la SJ sería $N > P > K > Mg > Ca$, y para la SM el orden de suministro quedaría de la siguiente manera: $P > K > N > Ca > Mg$.

8.3 Estado nutrimental en el tejido foliar de las especies de *Pinus*

En esta sección se presentan los valores de concentración y estado nutrimental por cada especie en cada zona de estudio, para ello se realizaron las determinaciones de las concentraciones en las especies del género *Pinus*. Para la Sierra de Manantlán se encontraron solamente cuatro especies de *Pinus* y otro grupo de pinos no determinados hasta especie por carecer de cono al momento de la colecta de muestras foliares. En ambas zonas se encontraron *Pinus rudis*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae* y *P. oocarpa*, *P. sp.* (Cuadro 5).

Al hacer la comparación de los nutrimentos para la Sierra de Juárez en Oaxaca, respecto al **Nitrógeno foliar Nfol** de las especies de *Pinus* se encontró que *Pinus hartwegii* y *P. rudis* en su estadio juvenil presentaron niveles de suficiencia, mientras que *P. ayacahuite* var. *Oaxacana*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P.sp.*, tuvieron un nivel nutrimental bajo, y *P. oocarpa* y *P. patula*, fueron las especies que tuvieron su nivel nutrimental muy bajo (Cuadro 6).

Cuadro 5. Especies del género *Pinus* encontradas en las zonas de estudio.

Zona de estudio	Género	Especie	Estadio
Sierra de Juárez Oaxaca	<i>Pinus</i>	<i>Pinus. montezumae</i>	maduro
		<i>P. oocarpa</i>	maduro
		<i>P. rudis</i>	maduro
		<i>P. rudis</i>	juvenil
		<i>P. patula</i>	maduro
		<i>P. teocote</i>	maduro
		<i>P. pseudostrubus</i>	maduro
		<i>P. sp</i>	maduro
		<i>P. sp</i>	juvenil
		<i>P. ayacahuite var. Oaxacana</i>	maduro
		<i>P. hartwegii</i>	maduro
Sierra de Manantlán Jalisco	<i>Pinus</i>	<i>P. montezumae</i>	maduro
		<i>P. douglasiana</i>	maduro
		<i>P. douglasiana</i>	juvenil
		<i>P. oocarpa</i>	maduro
		<i>P. pseudostrubus</i>	maduro
		<i>P. pseudostrubus</i>	juvenil
		<i>Pinus. sp</i>	maduro
<i>P.sp</i>	juvenil		

Para el caso del **Fosforo foliar Pfol** *Pinus oocarpa* fue la única especie que tuvo un nivel nutrimental alto. *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. teocote* y *P.sp* maduro y juvenil, se encontraron en nivel nutrimental de suficiencia. *P. rudis* juvenil presento nivel bajo y para las especies *P. ayacahuite var Oaxacana* y *P. hartwegii* el nivel nutrimental de P fue muy bajo (Cuadro 6).

El nivel nutrimental del **Calcio foliar (Cafol)** en las especies *Pinus ayacahuite var Oaxacana*, *P. hartwegii*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrubus*, *P. teocote* y el *P.sp* juvenil fue alto. El nivel nutrimental en *P. sp* fue de suficiencia y *P. patula*, *P. rudis* y *P. rudis* juvenil, se encontró un nivel nutrimental bajo (Cuadro 6).

Para el **Magnesio foliar (Mgfol)** se tiene que las especies de *Pinus ayacahuite var Oaxacana* y *P. hartwegii*, el nivel nutrimental fue alto. *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrubus*, *P. rudis*, *P. teocote*, y *P.sp* maduro y juvenil se encontraron con nivel nutrimental de suficiencia, mientras que el nivel nutrimental bajo lo tuvieron las especies *P. patula* y *P. rudis* juvenil (Cuadro 6).

Por último el **Potasio foliar (Kfol)** presentó nivel nutrimental de suficiencia en *P. hartwegii*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis* (maduro y juvenil), *P.sp* (maduro y juvenil). En las especies *Pinus ayacahuite var Oaxacana*, *P. montezumae*, *P. oocarpa* y *P. teocote* estuvieron en el nivel nutrimental bajo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Nivel nutrimental del género *Pinus* por especie en la SJ Oaxaca

Especie	Estadio	Nfol	Pfol	Cafol	Mgfol	Kfol
%						
<i>Pinus ayacahuite var. Oaxacana</i>	Maduro	0.95 b	0.03 mb	0.15 a	0.15a	0.40b
<i>P. hartwegii</i>	Maduro	1.32s	0.03mb	0.30a	0.24a	0.62s
<i>P. montezumae</i>	Maduro	1.03b	0.12s	0.12a	0.11s	0.44b
<i>P. oocarpa</i>	Maduro	0.71mb	0.15a	0.12a	0.12s	0.36b
<i>P. sp</i>	Maduro	1.07b	0.11s	0.09s	0.13s	0.51s
<i>P. sp</i>	Juvenil	0.99b	0.12s	0.16a	0.16s	0.55s
<i>P. patula</i>	Maduro	0.61mb	0.11s	0.03b	0.09b	0.86s
<i>P. pseudostrobus</i>	Maduro	0.86b	0.12s	0.26a	0.12s	0.57s
<i>P. rudis</i>	Maduro	0.85b	0.09s	0.03b	0.09s	0.72s
<i>P. rudis</i>	Juvenil	1.13s	0.06b	0.02b	0.07b	0.75s
<i>P. teocote</i>	Maduro	1.03b	0.09s	0.28a	0.12s	0.39b

mb = muy bajo, b =bajo, s = suficiente, a = alto

Los niveles nutrimentales encontrados en las cinco especies de *Pinus* en la Sierra de Manantlán en Jalisco, en cuanto a **Nitrógeno foliar Nfol** (*Pinus douglasiana* maduro y juvenil, *P. oocarpa* y *P. pseudostrobus* maduro y juvenil) estuvieron en un nivel nutrimental alto. *P. montezumae* se encontró en nivel nutrimental suficiente, y por ultimo *P.sp* y *P.sp* maduro y juvenil, tuvieron un nivel nutrimental muy bajo (Cuadro 7).

El **Fosforo foliar Pfol** para las especies *Pinus douglasiana* maduro y juvenil, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus* maduro y juvenil estuvieron en un nivel nutrimental alto. En las especies *P. sp* maduro y juvenil, el nivel nutrimental fue bajo, y solamente *P. montezumae* se encontró en nivel muy bajo (Cuadro 7).

En el **Calcio foliar Cafol** las concentraciones en el tejido foliar para las especies *Pinus douglasiana* juvenil, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. psuedostrubus* maduro y juvenil estuvieron en un nivel nutrimental alto. Los niveles nutrimentales de suficiencia se encontraron en *Pinus. Douglasiana* y *P.sp* maduro y juvenil (Cuadro 7).

Para el **Magnesio foliar Mgfol** el nivel nutrimental alto se encontró en las especies de *Pinus douglasiana*, *P. oocarpa*, *P. psuedostrubus* maduro y juvenil, mientras que los niveles nutrimentales de suficiencia se encontraron en las especies *Pinus douglasiana* juvenil, *P. montezumae*, y *P.sp* maduro y juvenil tuvieron los niveles nutrimentales bajos (Cuadro 7).

El **Potasio foliar Kfol** se encontró para todas las especies estudiadas en concentraciones en nivel de suficiencia (Cuadro 7).

Cuadro 7. Nivel nutrimental del género *Pinus* por especie en la SM Jalisco

Especie	Estadio	Nfol	Pfol	%		
				Cafol	Mgfol	Kfol
<i>Pinus. douglasiana</i>	Maduro	2.08a	0.15a	0.07s	0.75a	0.95s
<i>P. douglasiana</i>	juvenil	2.22a	0.17a	0.11a	1.04s	0.78s
<i>P. montezumae</i>	Maduro	1.13s	0.05mb	0.12a	0.05s	0.80s
<i>P. oocarpa</i>	Maduro	2.93a	0.14a	0.14a	0.40a	0.81s
<i>P. sp</i>	Maduro	0.49mb	0.08b	0.09s	0.05b	0.61s
<i>P. sp</i>	Juvenil	0.01mb	0.08b	0.09s	0.05b	0.55s
<i>P. pseudostrobus</i>	Maduro	2.38a	0.19a	0.12a	0.71a	0.55s
<i>P. pseudostrobus</i>	juvenil	3.81a	0.29a	0.14a	0.87a	0.80s

mb = muy bajo, b =bajo, s = suficiente, a = alto

8.4 Estado nutrimental de *Abies religiosa* en Sierra de Juárez, Oaxaca y Sierra de Manantlán, Jalisco.

El género *Abies* en México constituye bosques generalmente monoespecífico y la especie mejor distribuida, principalmente en la región central, es *Abies religiosa* (Rzedowski, 1978). Estos bosques son de gran importancia económica (Patiño *et al.*, 1983) mencionan que 88.4% de la producción forestal lo constituyen la celulosa y papel, productos que se extraen principalmente de este género.

Para realizar la comparación de estándares de las concentraciones se utilizó el Cuadro 8 que muestra Intervalos de concentración nutrimental para *Abies religiosa* (García, 2003). La especie *Abies religiosa* estuvo presente en las dos zonas de estudio, en la SJ se encontró a altitudes desde 3047 hasta 3215m y en la SM el intervalo altitudinal fue de 1952 hasta 2682m. SIRE (2007), reportó que las altitudes para que esta especie tenga un buen desarrollo están entre 2800 y 3500 con un promedio de 3200m.

Las concentraciones obtenidas que tuvieron un nivel nutrimental similar en las dos zonas de estudio fueron el Nfol alto, Cafol y Mgfol suficiente, Kfol bajo. Para el Pfol la concentración en SM fue suficiente y para la SJ fue baja (Cuadro 9).

Cuadro 8. Intervalos de concentración foliar para *Abies religiosa* García (2003).

<i>Abies religiosa</i>			
____ Nivel Nutrimental foliar ____			
Elemento	Bajo	Suficiente	Alto
_____ % _____			
P	≤0.093	>0.093 a 0.203	>0.0203 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

Cuadro 9. Concentración nutrimental de N, P, Ca, Mg y K de *Abies religiosa* en las zonas de estudio.

	Nfol	Pfol	Cafol	Mgfol	Kfol
	%				
Sierra de Juárez ♠	1.79a	0.06b	0.30s	0.114s	0.70b
Sierra de Manantlan ♣	2.73a	0.20s	0.66s	0.43s	0.81b

a = alto, b = bajo, s = suficiente.

♠ 3, ♣ 5 Sitios de estudio correspondiente a cada ANP.

Para, mejorar el estado nutrimental con los beneficios derivados de esta investigación, se tiene que para los bosques de oyamel en la SJ se debe incorporar al P y K, seguido de Ca y Mg. El N no es necesario incorporarlo ya que se encuentra en nivel nutrimental alto. Para la SM los elementos que se tienen que incorporar son el K, P, Ca, Mg y al parecer no es necesario el suministro de N por tener una concentración nutrimental adecuada para el desarrollo de los bosques.

8.5 Reserva nutrimental en mantillo.

El mantillo es la capa de residuos orgánicos (restos vegetales y animales) que yacen sobre la superficie del suelo de las comunidades vegetales después de la caída de la hojarasca. Es una reserva de nutrientes a largo plazo.

Al realizar el análisis químico del mantillo de la SJ se obtuvieron para el Nitrógeno valores de 0.44 hasta 2.48% con un promedio de 0.83% para toda la zona estudiada equivale a aproximadamente 0.211 t ha⁻¹ de N (211 kg.ha⁻¹) y para la SM, los valores de N encontrados estuvieron de 0.11 hasta 3.66% con un promedio de 1.17% que equivale a 0.25 t ha⁻¹ (250 kg.ha⁻¹) de N en toda la zona (Cuadro 10). García (2003), reporta para este elemento 1.8 t ha⁻¹ de N potencialmente mineralizable a largo plazo, por lo que los valores obtenidos en el estudio son muy bajos en comparación de este valor. La concentración de fósforo en mantillo en la SJ fue de 0.02 hasta 0.85% con un promedio de 0.08%, equivalente a 0.015 t ha⁻¹ (15 kg.ha⁻¹). En la SM los valores de P en mantillo fueron 0.003 hasta 0.47%, con promedio de 0.12% equivalente a 0.026 t ha⁻¹ (26 kg.ha⁻¹), García (2003), reporta 0.05% de P, equivalente a 0.08 t ha⁻¹ (80 kg.ha⁻¹).

El Calcio presente como reserva en el mantillo de los suelos de la SJ estuvo entre 0.04 y 1.01% con promedio de 0.34% equivalente a 0.0625 t ha^{-1} (62.5 kg.ha^{-1}). Para la SM los niveles de Ca encontrados estuvieron 0.03 hasta 1.15% con un promedio de 0.30%, que equivale a 0.433 t ha^{-1} (433 kg.ha^{-1}).

El Magnesio en la SJ se encontró en concentraciones de 0.07 hasta 0.31% con promedio de 0.13%, equivalente a 0.025 t ha^{-1} (25 kg.ha^{-1}). Para la SM las concentraciones de Mg fueron de 0.02 hasta 2.4 con promedio de 0.40%, equivalente a 0.1045 t ha^{-1} (104.5 kg.ha^{-1}).

El Potasio en la SJ fue encontrado en concentraciones de 0.08 hasta 1.11% con un promedio de 0.29% que equivale a 0.06 t ha^{-1} (60 kg.ha^{-1}). En la SM los valores de K encontrados estuvieron entre 0.06 hasta 0.97% con promedio de 0.29%, teniendo así un equivalente a 0.245 t ha^{-1} (245 kg.ha^{-1}). García (2003) reporta para el K un porcentaje de 0.13, equivalente a 0.23 t ha^{-1} (Cuadro10).

Cuadro 10. Concentración y contenido de N, P, Ca, Mg y K en el mantillo

zona		Nutrimentos										
		% mantillo					Kgha ⁻¹					
		N	P	Ca	Mg	K	N	P	Ca	Mg	K	CO
Sierra Juárez	Mínimo	0.44	0.02	0.04	0.07	0.08	58	2	4	7	12	4
	Máximo	2.48	0.85	1.01	0.31	1.11	433	65	256	73	198	23
	promedio	0.83nc	0.08nc	0.34rs	0.13rs	0.29nc	211	15	62.5	25	60	12
Sierra Manantlán	Mínimo	0.11	0.003	0.03	0.02	0.06	17	0.3	3	1	1	0.4
	Máximo	3.66	0.47	1.15	2.4	0.97	1045	87	70.29	654	245	28
	promedio	1.17nc	0.12nc	0.30rs	0.40rs	0.29nc	246	26	433	104.5	52.8	11.45

nc = nivel crítico, rs = rango de suficiencia.

Para determinar el contenido nutrimental del mantillo se utilizó la guía general de los niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de los Nutrimentos y elementos benéficos para las plantas (Bennett, 1994 citado por Alcántar y Sandoval, 1999) (Cuadro 11). Al hacer la comparación en las zonas estudiadas, se tuvo que para el caso del N (0.83 hasta 1.17%), P (0.08 hasta 0.12%), y K (0.29%), se encontraron en nivel crítico.

Para Ca (0.34 hasta 0.30%) y Mg (0.13 hasta 0.40%) los niveles nutrimentales estuvieron en rango de suficiencia.

Cuadro 11. Guía general de los niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de los Nutrientos y elementos benéficos para las plantas (Bennett citado por Alcántar y Sandoval, 1994).

Nutriente	Nivel Crítico	Rango de Suficiencia	Nivel de Toxicidad
	%		
N	<2.0	2.0 – 5.0	NO
P	<0.2	0.2 – 0.5	NO
Ca	<0.1	0.1 -1.0	NO
Mg	<0.1	0.1 – 0.4	NO
K	<1.0	1.0 – 5.0	NO

Al contrastar la hipótesis respecto a la influencia de la reserva de nutrientes en mantillo con el estado nutricional se encontró que por ejemplo el N y P tienen menor concentración (0.83 y 0.08% respectivamente) en SJ respecto a SM donde se tuvo a estos elementos en (1.17 y 0.12% respectivamente) lo cual concuerda con la jerarquía de necesidad de nutrientes que deberían aplicarse en la SJ (N>P>K>Mg>Ca) y en la SM (P>K>N>Ca>Mg).

8.6 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS.

8.6.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El valor promedio de la conductividad eléctrica (CE) presentes en los suelos de la Sierra Juárez fue de 0.036 dSm⁻¹ y para la Sierra de Manantlán es 0.037 dSm⁻¹, lo que nos indica sus características poco salinas Richards (1990), por lo que se corrobora la estrecha relación entre la CE y el pH del suelo. Los suelos presentan una densidad aparente (DA) baja 0.7 a 1.5 g.cm⁻³, los valores promedio de la densidad real (DR) para SJ fue 1.9 g.cm⁻³, y en SM es 2 g.cm⁻³, (Cuadro 12) las texturas encontradas migajón arenoso, migajón arcillo arenoso. El porcentaje de espacio poroso fue alto de 50 y 53% aproximadamente, esto es muy favorable ya que promueve la retención de humedad, buena aireación y drenaje rápido lo que hace que el agua se infiltre más rápido a los ríos y mantos acuíferos teniendo así una buena cosecha de agua.

En concordancia a estos resultados, está reportado que los suelos forestales con vegetación de pinos, oyameles y robles, se caracterizan por sus texturas gruesas, son “jóvenes” y todavía no ha pasado demasiado tiempo para que el suelo se erosione y las texturas finas predominen.

Cuadro12. Propiedades físicas del suelo, valores promedio de la Sierra Juárez y Sierra de Manantlán.

Zona		D. A		D. R	EP	Arena	Limo	Arcilla	pH	CE
		g.cm ⁻³								
Sierra de Juárez	Mínimo	0.7	2		12	11	2	23	3.3	0.015
	Máximo	1.5	1		69	71	38	51	6.4	0.061
	Media	1.4	1.9		50	43	20	37	5.0	0.036
Sierra de Manantlán	Mínimo	1	2		30	12	5	15	5	0.020
	Máximo	1	2.5		64	77	30	73	62	0.08
	Media	1	2		53	45	16	39	5.8	0.037

8.6.2 Propiedades químicas del suelo

Al medir el pH activo se encontró que la mayoría de los sitios estudiados en ambas zonas van de fuertemente a moderadamente ácidos 3.3 a 6.4 lo cual concuerda con Pritchett (1991), ya que menciona que los suelos forestales están en una escala de pH de 3.5 a 6.23. En su Carta edafológica INEGI (2004) reporta para esos lugares suelos cuya acidez es atribuibles principalmente a la descomposición de hojarasca del mantillo en el que predominan restos de encinos y Pináceas y también a la precipitación pluvial que en los climas templados supera a los 900 mm al año lavando las bases, con estos valores de pH puede haber deficiencia de los nutrimentos esenciales N, P, K, S, Ca, Mg y Mo, mientras que el Fe, Mn, Bo, Cu y Zn pueden estar disponibles en cantidades suficientes para que las plantas los asimilen (Cuadro 13).

La materia orgánica es la fracción compuesta del suelo, incluye remanentes de vegetales y animales en varias etapas de descomposición, células y tejidos de los organismos del suelo y sustancias de raíces vegetales y microbios del suelo los valores promedio de materia orgánica del suelo (MOS) encontrados fueron altos, en SJ es de 7.4% y para la SM fue de 5.4 %, típicos de suelos forestales (Cuadro 13), Pritchett (1991) menciona que la materia orgánica es de suma importancia en suelos forestales gracias a su papel de almacenamiento y disponibilidad de nutrimentos (P y S), reservorio de C, y como fuente principal de N, es fuente de energía para la masa

microbiana, retiene humedad y tiene influencia en la capacidad de intercambio catiónico Buckman (1991).

Respecto al nitrógeno total (N-t), presente en el suelo de la SJ los valores obtenidos van de 0.03 a 0.7 % y una media de 0.24%, para la SM, la concentración de este elemento va de 0.02 a 0.37 con una media de 0.18%, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, en estos suelos el porcentaje de N se encuentra en un nivel alto, (Cuadro 13).

El P disponible (P-d) en SJ los valores encontrados fueron de 39.1 y para la SM el promedio obtenido fue de 42.6 con referencia a la NOM-021-RECNAT-2000 el porcentaje de P-d es alto en los suelos estudiados.

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) sodio (Na^+), estos nutrientes se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. Los valores promedio encontrados para la SJ el Ca^{2+} fue 1.35, Mg^{2+} 0.08, K^+ 0.06 y Na^+ 0.07. Para la SM Ca^{2+} fue 1.5, Mg^{2+} 0.04, K^+ 0.06 y Na^+ 0.08, estos valores de bases intercambiables de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 se encuentran en niveles muy bajos (Cuadro 13).

Cuadro 13. Contenido de MOS, N-T, P y cationes intercambiables.

Zona		MOS	N-T	P-d	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
		_____%____		mg kg ⁻¹		_____cmol _c kg ⁻¹ _____		
	Media	7.4	0.24	39.2	0.06	1.35	0.08	0.070
Sierra de Juárez	Mínimo	0.04	0.03	11	0.02	0.01	0.004	0.007
	Máximo	22	0.7	87	0.2	4.58	0.22	0.12
	Media	5.4	0.18	43	0.06	1.5	0.042	0.08
Sierra de Manantlán	Mínimo	0.1	0.01	11	0.01	0.02	0.002	0.03
	Máximo	16	0.37	87	0.19	4.22	0.163	0.2

MOS, materia orgánica del suelo; N-T, nitrógeno total; P-d, Fósforo disponible.

8.7 Análisis de Componentes Principales

En el análisis de componentes principales (ACP), se consideraron 34 variables originales, que representan el 100%, de las cuales se encontró que 7 de ellas son variables robustas, y representan un total de 92%, el orden de importancia en el que se obtuvieron los componentes principales para determina la calidad del suelo se muestra en el (Cuadro 14).

Las propiedades físicas fueron arena, siendo esta propiedad la más importante, humedad del suelo y espacio poroso, Granados (2003) y León (2007), también reportan la arena como una variable robusta en la definición de la calidad forestal del suelo forestal.

Las propiedades químicas consideradas como componentes principales se encontraron la relación N:Ca, Mg en mantillo, N foliar y P foliar. En estas propiedades se encuentran 5 elementos importantes en la nutrición vegetal como son el N, P, K, Ca y el Mg (Apéndice C).

Cuadro 14 Grupo de Componentes Principales (CP)

Componente principal	Variable que lo define	Coefficientes en los componentes principales
1	Arena	0.2847
2	Humedad del suelo	0.3447
3	Espacio poroso	0.3482
4	Relación N:Ca	0.4715
5	P mantillo	0.5294
6	N foliar	0.4478
7	P foliar	0.5859

8.8 Análisis de Correlaciones Canónicas

Las correlaciones canónicas constituyen una generalización de las correlaciones simples y múltiples. Las correlaciones simples estiman la relación existente entre dos variables, la variable independiente X y la dependiente Y . Las correlaciones múltiples estiman la relación entre un conjunto de variables independientes X_i y una sola variable dependiente Y . Las correlaciones canónicas estiman la correlación existente entre un conjunto de variables independientes X_i y otro conjunto de variables dependientes Y_j .

Con los resultados del análisis de correlaciones canónicas, en el que se consideraron 32 variables para determinar la calidad del suelo solo fueron tomadas en cuenta 14 de las cuales solamente 4 variable fueron las que presentaron con mayor peso en el determinación de la calidad fueron el Mg, Ca y K del suelo y la relación N:K foliar (Cuadro 15), (Apéndice D), recordando que estos elementos son los de mayor importancia en la nutrición de las plantas por requerirlos en grandes cantidades para su desarrollo.

Cuadro 15. Coeficientes canónicos estandarizados para calidad del suelo.

Variable	Valor	Calidad
Mg suelo	7.99	1
Ca suelo	3.57	2
N:K	1.64	3
K suelo	1.49	4

9. Conclusiones.

- En especies del género *Pinus*, las concentraciones de N, K, Ca y Mg fueron mayores en la zona de la SM respecto a la de la zona SJ, mientras que el P presentó un valor semejante en ambas zonas.
- En *Pinus* el nivel nutrimental de Mg, P y K fue suficiente; el de Ca fue alto y el de N bajo. Respecto a *Abies religiosa*, se encontró que el nivel nutrimental de N fue alto, el de K bajo y Ca, Mg y P estuvieron el nivel de suficiente.
- Los suelos estudiados presentaron texturas gruesas, con valores de conductividad eléctrica muy bajos, acidez de moderada a extrema atribuible a la descomposición del mantillo en el que predominan restos de Pináceas. Los suelos fueron ricos en MOS con tendencia a incrementarse con la altitud y disminuir a mayor pendiente.
- Para la formulación de dosis de fertilizantes que mejoren la tasa de sobrevivencia de la reforestación en bosques de *Pinus*, el requerimiento principal es N y en segundo término el P, Mg y K. Respecto a los bosques de *Abies religiosa*, quizá con excepción del K, no parece ser necesaria la aplicación externa de nutrimentos.
- Del análisis de componentes principales la arena fue la variable robusta con mayor peso de un total de 34 variables.
- Las variable con mayor peso en el determinación de la calidad fueron el Mg, Ca y K del suelo y la relación N/K foliar.

- Existen elementos para no rechazar la hipótesis que se planteó, respecto a que el estado nutricional de la vegetación arbórea de bosques templados (*Pinus* y oyameles) está determinado, entre otros factores, por los capitales de nutrimentos en mantillo.

- Respecto al objetivo de establecer un índice de calidad de suelo, se encontró que el contenido de arena, la humedad del suelo y espacio poroso así como la relación N:Ca, Mg en mantillo, N foliar y P foliar, son elementos para determinar calidad del suelo.

10. Comentarios y sugerencias.

- En la presente investigación, el trabajo de campo presenta la información que se generó solamente para algunos meses del año por lo que se sugiere continuar la investigación tomando muestras para un ciclo anual, para determinar la época en la que las especies arbóreas demandan una mayor cantidad de nutrimentos para su crecimiento.

- Realizar la determinación de la concentración de los niveles nutrimentales de las especies arbóreas cada vez es más necesario ya que con ello se pueden proponer programas de fertilización en los bosques de México para recuperar y seguir conservando las áreas naturales protegidas y de nuestro país.

11. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural simples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, Walnut Creek, California.
- 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.
- Bockeim J. G. 1991. Suelos forestales, In: Young R. A (ed.). Noriega Editores. México. Pp 119-139.
- Bray, R. H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Bremmer, J. M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149 - 1178. In: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy 9. America Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. U.S.A.
- Buckman, H. y Brady, N. 1991. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Editorial LIMUSA. México. 591 pp.
- Camargo-Pérez V. J. Estimación del contenido de carbono en mantillo de diferentes tipos de cobertura vegetal y uso del suelo en la región Purépecha, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola. FES Cuatitlán, UNAM, México, D.F.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. CONABIO, Instituto de Biología –UNAM, Agrupación Sierra Madre S. C., 847p.
- Chapman, H. D. & Prat P. F. 1979. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Editorial Trillas. México. D.F.

- CICEANA, 2007. Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C. Saber más... Áreas Naturales Protegidas. [En línea], disponible en www.ciceana.org.mx (Revisado el 18 de febrero de 2008).
- CONABIO, 1998 La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Cotler, H, A. 2005 Características y Manejo de Suelos en ecosistemas Templados de Montaña dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología. [En línea], disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/395/cotler.html> (Revisado el 22 de septiembre de 2007).
- Cloud, J. and V.M. Toledo. 1998. México: a world of natural wonders. *Animal kingdom*, 91(4): 10-18.
- Cruz F. G. 2006 Ecología del suelo. Un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores. FES Zaragoza, UNAM.
- Domínguez, A. 1989. Tratado de Fertilización. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 601 pp.
- Domínguez, R. y N. Aguilera. 1982. Metodología de análisis físicos y químicos de suelos. UNAM. Facultad de Ciencias-Biología. 34 pp.
- Donahue R. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. ed. Prentice may Internacional, Colombia.
- Doran, J. W. y T. B. Parkin. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. pp. 3-22. *In*: Doran J., Coleman D, Bezdicek D. y Stewart B. (Ed.). SSSA Special Publication No. 35. Wisconsin, U.S.A.
- Duchaufour, PH. 1984. Edafología. Edafogénesis y Clasificación. Masson, S. A. Barcelona, España pp. 493.

- Enkerlin H., E. C. 1997. Suelo y agua. pp. 235-246. *In*: E. Enkerlin., G. Cano., R. Garza., E. Vogel. (ed.). Ciencia ambiental y Desarrollo sostenible. Internacional THOMSON. México.
- Etchevers, J. D., M. A. Bautista y M. A. Vergara. 2000. Calidad del suelo, indicadores de calidad y captura de carbono. Pp.507-520. *In*: R. Quintero-Lizaola, T. Reyna - Trujillo, L. Corlay Chee. A. Ibañez - Huerta y N. E. García - Calderón. (Ed). La Edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo II. Colegio de Postgraduados, UNAM, UACH. México.
- Fassbender H, W, y Bornemisa. E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San José Costa Rica.
- Franzluebber, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Res.* 66: 95-106.
- García Hernández, 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. UNAM.
- García, M. A. J., Ordóñez, M., Briones, S. M. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund. 1ª edición. México. 605 pp.
- Granados-Damián M. R. 2003. Calidad del suelo y estado nutrimental del género *Pinus* en la vertiente occidental del Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Tesis de Licenciatura en Biología. FES Zaragoza, UNAM, México, D. F.
- Hernández C. G. 2000. Levantamiento nutricional de cultivos de maíz, en la subprovincia geográfica de mil cumbres correspondiente al Estado de México. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México.
- INEGI, 2004. Síntesis Geográfica del Estado de Oaxaca. Aguascalientes Ags. Pp 180 p

- Jackson, M. L. 1964. Análisis Químico de Suelos. Traducción al español de J. Beltrán. Omega. Barcelona, España.
- 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.
- Li, Y. and M. J. Lindstrom, 2001. Evaluating soil quality-soil redistribution relationship and steep hillslope. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1500-1508.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Londres.
- Narváez, N. 2001. Determinación de la sintomatología visual y producción de biomasa ante la carencia de N, P, K, Ca, Mg y S en el cultivo de maíz. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis.
- Nixon, K. C. 1993. The Genus *Quercus* in Mexico. En: Ramamoorthy, T.P., R Bye, A Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico. Origins and distribution. Oxford University Press. Oxford .
- Patiño, F., P. De la Garza, Y. Villagómez, I. Talavera y F, Camacho. 1983. Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales. Boletín Divulgativo No. 63. INIF México.
- Palmer G. & F. Truch. 1989. Introducción a la Ciencia del Suelo. Manual de laboratorio. AGT Editores. México.
- Pritchett, W. 1991. Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial LIMUSA-Grupo Noriega Editores. México.
- Quiroz, V. 2002. Relación nutrimental nitrógeno/fósforo y nitrógeno/potasio en maíz y su influencia sobre la eficiencia de estos nutrimentos. Tesis de Licenciatura. UNAM.

- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª ed., Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa, México.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and original of the Phanerogamic Flora of México. En : Ramamoorthy, T.P., R Bye, A Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico. Origins and distribution. Oxford University Press. Oxford.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Limusa. México.
- Salisbury, F. y Ross C. 1992. Fisiología Vegetal Grupo Editorial Iberoamérica. México. 759 pp.
- Sánchez C. F. y R. E. Escalante. 1984. Hidroponía. Un sistema de producción de plantas. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. Ed, 2°. México. p.p. 19-23 y 153-161.
- SARH. 1993. "Diagnóstico del Parque Nacional Benito Juárez en el Estado de Oaxaca". Delegación Estatal Oaxaca. Mayo. Oaxaca, Oax.
- Schoenholtz, S. H., Miegroet van., and J. A. Burguer. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. For. Ecol. Manag. 138: 335-356.
- SEMADES. 2004. Guía de maestro calendario ambiental. Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable. Gobierno del Estado de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México. [En línea], disponible en: http://semades.jalisco.gob.mx/02/entremeses/entrem_anp_manantlan.htm (Revisado el 07 de febrero de 2008).
- SEMARNAT, 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Reporte 2000. México, D. F.
- 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.
- Soriano, E, G. B 2008. Levantamiento nutricional de los géneros *Pinus* y *Abies* en bosques templados de México. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM.
- Styles, B.T. 1993. Genus *Pinus*: a mexican purview. En: Ramamoorthy, T.P., R Bye, A Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico. Origins and distribution. Oxford University Press. Oxford.
- Tamhane, R.V. 1978. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Ed. Diana. México.
- Teuscher, H. y Alder, R. 1984. El suelo y su Fertilidad. Compañía Editorial Continental. México. 510 pp.
- Tisdale, S. y Nelson, W. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial LIMUSA. México.
- Valderrábano G. J. M. 2005. Calidad del Suelo y Estado Nutricional de la Vegetación Forestal en el Parque Nacional Zoquiapan Anexas. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza. UNAM.
- Valencia, S. 2004 Diversidad del género *Quercus* (*Fagaceae*) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 75: 33-53.
- Velásquez, A., J. F. Mas, J. L. Palacio, J. R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, R. Castro y T. Fernández (b). 2002. Análisis de cambio de uso del suelo. Informe técnico. Convenio INE-Instituto de Geografía. UNAM.
- Velázquez A., J.F y Mas, J. L. Palacio 2001. Análisis de cambio de uso del suelo. Instituto Nacional de Ecología-Instituto de Geografía, UNAM (Informe Técnico) (www.ine.gob.mx).
- Wu, Ch., Ch. Tsui., Ch. Hsein., B. victor. Asio., and Z. Chen. 2007. Mineral status of tree species in relation to environmental factors in the subtropical rain forest of Taiwán. Forest Ecology and Management 239, 81-91.

12. APENDICE A-1

Resumen de análisis de varianza de los nutrimentos en tejido foliar en SJ.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F calculada	Pr>F	r ²	media
Nfol	30	11.4	0.38	5.59	<0.0001	0.73	1.06
Pfol	30	0.13	0.004	6.83	<0.0001	0.77	0.09
Kfol	30	3.58	0.11	14.08	<0.0001	0.87	0.53
Cafol	30	2.17	0.07	4.1	<0.0001	0.66	0.17
Mgfol	30	0.14	0.004	9.87	<0.0001	0.83	0.12

Resumen de análisis de varianza de los nutrimentos en tejido foliar en SM.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	cuadrados de la media	F calculada	Pr > F	r ²	media
Nfol	26	72.6	2.79	26.91	<0.0001	0.94	1.89
Pfol	26	0.66	0.02	11.4	<0.0001	0.86	0.13
Cafol	25	2.3	0.09	14.2	<0.0001	0.88	0.16
Mgfol	26	12.88	0.49	2.99	<0.0006	0.62	0.37
Kfol	25	1.87	0.07	6.69	>0.0001	0.78	0.73

APENDICE A-2 Análisis de Varianza Sierra de Oaxaca

Variable dependiente: Cafol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	30	2.17451786	0.07248393	4.10	<.0001
Error	61	1.07940714	0.01769520		
Total correcto	91	3.25392500			

	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Cafol Media
	0.668275	77.11496	0.133023	0.172500

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	20	1.33208333	0.06660417	3.76	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	0	0.00000000	.	.	.
Gen	3	0.19550833	0.06516944	3.68	0.0167
Esp	7	0.64692619	0.09241803	5.22	0.0001

Variable dependiente: Mgfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	30	0.14570380	0.00485679	9.87	<.0001
Error	61	0.03001250	0.00049201		
Total correcto	91	0.17571630			

	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Mgfol Media
	0.829199	17.54665	0.022181	0.126413

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	20	0.11281630	0.00564082	11.46	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	0	0.00000000	.	.	.
Gen	3	0.01104583	0.00368194	7.48	0.0002
Esp	7	0.02184167	0.00312024	6.34	<.0001

Variable dependiente: Pfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	30	0.13103067	0.00436769	6.83	<.0001
Error	61	0.03899107	0.00063920		
Total correcto	91	0.17002174			

	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Pfol Media
	0.770670	26.13458	0.025282	0.096739

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	20	0.12602174	0.00630109	9.86	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	0	0.00000000	.	.	.
Gen	3	0.00054583	0.00018194	0.28	0.8363
Esp	7	0.00446310	0.00063759	1.00	0.4419

Variable dependiente: Nfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	30	11.39203773	0.37973459	5.59	<.0001
Error	61	4.14563482	0.06796123		
Total correcto	91	15.53767255			

	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Nfol Media
	0.733188	24.47454	0.260694	1.065163

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	20	9.77252047	0.48862602	7.19	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	0	0.00000000	.	.	.
Gen	3	1.20187917	0.40062639	5.89	0.0013
Esp	7	0.41763810	0.05966259	0.88	0.5293

Variable dependiente: Kfo1

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	30	3.58030939	0.11934365	14.08	<.0001
Error	58	0.49169286	0.00847746		
Total correcto	88	4.07200225			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Kfo1 Media
0.879250	17.22621	0.092073	0.534494

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	20	3.32031104	0.16601555	19.58	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altit	0	0.00000000	.	.	.
Gen	3	0.03017216	0.01005739	1.19	0.3229
Esp	7	0.22982619	0.03283231	3.87	0.0016

Apéndice A-3 Análisis de Varianza Sierra de Jalisco

Variable dependiente: Calcio foliar

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	25	2.33889621	0.09355585	14.20	<.0001
Error	46	0.30305344	0.00658812		
Total correcto	71	2.64194965			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Cafol Media
0.885292	49.92772	0.081167	0.162569

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	17	1.26983924	0.07469643	11.34	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	1	0.00120417	0.00120417	0.18	0.6710
Gen	1	1.04087120	1.04087120	157.99	<.0001
Esp	6	0.02698162	0.00449694	0.68	0.6645

Variable dependiente: Mgfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	26	12.88517838	0.49558378	2.99	0.0006
Error	46	7.63223109	0.16591807		
Total correcto	72	20.51740948			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Mgfol Media
0.628012	109.9712	0.407330	0.370397

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	17	12.46159706	0.73303512	4.42	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	1	0.22233750	0.22233750	1.34	0.2530
Gen	1	0.00472608	0.00472608	0.03	0.8667
Esp	7	0.19651774	0.02807396	0.17	0.9902

Variable dependiente: Pfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	26	0.66939024	0.02574578	11.40	<.0001
Error	47	0.10616588	0.00225885		
Total correcto	73	0.77555612			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Pfol Media
0.863110	36.48743	0.047527	0.130257

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	17	0.64665787	0.03803870	16.84	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	1	0.00375000	0.00375000	1.66	0.2039
Gen	1	0.00780014	0.00780014	3.45	0.0694
Esp	7	0.01118222	0.00159746	0.71	0.6659

Variable dependiente: Nfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	26	72.62299589	2.79319215	26.91	<.0001
Error	43	4.46404356	0.10381497		
Total correcto	69	77.08703944			

R-cuadrado	0.942091	Coef Var	17.04354	Raiz MSE	0.322203	Nfol Media	1.890471
------------	----------	----------	----------	----------	----------	------------	----------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	17	60.05229828	3.53248813	34.03	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	1	0.87325350	0.87325350	8.41	0.0059
Gen	1	1.62690014	1.62690014	15.67	0.0003
Esp	7	10.07054397	1.43864914	13.86	<.0001

Variable dependiente: Kfol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	25	1.87385004	0.07495400	6.69	<.0001
Error	46	0.51554996	0.01120761		
Total correcto	71	2.38940000			

R-cuadrado	0.784235	Coef Var	14.43627	Raiz MSE	0.105866	Kfol Media	0.733333
------------	----------	----------	----------	----------	----------	------------	----------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
sitio	17	1.42372500	0.08374853	7.47	<.0001
ANP	0	0.00000000	.	.	.
Pend	0	0.00000000	.	.	.
Altitud	1	0.00960000	0.00960000	0.86	0.3595
Gen	1	0.08486429	0.08486429	7.57	0.0085
Esp	6	0.35566076	0.05927679	5.29	0.0003

Apéndice B-1

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA LAS VARIABLES ESTUDIADAS EN LA SIERRA DE JUAREZ (OAXACA).

39	Variables:	sitio	Rep	ANP	Pend	Altit	Gen	Esp	Cafol	Mgfol
		Pfol	Nfol	Kfol	NP	NK	NCa	Vomad	Nts	Pdisp
		Ks	Cas	Mgs	Nas	pHH2O	pHKCl	CE	MOS	DA
		DR	EP	HumSue	arcill	lim	Are	KgNha	KgPha	KgCaha
		KgMgha	KgKha	KgCha						

Estadísticos simples

Variable	N	Media	Desviación típica	Suma	Mínimo	Máximo
sitio	92	10.39130	6.00175	956.00000	1.00000	21.00000
Rep	92	1.50000	0.50274	138.00000	1.00000	2.00000
ANP	92	4.00000	0	368.00000	4.00000	4.00000
Pend	92	49.56522	14.85853	4560	20.00000	70.00000
Altit	92	2468	470.97782	227080	1806	3275
Gen	92	1.34783	0.81786	124.00000	1.00000	5.00000
Esp	92	7.47826	5.76743	688.00000	1.00000	21.00000
Cafol	92	0.17250	0.18910	15.87000	0.02000	0.87000
Mgfol	92	0.12641	0.04394	11.63000	0.06000	0.26000
Pfol	92	0.09674	0.04322	8.90000	0.02000	0.21000
Nfol	92	1.06516	0.41321	97.99500	0.21000	1.98000
Kfol	89	0.53449	0.21511	47.57000	0.13000	0.98000
NP	92	15.14975	13.05667	1394	2.00000	57.61000
NK	89	2.54744	2.12595	226.72200	0.30000	11.83000
NCa	92	12.69723	13.22458	1168	0.70000	75.30000
Vomad	60	41.50000	42.77632	2490	5.00000	138.00000
Nts	66	0.24242	0.19088	16.00000	0.03000	0.74000
Pdisp	82	39.12195	21.68369	3208	11.00000	87.00000
Ks	92	0.05896	0.03259	5.42400	0.01700	0.16500
Cas	92	1.35115	1.41962	124.30600	0.01000	4.58300
Mgs	92	0.08871	0.08131	8.16100	0.00400	0.22300
Nas	92	0.07301	0.02987	6.71700	0.00700	0.12200
pHH2O	78	4.96282	0.73434	387.10000	3.30000	6.40000
pHKCl	54	3.75000	0.29953	202.50000	3.20000	4.20000
CE	65	0.03657	0.01108	2.37700	0.01500	0.06100
MOS	74	7.71622	5.36993	571.00000	1.00000	22.00000
DA	74	1.00000	0	74.00000	1.00000	1.00000
DR	63	1.92063	0.27248	121.00000	1.00000	2.00000
EP	63	50.46032	14.09166	3179	12.00000	69.00000
HumSue	92	15.54348	10.63006	1430	1.00000	33.00000
arcill	74	36.64865	8.73731	2712	23.00000	51.00000
lim	74	20.67568	11.69487	1530	2.00000	38.00000
Are	74	42.67568	18.61809	3158	11.00000	71.00000
KgNha	42	208.66667	98.57538	8764	58.00000	433.00000
KgPha	88	15.47727	10.96492	1362	2.00000	65.00000
KgCaha	92	63.32609	57.46305	5826	4.00000	256.00000
KgMgha	92	24.63043	13.38419	2266	7.00000	73.00000
KgKha	92	58.80435	40.72293	5410	12.00000	198.00000
KgCha	92	11.84783	5.90387	1090	4.00000	23.00000

Sistema SAS
Procedimiento CORR
Coeficientes de correlación Pearson
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0
Número de observaciones

	sitio	Rep	ANP	Pend	Altit	Gen	Esp	Cafol	
sitio	1.00000 0.00000 92	0.00000 1.0000 92	.	0.12097 0.2507 92	-0.41395 <.0001 92	-0.02356 0.8236 92	-0.13055 0.2148 92	0.16790 0.1096 92	
Pend	0.12097 0.2507 92	0.00000 1.0000 92	.	1.00000 0.08539 92	0.08539 0.4183 92	0.27482 0.0080 92	-0.25812 0.0130 92	0.17639 0.0926 92	
Altit	-0.41395 <.0001 92	0.00000 1.0000 92	.	0.08539 0.4183 92	1.00000 0.16785 92	0.16785 0.1097 92	0.19371 0.0643 92	-0.11596 0.2710 92	
Gen	-0.02356 0.8236 92	0.00000 1.0000 92	.	0.27482 0.0080 92	0.16785 0.1097 92	1.00000 0.39301 92	0.39301 0.0001 92	0.11014 0.2960 92	
Esp	-0.13055 0.2148 92	0.00000 1.0000 92	.	-0.25812 0.0130 92	0.19371 0.0643 92	0.39301 0.0001 92	1.00000 0.15225 92	-0.15225 0.1474 92	
Cafol	0.16790 0.1096 92	-0.00636 0.9520 92	.	0.17639 0.0926 92	-0.11596 0.2710 92	0.11014 0.2960 92	-0.15225 0.1474 92	1.00000 0.46581 92	
Mgfol	0.04955 0.6390 92	-0.05223 0.6210 92	.	0.13071 0.2142 92	-0.22597 0.0303 92	0.21550 0.0391 92	0.12261 0.2443 92	0.46581 <.0001 92	
Pfol	-0.39956 <.0001 92	-0.02528 0.8109 92	.	-0.09959 0.3449 92	-0.16981 0.1056 92	-0.20381 0.0513 92	-0.17440 0.0964 92	0.00477 0.9640 92	
Nfol	0.33082 0.0013 92	-0.02711 0.7975 92	.	-0.26985 0.0093 92	0.01104 0.9168 92	0.23899 0.0218 92	-0.00467 0.9648 92	0.06891 0.5140 92	
		Mgfol	Pfol	Nfol	Kfol	NP	NK	NCa	Vomad
sitio	0.04955 0.6390 92	-0.39956 <.0001 92	0.33082 0.0013 92	-0.37950 0.0002 89	0.57363 <.0001 92	0.07610 0.4784 89	-0.37209 0.0003 92	0.33810 0.0082 60	
Pend	0.13071 0.2142 92	-0.09959 0.3449 92	-0.26985 0.0093 92	0.24576 0.0203 89	-0.01306 0.9017 92	-0.38547 0.0002 89	-0.46882 <.0001 92	0.36213 0.0045 60	
Altit	-0.22597 0.0303 92	-0.16981 0.1056 92	0.01104 0.9168 92	0.67440 <.0001 89	0.12491 0.2355 92	-0.39917 0.0001 89	0.39979 <.0001 92	0.37881 0.0028 60	
Gen	0.21550 0.0391 92	-0.20381 0.0513 92	0.23899 0.0218 92	0.27564 0.0089 89	0.24802 0.0171 92	-0.04479 0.6769 89	-0.12435 0.2376 92	0.03274 0.8039 60	
Esp	0.12261 0.2443 92	-0.17440 0.0964 92	-0.00467 0.9648 92	0.18181 0.0882 89	0.18048 0.0851 92	-0.10187 0.3422 89	0.12868 0.2215 92	0.22234 0.0877 60	
Cafol	0.46581 <.0001 92	0.00477 0.9640 92	0.06891 0.5140 92	-0.15205 0.1549 89	0.03296 0.7551 92	0.23277 0.0281 89	-0.45905 <.0001 92	-0.09371 0.4764 60	
Mgfol	1.00000 92	-0.12483 0.2358 92	0.13127 0.2123 92	-0.07824 0.4661 89	0.17882 0.0881 92	0.26402 0.0124 89	-0.39412 0.0001 92	0.24878 0.0553 60	
Pfol	-0.12483 0.2358 92	1.00000 92	-0.26290 0.0113 92	-0.15069 0.1587 89	-0.72013 <.0001 92	0.19186 0.0717 89	-0.04330 0.6819 92	-0.42793 0.0006 60	
Nfol	0.13127 0.2123 92	-0.26290 0.0113 92	1.00000 92	-0.05418 0.6141 89	0.67273 <.0001 92	0.48731 <.0001 89	0.23637 0.0233 92	-0.02520 0.8484 60	
		Nts	Pdisp	Ks	Cas	Mgs	Nas	pHH2O	pHKCl
sitio	-0.48279 <.0001 66	0.14806 0.1843 82	-0.43922 <.0001 92	0.58447 <.0001 92	-0.81812 <.0001 92	0.38175 0.0002 92	0.04847 0.6735 78	-0.18843 0.1724 54	
Rep	-0.03679 0.7693 66	-0.18334 0.0992 82	-0.03689 0.7270 92	-0.00288 0.9783 92	0.00390 0.9706 92	0.03842 0.7162 92	0.00176 0.9878 78	-0.00624 0.9643 54	
Pend	0.30175 0.0138 66	-0.10370 0.3539 82	-0.31425 0.0023 92	0.22332 0.0324 92	0.10686 0.3106 92	0.16239 0.1220 92	-0.11686 0.3082 78	-0.06160 0.6581 54	

Altit	0.70065 <.0001 66	-0.27175 0.0135 82	0.49827 <.0001 92	-0.13681 0.1935 92	0.50582 <.0001 92	-0.06191 0.5577 92	-0.31246 0.0054 78	0.10480 0.4507 54
Gen	0.20403 0.1003 66	-0.01189 0.9156 82	-0.08229 0.4355 92	0.21108 0.0434 92	0.21771 0.0371 92	0.24456 0.0188 92	0.10497 0.3604 78	0.16088 0.2452 54
Esp	-0.06785 0.5883 66	0.10861 0.3314 82	0.20993 0.0446 92	-0.02447 0.8169 92	0.23741 0.0227 92	0.27402 0.0082 92	0.06135 0.5936 78	0.37509 0.0052 54
Cafol	-0.13007 0.2979 66	0.11464 0.3051 82	-0.08755 0.4066 92	0.17749 0.0905 92	-0.01864 0.8600 92	0.13996 0.1833 92	0.06338 0.5815 78	-0.32225 0.0175 54
Mgfol	-0.21539 0.0824 66	0.31563 0.0039 82	-0.07922 0.4529 92	0.16568 0.1145 92	0.16026 0.1270 92	0.35662 0.0005 92	0.34456 0.0020 78	-0.14887 0.2827 54
Pfol	0.02961 0.8134 66	-0.05066 0.6513 82	-0.20884 0.0457 92	-0.63162 <.0001 92	0.08937 0.3969 92	-0.50113 <.0001 92	-0.10802 0.3465 78	-0.29505 0.0303 54
Nfol	-0.20354 0.1012 66	0.17112 0.1243 82	0.05288 0.6166 92	0.25398 0.0146 92	-0.28523 0.0059 92	0.11576 0.2718 92	0.25143 0.0264 78	-0.00085 0.9951
	CE	MOS	DA	DR	EP	HumSue	arcill	lim
sitio	-0.08391 0.5063 65	0.11293 0.3381 74	.	-0.10440 0.4155 63	-0.24537 0.0526 63	-0.70544 <.0001 92	-0.48586 <.0001 74	-0.59735 <.0001 74
Pend	-0.05134 0.6846 65	0.04433 0.7076 74	.	-0.17219 0.1772 63	0.07563 0.5558 63	0.07053 0.5041 92	-0.28055 0.0155 74	0.02551 0.8292 74
Altit	0.64059 <.0001 65	0.52768 <.0001 74	.	0.17645 0.1665 63	0.54912 <.0001 63	0.66833 <.0001 92	0.27923 0.0160 74	0.24752 0.0335 74
Gen	0.07753 0.5393 65	0.09169 0.4372 74	.	0.14780 0.2477 63	0.41227 0.0008 63	0.02605 0.8053 92	-0.17188 0.1431 74	0.10582 0.3695 74
Esp	0.22140 0.0763 65	-0.02732 0.8173 74	.	0.34916 0.0050 63	0.23085 0.0687 63	-0.07312 0.4885 92	-0.19934 0.0886 74	-0.21248 0.0691 74
Cafol	-0.17225 0.1700 65	0.02556 0.8289 74	.	0.03786 0.7683 63	0.01150 0.9287 63	-0.01205 0.9092 92	-0.24898 0.0324 74	0.06655 0.5732 74
Mgfol	-0.26534 0.0327 65	-0.26193 0.0242 74	.	0.32479 0.0094 63	0.20262 0.1112 63	-0.16069 0.1260 92	-0.32461 0.0048 74	0.01138 0.9233 74
Pfol	-0.54258 <.0001 65	-0.45940 <.0001 74	.	-0.19218 0.1313 63	-0.46768 0.0001 63	0.31266 0.0024 92	0.28602 0.0135 74	0.50383 <.0001 74
Nfol	0.08953 0.4782 65	0.28357 0.0144 74	.	0.19338 0.1289 63	0.25279 0.0456 63	-0.10166 0.3349 92	-0.00541 0.9635 74	-0.11589 0.3255 74
	Are	KgNha	KgPha	KgCaha	KgMgha	KgKha	KgCha	
sitio	0.60324 <.0001 74	-0.19689 0.2114 42	-0.39303 0.0002 88	0.36239 0.0004 92	-0.08696 0.4098 92	-0.31851 0.0020 92	-0.36425 0.0004 92	
Pend	0.11563 0.3265 74	0.65815 <.0001 42	0.02200 0.8388 88	0.31901 0.0019 92	0.23563 0.0238 92	0.22495 0.0311 92	0.37830 0.0002 92	
Altit	-0.28652 0.0133 74	0.15353 0.3317 42	0.20699 0.0530 88	-0.25159 0.0156 92	-0.02071 0.8446 92	0.27542 0.0079 92	0.35014 0.0006 92	
Gen	0.01419 0.9045 74	0.30376 0.0505 42	0.06006 0.5783 88	0.06303 0.5506 92	0.13334 0.2051 92	0.11227 0.2867 92	0.39342 0.0001 92	
Esp	0.22702 0.0518 74	-0.42374 0.0052 42	0.14101 0.1900 88	-0.24631 0.0179 92	-0.13164 0.2110 92	-0.08920 0.3978 92	0.10802 0.3054 92	
Cafol	0.07504 0.5251 74	0.31392 0.0429 42	-0.10729 0.3198 88	-0.00524 0.9604 92	0.02338 0.8249 92	0.25448 0.0144 92	0.12447 0.2372 92	
Mgfol	0.14518 0.2171	0.32642 0.0349	0.02058 0.8491	-0.01990 0.8507	0.28023 0.0068	0.27202 0.0087	0.20458 0.0504	

Apéndice B-2

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA LAS VARIABLES ESTUDIADAS EN LA SIERRA DE MANANTLÁN (JALISCO)

38 Variables:

sitio	ANP	Pend	Altit	Gen	Esp	Cafol	Mgfol	Pfol
Nfol	Kfol	NP	NK	Nca	Vomad	Nts	Pdisp	Ks
Cas	Mgs	Nas	pHH2O	pHKCl	CE	MOS	DA	DR
EP	HumSue	arcill	lim	Are	KgNha	KgPha	KgCaha	KgMgha
KgKha	KgCha							

Variable	N	Media	Desviación típica	Suma	Mínimo	Máximo
sitio	74	30.56757	4.91874	2262	22.00000	39.00000
ANP	74	5.00000	0	370.00000	5.00000	5.00000
Pend	74	33.37838	9.39645	2470	20.00000	56.00000
Altit	74	1962	570.14036	145190	842.00000	2682
Gen	74	1.13514	0.34420	84.00000	1.00000	2.00000
Esp	74	9.94595	5.57856	736.00000	1.00000	20.00000
Cafol	72	0.16257	0.19290	11.70500	0.04500	0.79000
Mgfol	73	0.37040	0.53382	27.03900	0.00900	1.76000
Pfol	74	0.13026	0.10307	9.63900	0.01000	0.47000
Nfol	70	1.89047	1.05698	132.33300	0.05000	4.70000
Kfol	72	0.73333	0.18345	52.80000	0.28000	1.04000
NP	70	29.68329	63.45864	2078	0.17000	425.00000
NK	68	2.58818	1.38080	175.99600	0.10000	6.50000
Nca	68	17.10746	12.45010	1163	0.42000	51.70000
Vomad	74	153.98649	130.35909	11395	10.00000	507.00000
Nts	56	0.18411	0.10101	10.31000	0.02000	0.37000
Pdisp	56	42.66071	24.05167	2389	11.00000	87.00000
Ks	74	0.06166	0.04916	4.56300	0.01300	0.18800
Cas	74	1.48112	1.61181	109.60300	0.01600	4.22600
Mgs	74	0.04434	0.04147	3.28100	0.00200	0.16300
Nas	74	0.08084	0.03360	5.98200	0.03100	0.20100
pHH2O	20	5.68500	0.53830	113.70000	5.10000	6.20000
pHKCl	38	4.30263	0.97357	163.50000	3.00000	5.80000
CE	28	0.03789	0.01249	1.06100	0.02200	0.08000
MOS	56	5.53571	4.54890	310.00000	0.31000	16.00000
DA	52	0.98846	0.03226	51.40000	0.90000	1.00000
DR	74	2.05405	0.22767	152.00000	2.00000	3.00000
EP	62	52.58065	8.84576	3260	30.00000	64.00000
HumSue	40	22.80000	7.56239	912.00000	8.00000	34.00000
arcill	54	39.44444	18.59465	2130	15.00000	73.00000
lim	54	15.96296	9.19590	862.00000	5.00000	30.00000
Are	54	44.48148	22.44216	2402	12.00000	77.00000
KgNha	74	259.70270	305.28064	19218	45.00000	1045
KgPha	74	26.14986	28.60829	1935	0.30000	87.00000
KgCaha	74	68.72973	104.37122	5086	3.00000	433.00000
KgMgha	74	106.39189	183.18460	7873	1.00000	654.00000
KgKha	74	54.28378	50.10168	4017	1.00000	245.00000
KgCha	74	11.83784	5.70755	876.00000	4.00000	28.00000

Sistema SAS
Procedimiento CORR
Coeficientes de correlación Pearson
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0
Número de observaciones

	sitio	ANP	Pend	Altit	Gen	Esp	Cafo1	Mgfo1
sitio	1.00000 74	.	-0.36512 0.0014 74	0.69286 <.0001 74	0.13208 0.2619 74	0.46941 <.0001 74	0.13996 0.2410 72	0.67178 <.0001 73
Pend	-0.36512 0.0014 74	.	1.00000 74	-0.08622 0.4651 74	0.11951 0.3105 74	-0.35136 0.0021 74	0.04812 0.6881 72	-0.22264 0.0583 73
Altit	0.69286 <.0001 74	.	-0.08622 0.4651 74	1.00000 74	0.24164 0.0381 74	0.22838 0.0503 74	0.22741 0.0547 72	0.37623 0.0010 73
Gen	0.13208 0.2619 74	.	0.11951 0.3105 74	0.24164 0.0381 74	1.00000 74	-0.13883 0.2381 74	0.90887 <.0001 72	0.04059 0.7332 73
Esp	0.46941 <.0001 74	.	-0.35136 0.0021 74	0.22838 0.0503 74	-0.13883 0.2381 74	1.00000 74	-0.09562 0.4243 72	0.41979 0.0002 73
Cafo1	0.13996 0.2410 72	.	0.04812 0.6881 72	0.22741 0.0547 72	0.90887 <.0001 72	-0.09562 0.4243 72	1.00000 72	0.04547 0.7045 72
Mgfo1	0.67178 <.0001 73	.	-0.22264 0.0583 73	0.37623 0.0010 73	0.04059 0.7332 73	0.41979 0.0002 73	0.04547 0.7045 72	1.00000 73
Pfo1	0.44683 <.0001 74	.	-0.15211 0.1958 74	0.25327 0.0295 74	0.28474 0.0139 74	0.26311 0.0235 74	0.07308 0.5418 72	0.45866 <.0001 73
Nfo1	0.68034 <.0001 70	.	-0.29767 0.0123 70	0.48524 <.0001 70	0.32960 0.0053 70	0.41493 0.0004 70	0.31961 0.0079 68	0.52415 <.0001 69
Kfo1	0.47627 <.0001 72	.	-0.22300 0.0597 72	0.51766 <.0001 72	0.14879 0.2122 72	0.30170 0.0100 72	0.06806 0.5756 70	0.30841 0.0089 71
	Pfo1	Nfo1	Kfo1	NP	NK	NCa	Vomad	Nts
sitio	0.44683 <.0001 74	0.68034 <.0001 70	0.47627 <.0001 72	0.06684 0.5825 70	0.54402 <.0001 68	0.41900 0.0004 68	0.37995 0.0008 74	0.30011 0.0246 56
Pend	-0.15211 0.1958 74	-0.29767 0.0123 70	-0.22300 0.0597 72	-0.24394 0.0418 70	-0.19562 0.1099 68	-0.20040 0.1013 68	-0.21887 0.0610 74	0.24589 0.0677 56
Altit	0.25327 0.0295 74	0.48524 <.0001 70	0.51766 <.0001 72	0.10019 0.4092 70	0.29142 0.0159 68	0.14873 0.2261 68	0.50413 <.0001 74	0.59714 <.0001 56
Gen	0.28474 0.0139 74	0.32960 0.0053 70	0.14879 0.2122 72	-0.07115 0.5583 70	0.11098 0.3676 68	-0.34507 0.0040 68	0.13743 0.2430 74	0.39075 0.0029 56
Esp	0.26311 0.0235 74	0.41493 0.0004 70	0.30170 0.0100 72	0.19374 0.1081 70	0.27505 0.0232 68	0.39983 0.0007 68	0.09995 0.3968 74	-0.19619 0.1473 56
Cafo1	0.07308 0.5418 72	0.31961 0.0079 68	0.06806 0.5756 70	0.03039 0.8057 68	0.12111 0.3327 66	-0.43150 0.0002 68	0.09415 0.4315 72	0.38577 0.0040 54
Mgfo1	0.45866 <.0001 73	0.52415 <.0001 69	0.30841 0.0089 71	-0.10386 0.3958 69	0.41509 0.0005 67	0.41039 0.0005 68	0.35703 0.0019 73	0.23122 0.0894 55
Pfo1	1.00000 74	0.52712 <.0001 70	0.26321 0.0255 72	-0.28034 0.0187 70	0.29244 0.0155 68	0.30492 0.0115 68	0.64497 <.0001 74	0.27438 0.0407 56
Nfo1	0.52712 <.0001 70	1.00000 70	0.32788 0.0063 68	0.18034 0.1352 70	0.84538 <.0001 68	0.52247 <.0001 68	0.49033 <.0001 70	0.23720 0.0784 56
Kfo1	0.26321 0.0255 72	0.32788 0.0063 68	1.00000 72	0.10943 0.3744 68	-0.17420 0.1554 68	0.31491 0.0100 66	0.18473 0.1203 72	0.30746 0.0237 54

	Pdisp	Ks	Cas	Mgs	Nas	pHH2O	pHKCl	CE
sitio	0.32559 0.0143 56	-0.32660 0.0045 74	0.84510 <.0001 74	0.13933 0.2364 74	0.66812 <.0001 74	-0.69326 0.0007 20	0.58949 <.0001 38	-0.31286 0.1050 28
Pend	-0.25297 0.0600 56	-0.02336 0.8434 74	-0.25631 0.0275 74	-0.04248 0.7193 74	0.00159 0.9893 74	.	-0.27708 0.0922 38	-0.25160 0.1965 28
Altit	0.11129 0.4142 56	-0.59701 <.0001 74	0.44491 <.0001 74	-0.29242 0.0115 74	0.57066 <.0001 74	0.36782 0.1106 20	0.69132 <.0001 38	-0.20542 0.2943 28
Gen	0.16479 0.2249 56	-0.19643 0.0935 74	0.12451 0.2905 74	0.00923 0.9378 74	0.21036 0.0720 74	0.33065 0.1545 20	0.53970 0.0005 38	0.18608 0.3431 28
Esp	0.24857 0.0647 56	-0.06301 0.5938 74	0.42841 0.0001 74	0.01553 0.8955 74	0.20507 0.0797 74	-0.14242 0.5492 20	0.15137 0.3643 38	-0.09165 0.6428 28
Cafol	0.11908 0.3911 54	-0.15671 0.1887 72	0.04142 0.7297 72	-0.07068 0.5552 72	0.11835 0.3221 72	0.24441 0.3284 18	0.50025 0.0019 36	0.21813 0.2844 26
Mgfol	0.39532 0.0028 55	-0.25461 0.0297 73	0.71046 <.0001 73	0.15430 0.1924 73	0.48517 <.0001 73	0.05441 0.8249 19	0.41326 0.0110 37	-0.17380 0.3860 27
Pfol	0.28870 0.0309 56	-0.11104 0.3463 74	0.65487 <.0001 74	0.41852 0.0002 74	0.44608 <.0001 74	0.82506 <.0001 20	0.79030 <.0001 38	0.10492 0.5952 28
Nfol	0.39653 0.0025 56	-0.25516 0.0330 70	0.68582 <.0001 70	0.03292 0.7867 70	0.43307 0.0002 70	0.22708 0.3356 20	0.66572 <.0001 38	-0.14054 0.4757 28
Kfol	0.16249 0.2404 54	-0.26086 0.0269 72	0.32429 0.0055 72	-0.06652 0.5788 72	0.35404 0.0023 72	0.09040 0.7213 18	0.36557 0.0283 36	0.02886 0.8887 26
	MOS	DA	DR	EP	HumSue	arcill	lim	Are
sitio	0.10557 0.4387 56	0.01803 0.8990 52	-0.34582 0.0025 74	0.16030 0.2133 62	-0.17045 0.2930 40	-0.39281 0.0033 54	0.23675 0.0848 54	0.22239 0.1060 54
Pend	0.09497 0.4863 56	0.02458 0.8627 52	0.31048 0.0071 74	-0.15983 0.2147 62	-0.54901 0.0002 40	0.03309 0.8122 54	-0.16349 0.2375 54	0.04227 0.7615 54
Altit	0.23517 0.0810 56	-0.16595 0.2397 52	-0.34912 0.0023 74	0.19558 0.1276 62	-0.10835 0.5057 40	-0.80269 <.0001 54	0.00537 0.9693 54	0.65858 <.0001 54
Gen	0.24580 0.0678 56	0.15400 0.2757 52	-0.09449 0.4232 74	-0.26393 0.0382 62	-0.23659 0.1416 40	-0.36679 0.0064 54	-0.06324 0.6496 54	0.32628 0.0160 54
Esp	-0.23374 0.0830 56	0.27749 0.0464 52	-0.03003 0.7995 74	0.11885 0.3576 62	0.24012 0.1356 40	0.19850 0.1502 54	0.29345 0.0313 54	-0.28650 0.0357 54
Cafol	0.33892 0.0122 54	0.10516 0.4674 50	-0.09821 0.4118 72	-0.00392 0.9763 60	-0.09491 0.5602 40	-0.38390 0.0042 54	-0.02305 0.8686 54	0.32325 0.0171 54
Mgfol	-0.08707 0.5273 55	0.19853 0.1625 51	-0.15005 0.2051 73	0.10007 0.4429 61	-0.15424 0.3420 40	-0.14789 0.2859 54	0.15649 0.2585 54	0.05141 0.7120 54
Pfol	-0.23605 0.0799 56	0.33822 0.0142 52	-0.12903 0.2732 74	-0.27284 0.0319 62	-0.35058 0.0266 40	-0.08226 0.5543 54	0.02028 0.8843 54	0.04959 0.7218 54
Nfol	-0.09793 0.4811 54	0.25811 0.0647 52	-0.16257 0.1788 70	0.07699 0.5520 62	0.22994 0.1535 40	-0.23771 0.0835 54	0.20791 0.1314 54	0.10299 0.4586 54
Kfol	0.20888 0.1296 54	0.10389 0.4728 50	-0.23410 0.0478 72	0.08307 0.5280 60	0.11891 0.4649 40	-0.36090 0.0086 52	0.17502 0.2146 52	0.22665 0.1061 52
	KgNha	KgPha	KgCaha	KgMgha	KgKha	KgCha		
sitio	0.58677 <.0001 74	0.67296 <.0001 74	0.30684 0.0078 74	0.52067 <.0001 74	0.45526 <.0001 74	0.21900 0.0608 74		
ANP
	74	74	74	74	74	74	74	

Pend	-0.14181 0.2281 74	-0.28851 0.0127 74	-0.04403 0.7095 74	-0.19299 0.0995 74	-0.14045 0.2326 74	-0.01110 0.9252 74
Altit	0.37957 0.0009 74	0.34197 0.0029 74	0.38340 0.0007 74	0.37776 0.0009 74	0.37304 0.0011 74	0.36007 0.0016 74
Gen	-0.10052 0.3942 74	0.24100 0.0386 74	0.28320 0.0145 74	0.03261 0.7827 74	0.21778 0.0623 74	0.17866 0.1278 74
Esp	0.48323 <.0001 74	0.30649 0.0079 74	0.04755 0.6875 74	0.19469 0.0965 74	0.07357 0.5333 74	0.03844 0.7450 74
Cafo1	-0.11053 0.3553 72	0.18057 0.1290 72	0.32655 0.0051 72	0.06977 0.5603 72	0.26548 0.0242 72	0.13160 0.2705 72
Mgfo1	0.65300 <.0001 73	0.67428 <.0001 73	0.36749 0.0014 73	0.65245 <.0001 73	0.49642 <.0001 73	0.38639 0.0007 73
Pfo1	0.32208 0.0051 74	0.72781 <.0001 74	0.47775 <.0001 74	0.50687 <.0001 74	0.54969 <.0001 74	0.35503 0.0019 74
Nfo1	0.35327 0.0027 70	0.72847 <.0001 70	0.51522 <.0001 70	0.48015 <.0001 70	0.49601 <.0001 70	0.32135 0.0067 70
Kfo1	0.39134 0.0007 72	0.19394 0.1026 72	0.08415 0.4822 72	0.12944 0.2785 72	0.15044 0.2072 72	0.18901 0.1118 72

Apéndice C

Análisis de Componentes Principales (ACP).

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative													
1	11.7395692	5.2223496	0.3669	0.3669													
2	6.5172196	2.5006608	0.2037	0.5705													
3	4.0165587	1.4116129	0.1255	0.6960													
4	2.6049458	0.5109761	0.0814	0.7774													
5	2.0939697	0.5835392	0.0654	0.8429													
6	1.5104306	0.2777539	0.0472	0.8901													
7	1.2326766	0.2505431	0.0385	0.9286													
8	0.9821335	0.4364843	0.0307	0.9593													
9	0.5456492	0.2284605	0.0171	0.9763													
10	0.3171887	0.0844338	0.0099	0.9863													
11	0.2327549	0.1164078	0.0073	0.9935													
12	0.1163471	0.0645635	0.0036	0.9972													
13	0.0517836	0.0130109	0.0016	0.9988													
14	0.0387727	0.0387727	0.0012	1.0000													
15	0.0000000	0.0000000	0.0000	1.0000													
16	0.0000000	0.0000000	0.0000	1.0000													
17	0.0000000	0.0000000	0.0000	1.0000													
18	0.0000000	0.0000000	0.0000	1.0000													
19	0.0000000	0.0000000	0.0000	1.0000													
20	0.0000000	0.0000000	0.0000	1.0000													
21	0.0000000	0.0000000	0.0000	1.0000													
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6	Prin7										
Pend	-.189683	-.258989	0.122277	0.082281	-.041493	-.185170	0.028259										
Altit	-.272908	0.031019	-.150473	0.009629	0.069048	0.051936	0.059720										
Cafol	0.067132	-.292402	0.143580	-.171591	0.160686	0.169916	0.143925										
Mgfol	0.056565	-.274852	0.204090	-.253720	0.170535	-.112843	-.106739										
Pfol	0.011234	-.229824	-.046793	0.241031	0.089350	0.022436	-.585933										
Nfol	0.179597	0.044944	-.147014	0.220776	0.101412	-.447880	-.032730										
Kfol	-.256367	0.046703	-.039942	-.183545	-.043659	-.057386	-.043757										
NP	0.123303	0.200740	-.103445	-.039315	0.020669	-.371596	0.442954										
NK	0.234712	-.040565	-.052747	0.254285	0.158246	-.052815	-.068143										
NCa	0.017900	0.100080	-.242880	0.471552	-.060379	-.148803	-.123259										
Vomad	-.208482	-.097482	-.232358	0.168694	-.032097	0.097380	0.096660										
Nts	0.092343	0.081806	0.003469	0.015334	0.388573	-.126945	0.107321										
Pdisp	0.079314	0.167497	0.343025	0.153296	0.114190	-.117780	0.233630										
Ks	0.264534	-.076823	-.120669	0.062438	-.078176	0.143650	0.123270										
Cas	0.276517	-.083763	-.041742	0.050333	-.083804	0.085530	0.079529										
Mgs	0.260843	-.132715	-.061600	0.074713	-.095391	0.088129	0.112039										
Nas	0.269302	0.085483	0.131462	-.055724	-.032033	-.017990	-.099754										
pHH2O	0.239155	0.026903	-.046231	-.009812	-.261223	0.272019	-.055929										
pHKCl	0.171995	0.255246	0.167501	-.137442	0.040579	-.039697	-.202329										
CE	-.085097	0.287104	0.206280	-.159617	0.123067	-.121378	-.250364										
MOS	-.051037	0.341454	-.076519	-.139167	-.004418	0.201097	-.155644										
DA	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000										
DR	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000										
EP	-.011984	0.198157	-.348271	0.000388	0.221846	0.219861	0.178956										
HumSue	-.091777	-.344737	0.059527	0.133361	-.087931	-.128326	0.110001										
arcill	-.236449	0.084835	-.241059	0.005136	0.079080	0.139124	0.092931										
lim	-.266289	-.126615	0.073893	0.033415	0.016203	-.144255	-.005686										
Are	0.284711	0.060716	0.037063	-.026441	-.041809	0.053101	-.031003										
KgNha	-.134221	0.144075	0.350477	0.167103	-.045750	-.068497	0.156570										
KgPha	-.012922	0.045657	0.193402	0.178491	-.529419	-.014839	0.044903										
KgCaha	-.056384	0.119248	0.285194	0.222669	0.038369	0.321604	0.085393										
KgMgha	-.011398	0.079908	0.131681	0.353175	0.409293	0.141190	-.113935										
KgKha	-.159569	0.122953	0.234809	0.291863	-.055964	0.231990	0.092970										
KgCha	0.088365	-.267150	0.103868	0.013212	0.310224	0.240541	0.203808										

APENDICE D

Análisis de Correlaciones canónicas.

Procedimiento CANCORR

Análisis de correlación canónica

Coefficientes canónicos estandarizados para 'CALIDAD'

	calindex1	calindex2	calindex3	calindex4
Caf	0.1346	-0.0440	-0.1252	0.3973
Mgf	-0.6979	0.2281	0.6493	0.5396
Pf	0.4633	-0.1514	-0.4310	-0.8373
Nf	-1.3323	0.4355	1.2395	1.2585
Kf	0.4211	-0.1376	-0.3917	-0.0699
NP	0.9540	-0.3118	-0.8876	-0.1585
NK	1.7684	-0.5781	-1.6452	-0.2938
NCa	-0.1585	0.0518	0.1475	0.0263
Vomad	0.0031	-0.0010	-0.0029	-0.0005
Nts	0.0051	-0.0017	-0.0047	-0.0008
Pdisp	0.0899	-0.0294	-0.0837	-0.0149
Ks	-3.6941	-3.3023	-0.2996	1.4946
Cas	-4.8320	3.5723	-0.2424	-2.3974
Mgs	7.9914	0.5085	0.3837	0.3652

Calindex= Índices de calidad de suelo