



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

*Relación suelo-planta en tres coberturas vegetales del municipio de
Putta Villa de Guerrero, Oaxaca.*

Tesis
para obtener el título de
Bióloga

P R E S E N T A:

Giovanna Rivera Vargas

Director de tesis

M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ
Prof. de Carrera Asociado "C"
FES Zaragoza, UNAM

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN SISTEMÁTICA VEGETAL Y SUELO

Proyecto apoyado por DGAPA-PAPIT IN 219907

México D. F. Febrero 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A la escuela en la que tuve la oportunidad de realizar mis estudios y todos los profesores que contribuyeron a mi formación.

Para cumplir una meta siempre hay a nuestro alrededor personas que contribuyen para que esta sea posible en mi caso son:

Ángeles Galván

Saúl López

Rocío González

María de la luz López

Aída Zapata

Magdalena Ayala

Néstor Romero

Juana García

Eloy Solano

Nadia Martínez

Roberto Agüero

Armando Sauer

Ramiro Ríos

Dulce Cervantes

Carlos Zarate

Francisco

Carlos Castillejos

Guadalupe Corona

Ana Pichardo

Denisse Hernández

Isaías Salgado

María Antonieta Chavez

Moisés López

Catalina Herrera

Miguel Castillo

Lucia Herrera

A todos ellos mil gracias.

Dedicatoria

Con amor dedico este trabajo al ser maravilloso que me dio la vida y las condiciones para vivirla y crecer muestra de ello es este trabajo, la Sra. Agueda Vargas Meléndez no menos importantes son mi mamá Agapita y mi papá Cirino.

A mi tía María por su interminable paciencia y cariño por todo su apoyo.

A mis tíos: María, Ma. Eugenia, Carmen, Luisa, Cecilia, Jesús, Enrique, Nemo, Noe a, Ernesto, Rosalva, Yadhira y Arturo, a toda mi familia ya que sin su apoyo este no seria posible a todos ellos muchas gracias los amo.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	Pág. 2
II. ANTECEDENTES	3
2.1 El suelo en el ecosistema	3
2.2 Heterogeneidad del ambiente edáfico	6
2.3 Relación suelo-planta	8
2.4 La raíz como órgano de interfase suelo-planta	10
2.5 Tipos de raíces	12
III. JUSTIFICACIÓN	14
IV. HIPÓTESIS	14
V. OBJETIVOS	14
5.1 Objetivo general	14
5.2 Objetivos particulares	14
VI. METODOLOGÍA	15
6.1 Descripción del área de estudio y tipos de vegetación	15
6.1.1 Área de estudio	15
6.2 Trabajo de campo	15
6.2.1 Muestreo y caracterización de cada sitio.	15
6.2.2 Muestreo, descripción morfológica e identificación de los suelos	15
6.2.3 Muestreo de la vegetación	15
6.2.4 Muestreo de tejido foliar	16
6.2.5 Recolecta de tejido radical	16
6.2.6 Muestreo de raíces	16
6.3 Trabajo de laboratorio.	16
6.3.1 Tratamiento preliminar de las muestras de suelo.	16
6.3.2 Análisis de suelo	16
6.3.3 Análisis físicos	17
6.3.4 Análisis químico	17
6.4 Análisis del tejido vegetal	19
6.5 Biomasa y distribución de raíces en el suelo	19
6.6 Trabajo de herbario.	19
6.7 Análisis estadístico.	19
VII. RESULTADOS	20
7.1 Descripción de perfiles.	21
7.2 Descripción de las coberturas vegetales.	36
7.3 Composición florística de las tres coberturas vegetales estudiados.	37
7.4 Clasificación de los suelos.	40
7.5 Parámetros físicos y químicos del suelo	46
7.6 Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo	52
7.7 Distribución de la longitud y superficie radical.	56
7.8 Correlación de los parámetros del suelo con el sistema radical.	61
7.9 Nutrientes en el suelo.	62
7.10 Relación del sistema radical con los nutrientes del suelo.	65
7.11 Relación de los nutrientes en el suelo y los contenidos en tejido vegetal	65
7.12. Relación de los nutrientes en el suelo y las tres especies dominantes en cada cobertura vegetal.	67

CONTENIDO

VIII. DISCUSIÓN.	Pág. 71
8.1 Desarrollo y diferenciación del suelo	71
8.2 Propiedades físicas-químicas del suelo	72
8.3 Relación propiedades del suelo-raíz	74
8.4 Nutrimentos en el suelo	76
8.5 Relación nutrimentos del suelo-raíz	78
8.6 Nutrimentos en suelo y tejido vegetal.	79
IX. CONCLUSIONES	81
X. RECOMENDACIONES	83
XI. REFERENCIAS	84
XII. ANEXO	96

RESUMEN

El interés en como muchas plantas y la biota influyen el suministro y disponibilidad de nutrientes se ha incrementado recientemente. Se han sugerido procesos de retroalimentación que involucran a las especies dominantes y descomponedores, dando como resultado propiedades del suelo que favorecen la productividad primaria en los ecosistemas terrestres. Una alta o baja eficiencia interna en el uso de nutrientes retroalimenta positivamente su ciclo e incrementa o disminuye la fertilidad del suelo. Tal retroalimentación puede favorecer fuertemente a las plantas involucradas. Estas plantas influyen el suministro y producción en el sistema suelo-planta, principalmente en hábitats pobres en nutrientes. Si el ambiente es rico, las plantas crecen rápidamente, soportan altas tasas de herbivoría y producen mantillo de rápida descomposición y la tasa de ciclamiento de nutrientes se incrementa.

En este trabajo se estudió la relación del suelo con las tres especies dominantes en tres coberturas vegetales del municipio de Putla villa de Guerrero, Oaxaca. Se hipotetizó que la relación suelo-planta se explica a través de la morfología y distribución del sistema radical en el perfil edáfico y de las concentraciones de nutrientes en el suelo, tejido radical y hojas. Se seleccionaron cinco sitios con base en su estado de conservación, indicado por la estructura y composición de las comunidades vegetales primarias. Se describió morfológicamente el perfil edáfico, se analizó la estructura de la vegetación y evaluó la distribución vertical de las raíces en el perfil edáfico, usando un monolito de 20 x 20 cm cada 10 cm de espesor y se tomaron muestras del tejido radical y foliar de las tres especies dominantes de cada sitio en las que se cuantificó el contenido de N, P, K, Ca, Mg, S y caracterizó física y químicamente e identificó el suelo. Los datos cuantitativos obtenidos en las distintas variables edáficas y biológicas evaluadas se analizaron con el programa de computo Stata version 9.1, se les realizó un análisis exploratorio y confirmatorio de datos, análisis de varianza, métodos no paramétricos (Kruskal Wallis), para las variables del sistema radical y la profundidad del suelo, correlación a las variables analizadas del suelo con las del sistema radical y al contenido de nutrientes en el suelo y en el tejido vegetal.

Los suelos del BMM tienen las mejores propiedades para el desarrollo del sistema radical y son el resultado de la influencia de la vegetación a través de su sistema radical y del mantillo aportado principalmente por los dominantes ecológicos. Las condiciones termo-pluviométricas, topográficas y edáficas influyen la dinámica de nutrientes y las especies vegetales han desarrollado estrategias que involucran al sistema radical que les permiten una eficiente relación suelo-planta. Así, cuando la competencia por los nutrientes es fuerte la plasticidad de la arquitectura radical adquiere un papel relevante y las especies la evitan mediante una distribución más marcada del sistema radical en el perfil, finalmente los nutrientes N, P y Ca limitan la productividad primaria de los ecosistemas naturales e inducidos en la zona. Se encontró que el BTSC se distribuye en Regosoles háplicos, Luvisoles háplicos y Luvisoles úmbricos con perfil dominante OAC. El BMM está en Cambisol háplico y Luvisol que puede ser háplico o lamélico con perfil típico OA1A2BC1C2. Mientras que en los BP se encontraron en Regosol taptovítrico y Luvisol háplico, sin embargo, está presente también el Luvisol lamélico, el perfil típico es OA C1C2.

I INTRODUCCIÓN

Un área forestal es un terreno que no está dedicado a la actividad agrícola y que tiene al menos 10% de cobertura vegetal arbórea (FAO, 2000). En este contexto, el área forestal mundial se estima de cuatro billones de hectáreas, que equivale aproximadamente al 30% de la superficie terrestre (FAO, 2005). Los bosques están concentrados en zonas climáticas específicas y dependiendo del clima en el que se les localiza son clasificados en bosques templados, boreales y tropicales. En función de las características de crecimiento, los bosques se clasifican en perennifolios, subperennifolios, caducifolios, de baja y alta montaña, mixtos y manglares.

Los bosques son importantes por conservar el suelo y el agua, secuestrar carbono y mitigar las emisiones netas de gases invernadero, asimismo proporcionan madera, combustible, alimento, forraje, medicinas, pigmentos, taninos, perfumes, exudados y plantas ornamentales (FAO, 2000). Además, los bosques moderan el clima al regular las fluctuaciones de temperatura, humedad relativa, evaporación, radiación solar y deshidratación, influyendo de este modo en el clima global, conservación de la biodiversidad y mejoramiento de la calidad de vida. Los bosques naturales son los ecosistemas más diversos y constituyen una reserva natural de diversidad genética de flora y fauna.

Los árboles capturan y absorben parte del agua de lluvia en su cobertura. El dosel de la vegetación la distribuye en la superficie del suelo favoreciendo su infiltración, almacenamiento, flujo sobre la superficie del suelo, su flujo lateral saturado e insaturado, interflujo, flujo basal y percolación en el suelo. En este sentido, el suelo representa el reservorio permanente de agua de primer uso y juega un importante papel en su cantidad y calidad (Blanco y Lal, 2008). Asimismo, la materia orgánica producida por las plantas en el ecosistema se incorpora al sistema detritívoro cuando es reciclada (mineralizada) por una vasta diversidad de organismos que realimenta la productividad de las plantas, se asume que el proceso de mineralización es el que gobierna el ciclo de nutrientes y está determinado por los factores abióticos del suelo tales como temperatura, humedad, pH y aireación, entre otros (Scheu, 2005). El suelo es de este modo, la más importante interfase en el ecosistema, es el organizador central del ecosistema terrestre y sus procesos físicos, químicos y biológicos tienen fuerte impacto sobre la productividad del ecosistema, servicios, integridad y bienestar humano. Para mejorar nuestro conocimiento científico de los recursos del suelo y su aplicación para remediación y manejo, es de gran importancia e interés estudiar la organización y función del suelo a través de aproximaciones interactivas (Huang, 2008) como la relación suelo-planta.

En este estudio se analizó la relación suelo-planta de los tres dominantes ecológicos que se desarrollan bajo las mismas condiciones macroambientales de tres coberturas vegetales, con el fin de explicar si hay diferencia entre los procesos asociados a estas especies con relación a la descomposición del mantillo y reincorporación de nutrientes para comprender su función dentro del ecosistema, en virtud de que no existen trabajos de esta naturaleza en los bosques tropicales subcaducifolios, templados y mesófilo de montaña del país.

II ANTECEDENTES

2.1 El suelo en el ecosistema

El suelo es un recurso natural no renovable que forma la interfase entre la hidrósfera, atmósfera y litósfera, está habitado por organismos y es la base de la vida humana al regular el material natural y los flujos de energía. El suelo no solo controla muchos de estos procesos, sino que está sujeto a influencias de las actividades humanas, así como de los otros componentes bióticos y abióticos. Esto hace que los suelos nunca permanezcan estáticos y más bien están continuamente cambiando en estructura y en los procesos dinámicos internos (Mayer, 2005). Este recurso natural es el sistema clave para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, dado que cumple con importantes funciones como: promover el crecimiento de las plantas, reciclar carbohidratos y nutrientes por medio de la mineralización, transferir energía en la cadena alimenticia detritívora, actuar como un buffer ambiental, recibe, almacena y libera agua (Larson y Pierce, 1991), además de ser el hábitat de una vasta diversidad de organismos y por ello, un reservorio de genes en su mayor parte desconocidos (Morrás 2008); de estas funciones se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana.

En el ecosistema el suelo promueve el crecimiento de las plantas, es el medio de desarrollo de la raíz de las plantas y con excepción del C, H, O y algo de nitrógeno, las plantas dependen del suelo para adquirir los demás nutrientes esenciales y el agua. Hasta hace poco solo las propiedades físicas y químicas del suelo se consideraron importantes para el sostenimiento de la fertilidad del suelo, sin embargo, hoy se reconoce la interdependencia de las actividades biológicas con las características físicas y químicas del suelo en el mantenimiento de su fertilidad (Manlay *et al.*, 2007). La cantidad y calidad de la materia orgánica (MOS) determina la diversidad microbiológica, añade fertilidad al suelo, retiene agua y tiene una gran influencia sobre el crecimiento de la vegetación. El agua y el suministro de nutrientes por el suelo, particularmente N y P, determinan el crecimiento de las plantas en los ecosistemas naturales y agroecosistemas, desde luego la vegetación influye en las comunidades microbianas y las propiedades del suelo (Orwin y Wardale 2005). Existe pues una realimentación positiva entre el suelo y la vegetación para el mantenimiento de la productividad.

Además, el suelo es el hábitat de una vasta diversidad de organismos y por ello un reservorio de genes. Las comunidades del suelo están entre los componentes de mayor riqueza de especies de los ecosistemas terrestres (Wolters 1997), que aunada a la falta de información taxonómica, ha dado como resultado que ningún hábitat o región cuente con un inventario completo de la biota del suelo (Lee, 1991); la comprensión de las comunidades microbianas, fauna del suelo y sus diversidad está muy limitada (Fitter *et al.*, 2005). Sin embargo, esta biodiversidad del suelo es la responsable de funciones ecosistémicas como: mineralización de nutrientes, ciclo de nutrientes, productividad, transferencia de energía entre niveles tróficos en la cadena detritívora. También tiene incidencia directa sobre la estabilidad del ecosistema (resistencia y resiliencia) y sobre la composición y estabilidad de la comunidad biótica que vive sobre la superficie del suelo (Jones y Bradford, 2001).

En el ecosistema el suelo recicla carbohidratos y nutrientes por medio de la mineralización. Los ciclos anuales de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y de la mayoría de los nutrientes esenciales tienen lugar por los microorganismos en los primeros 10 cm del perfil de suelo (Murphy *et al.*, 2007), la magnitud y naturaleza química de estos ciclos está controlada por los organismos del suelo. Los microorganismos del mismo también inmovilizan cantidades significativas de estos nutrientes dentro de sus células. La masa total de microorganismos vivos (biomasa microbiana) también tiene un papel central como fuente de nutrientes, en el decaimiento y regulación de las transformaciones de energía y nutrientes en el suelo. La vasta diversidad de especies microbianas y su habilidad para romper una amplia gama de enlaces químicos, de manera que ellos son responsables de muchas funciones y procesos que median las transformaciones químicas asociados con el ciclamiento de nutrientes en el suelo incluyendo: a) Suministro de nutrientes a través de la mineralización de la materia orgánica y solubilización de minerales, solubilización del fósforo y del hierro, b) Transformación de nutrientes por la oxidación del metano, nitrificación, fijación simbiótica y no simbiótica del N₂ y oxidación del azufre y c) Pérdida de nutrientes por la producción de CO₂, producción de metano, desnitrificación y reducción de sulfatos (Murphy *et al.*, 2007). Todos estos procesos realizados por los microorganismos del suelo influyen en el crecimiento de las plantas.

También el suelo en todos los ecosistemas transfiere energía a través de la cadena alimenticia detritívora. En el suelo la estructura de la cadena alimenticia básica es similar a otras cadenas alimenticias por contener productores primarios, consumidores y detritívoros. En contraste a otras cadenas alimenticias, las cadenas alimenticias en el suelo tienden a ser largas, en las que participan omnívoros y por ello tienen gran complejidad. La energía y nutrientes obtenidos por las plantas eventualmente son incorporados al detritus que proporcionan la base de recursos de una compleja cadena alimenticia en el suelo. Las raíces de las plantas, por ejemplo, exudan aminoácidos y azúcares que sirven como una fuente de alimento para los microorganismos (Curl y Truelove, 1986). La micro y la mesofauna están aglutinados espacialmente y probablemente indican la distribución favorable de recursos, tal como raíces de plantas y detritus orgánicos (Griffiths, 1994).

Tres rutas de la energía existen en el suelo: las raíces, bacterias y hongos (Moore *et al.*, 1988). La ruta de las raíces incluye herbívoros primarios como hongos patógenos, bacterias, nematodos, protozoarios y sus consumidores. La ruta de las bacterias incluye bacterias saprofitas y patogénicas y sus respectivos consumidores (protozoarios y nematodos). La ruta de los hongos incluye saprofitos, hongos patógenos y micorrízicos y sus respectivos consumidores (nematodos que se alimentan de hongos y ácaros). Las tres rutas se unen a los niveles superiores de la cadena alimenticia, es decir a los omnívoros y predadores. Muchos microartrópodos y nemátodos son omnívoros y se alimentan de una variedad de fuentes de alimento como algas, hongos, bacterias, pequeños rotíferos y pequeños nematodos y muchos predadores son consumidores secundarios, terciarios o cuaternarios entre los que se incluyen nematodos, escarabajos, larvas, ciempiés, arañas y ácaros. Todos estos omnívoros y predadores pueden ser consumidos por predadores mayores que retornan a la comunidad biótica que vive sobre la superficie de la tierra parte de la energía aportada al suelo a través de la hojarasca y el detritus (Yeates y Wardle, 1996).

El suelo recibe, almacena y libera agua. El agua en el suelo puede tener impactos positivos y negativos en los microorganismos, plantas y en los procesos físicos, químicos y biológicos asociados con el establecimiento y desarrollo de la biota en el suelo. Dadas las funciones que tienen los microorganismos en el suelo, ante un exceso de humedad, no sería posible su acción de mineralización y liberación de nutrimentos (Sommers *et al.*, 1981), la formación de una estructura grumosa que favorece la infiltración y el intercambio gaseoso (Beare, 1997), se desarrollan enfermedades fungosas (Griffin, 1981), el suelo se hace anaeróbico dominando la producción de metano y de amonio que se volatiliza (Sommers *et al.*, 1981). Por el contrario en suelos muy secos, tampoco es posible la mineralización de nutrimentos de la materia orgánica, su inmovilización y desde luego su liberación de los minerales del suelo. Ninguna de las dos condiciones extremas es adecuada para el establecimiento, desarrollo y productividad del ecosistema.

También el suelo actúa como un amortiguador ambiental en la formación, atenuación y degradación de compuestos genotóxicos y naturales al servir como filtro a través de su matriz porosa reteniendo en los materiales coloidales orgánicos y minerales fertilizantes, pesticidas y en general todo tipo de agroquímicos evitando la contaminación del agua superficial y freática. Estos contaminantes pueden transformarse, polimerizarse o quedar incorporados al humus del suelo vía acción de las enzimas de los microorganismos (Bollag *et al.*, 1992). La propia capacidad de intercambio de cationes es también un poder regulador de la disponibilidad de nutrimentos para la biota, amortigua los cambios de pH, la lixiviación de nutrimentos y la permanencia en la solución del suelo de elementos tóxicos.

En los ecosistemas naturales no alterados la fertilidad del suelo depende de diferentes almacenes de nutrimentos entre ellos están la biomasa microbiana (Ladd y Foster 1988), los patrones de biodiversidad afectan las propiedades del suelo (Fu *et al.*, 2004), de los almacenes orgánicos de las plantas y de la materia orgánica aportada al suelo (Wang *et al.*, 2004). Por otra parte, es muy conocido y aceptado que la fertilidad del suelo en los ecosistemas agrícolas usualmente depende de la efectividad de los ciclos de nutrimentos dentro de los almacenes presentes en los ecosistemas naturales aledaños. También se sobreentiende que la biomasa microbiana es la fuerza impulsora de la transformación de la materia orgánica y de los ciclos de los nutrimentos en el subsistema suelo. He *et al.* (1997) puntualizaron que en suelos muy intemperizados, la liberación de nutrimentos para las plantas por el intemperismo de los materiales geológicos esta muy limitado y los procesos biológicos juegan un papel clave en la sustentabilidad de su fertilidad.

Con base en lo anterior debe quedar claro que el suelo en el ecosistema es el organizador central y sus procesos físicos químicos y biológicos, tienen un impacto determinante en la productividad, en su propia integridad y en los servicios ambientales que proporciona para el bienestar humano. A pesar de que, el suelo por su origen es un recurso natural intrínsecamente heterogéneo en tiempo y espacio.

2.2 Heterogeneidad del ambiente edáfico

La heterogeneidad espacial puede ser definida como la variabilidad espacialmente estructurada de una característica ecológica que puede ser una variable dependiente o explicativa, categórica o cuantitativa (Wagner y Fortín 2005). La heterogeneidad espacial es fundamental para la estructura y dinámica de los ecosistemas (Levin, 1992). La teoría de la coexistencia y la teoría de la heterogeneidad espacial postulan que en paisajes con gran heterogeneidad en el ambiente, especialmente en un recurso, pueden convivir más especies vegetales. Esta hipótesis conduce a la noción que la diversidad de especies está positivamente relacionada con la heterogeneidad espacial en condiciones extrínsecas como la variación de las propiedades del suelo y su aspecto (Kumar *et al.*, 2006). Sin embargo, ésta hipótesis de la heterogeneidad espacial contradice la hipótesis de las condiciones favorables (Davies *et al.*, 2005) y ha sido cuestionada por muchos ecólogos quienes sugieren que la heterogeneidad no tiene efectos positivos sobre la diversidad de las especies vegetales (Reynolds *et al.*, 2007). Por el contrario, la hipótesis de las condiciones favorables considera que altos niveles de recursos puede sostener más especies (Hawkins *et al.*, 2003).

Múltiples procesos, entre ellos, la competencia, predación, perturbación y heterogeneidad de recursos, han sido, propuestos para explicar la alta diversidad de especies en los ecosistemas, esencialmente en los tropicales. Sin embargo, los factores abióticos son menos apreciados entre los mecanismos que interactúan con los factores bióticos para determinar las dinámicas poblacionales y distribuciones. No obstante, la diversidad total de un área es una consecuencia de interdependencias de los componentes bióticos y abióticos, es decir, de la diversidad y geodiversidad respectivamente. Así la diversidad no solo depende de la diversidad de especies sino también de los factores abióticos como el clima y el suelo (Musila *et al.*, 2005).

Muchos suelos no perturbados hoy en día, son un reflejo del material parental e historia geológica y contribuyen a los hábitats que son altamente heterogéneos a escalas espaciales grandes y pequeñas a través del paisaje. En los ecosistemas donde las plantas están ausentes (por ejemplo en desiertos calientes hiperáridos y el desierto polar frío de los valles de la Antártida), los suelos permanecen relativamente invariables por siglos bajo el legado de los patrones geoquímicos. Estos desiertos tienen extremadamente poca agua entre 10 y menos de 25 mm de precipitación promedio anual, bajo contenido de materia orgánica y carbono en el suelo, alta salinidad y elevado pH (Barrett *et al.*, 2004). Sin embargo, hay alta variabilidad espacial debida a la composición química del suelo (por ejemplo C, N, P, materia orgánica, pH, salinidad) y factores físicos (estructura, textura, tipo de suelo, espacio poroso, densidad aparente) que se combinan en variadas proporciones para formar numerosos hábitats para organismos, los cuales varían desde apropiados a pobres (Barrett *et al.*, 2004). La heterogeneidad geoquímica de los suelos afecta la abundancia de hábitats apropiados para la vida. Los organismos bien sean microorganismos, plantas o invertebrados, están limitados por la disponibilidad de los recursos del suelo a escalas de centímetros o kilómetros (Warren-Rhodes *et al.*, 2006).

Por lo anteriormente dicho, los recursos del suelo que son requeridos por las plantas para el crecimiento están heterogéneamente distribuidos en una variedad de

escalas en el tiempo y espacio (Cain *et al.*, 1999). Esta es una característica general de los ecosistemas naturales con significativas consecuencias ecológicas (Wilson, 2000). De este modo, si se considera el caso donde los recursos del suelo están localizados en algunos puntos más que en otros, que es la condición más frecuente en la naturaleza, dadas las diferencias en el relieve y microrrelieve, y si en un principio todas las plantas tienen la misma oportunidad y se desarrollan bajo el mismo ambiente general, las plantas que indudablemente alcancen primero áreas ricas en recursos podrán potencialmente dominar por incrementar su absorción de nutrientes (Hutchings y Wijesinghe, 1997). Esta absorción puede estar acompañada por incrementos en el crecimiento y renovación radical (Einsmann *et al.*, 1999) o por cambios en la arquitectura de la raíz (Fitter y Strickland, 1991), resultando en incrementos de la cinética de absorción (Robinson, 1994). Los árboles más exitosos en la absorción podrán obtener más recursos y por ende tienen ventaja.

Otros estudios mostraron que el patrón de provisión de recursos basados en el suelo puede afectar significativamente el funcionamiento de plantas individuales y de poblaciones completas. El crecimiento de las plantas individuales puede incrementarse hasta cuatro veces promovido por el patrón diferente del suministro de nutrientes (Einsmann *et al.*, 1999) y el rendimiento de los monocultivos hasta un 40%, dependiendo del patrón espacial en el cual una cantidad determinada de nutrientes es suministrada (Day *et al.*, 2003a).

Las respuestas al patrón espacial de liberación de nutrientes dependen de la especie y del patrón específico (Wijesinghe *et al.*, 2001). Las raíces de muchas especies vegetales proliferan en pequeñas áreas ricas en nutrientes (Robinson, 1994), sin embargo, las especies difieren en su habilidad para seleccionar las áreas ricas en nutrientes y en la velocidad con la cual ellas pueden tomarlos cuando están disponibles (Farley y Fitter, 1999; Robinson *et al.*, 1999; Wijesinghe *et al.*, 2001). La rápida colonización de un área rica en nutrientes puede permitir a la planta tomar primero los nutrientes que un competidor (Robinson *et al.* 1999). Basados en este principio, no es sorprendente que la heterogeneidad en el suministro de recursos pueda alterar las jerarquías competitivas entre las especies (Fransen *et al.*, 1999; Novoplansky y Goldberg, 2001), e incrementa la intensidad de competencia experimentada por las plantas (Day *et al.*, 2003b).

Además de la heterogeneidad edáfica y el patrón de provisión de los nutrientes en el suelo; también en los ecosistemas naturales se presentan a lo largo de un gradiente altitudinal, cambios en las propiedades del suelo y en su fertilidad, se ha observado que al incrementarse la altitud aumenta de la cantidad de materia orgánica (Grieve *et al.*, 1990) y la relación C/N (Schrumpf *et al.*, 2001), consecuentemente las tasas de mineralización y nitrificación decrecen con la altitud (Marrs *et al.*, 1988). Con base en lo anterior, este recurso natural presenta una variabilidad espacial en la disponibilidad de los recursos agua y nutrientes (Fu *et al.*, 2000).

Por otra parte, numerosas investigaciones han propuesto una correlación positiva entre la variabilidad ambiental y la riqueza de especies (Ettema y Wardle, 2002). En las comunidades de plantas esta correlación puede ser explicada, al menos parcialmente, por la variación de los recursos en el suelo. La variación en los recursos del suelo a escala individual es válida para efecto de la distribución local y abundancia de las especies de plantas y el funcionamiento de organismos

individuales, y por lo tanto, tiene consecuencias importantes para la estructura de la comunidad y los procesos a nivel de ecosistemas (Schlesinger *et al.*, 1990).

Cambios en la magnitud y escala espacial de dependencia en los nutrientes del suelo pueden reflejar diferencias en la cobertura, composición o tamaño de las plantas (Gross *et al.*, 1995). Estas desigualdades también pueden explicarse en parte por la respuesta de cada especie vegetal a ese patrón de provisión de recursos y la habilidad intrínseca de cada una de ellas para competir por ellos.

2.3 Relación suelo-planta

El suelo puede ser un indicador de las causas de las diferencias en el tipo y distribución de la vegetación en un ecosistema dado, debido a sus características físicas y químicas asociadas con ciertos tipos de vegetación, exceptuando cambios temporales o locales del suelo, la distribución de esas propiedades es similar a la distribución de la vegetación (Escamilla, 1999). En el nivel ecosistémico, las propiedades de los sistemas dependen en gran medida de la biodiversidad, dadas las características funcionales, distribución y abundancia de los organismos presentes en el tiempo y el espacio (Hooper *et al.*, 2005).

Dentro del ambiente edáfico, los procesos físicos, químicos y biológicos no son independientes sino interactivos, los procesos biológicos son extremadamente diversos y complejos (Lavelle y Spain, 2001), la misma situación se presenta para los procesos físicos y químicos, de manera que la interacción entre ellos genera una mayor complejidad. El suelo es pues un complejo interactivo de reactores biogeoquímicos y reservorios de los mismos.

Para mejorar nuestro conocimiento científico sobre los recursos del suelo y su aplicación a la remediación y manejo a largo plazo, es de mayor importancia e interés estudiar la organización y función del suelo a través de aproximaciones interactivas. El estudio de las interacciones físicas, químicas y biológicas del suelo, ha sido considerado a diferentes escalas, desde el nivel molecular hasta sistemas paisajísticos y su aproximación es esencial para impulsar investigaciones posteriores a fin de comprender las dinámicas y mecanismos de los procesos del suelo. Una alternativa es el estudio de la interacción suelo-planta lo cual permitirá comprender su impacto ecológico pues esta interacción puede ser una retroalimentación positiva o negativa (Baver, 2003).

La realimentación suelo-planta negativa es definida como la condición negativa para el establecimiento, crecimiento y reproducción de plantas inducidas por las plantas mismas. Los mecanismos propuestos para explicarla incluyen disminución de nutrientes en el suelo (Ehrenfeld *et al.*, 2005), desarrollo de poblaciones de patógenos, el reemplazo de la composición de la comunidad de microorganismos del suelo, liberación de compuestos alelopáticos durante la descomposición de la materia orgánica que causa fitotoxicidad (Bonanomi *et al.*, 2006).

La realimentación positiva suelo-planta es definida como la condición positiva para el establecimiento, crecimiento y reproducción de plantas inducidas por las plantas mismas. Por ejemplo, árboles y arbustos con sistemas radicales extensos capturan nutrientes de los alrededores, conduciendo el ciclamiento local de

nutrimentos y acumulación de materia orgánica (Schlesinger *et al.*, 1996). Esto conduce a una distribución local de los nutrientes bajo el dosel llamada islas de fertilidad (Schlesinger *et al.*, 1990), que afecta positivamente el desarrollo de las especies (Rietkerk *et al.*, 2004). Lo cual demuestra los efectos positivos sobre otras especies (Callaway, 1995), y la progenie de las especies mismas (Wied y Galen, 1997).

La heterogeneidad espacial en las propiedades del suelo explica una parte de las diferencias en la diversidad de la vegetación en un ecosistema. A la inversa, la diversidad y distribución de árboles en un ecosistema natural influencia los procesos de lavado, condiciones de luz bajo el árbol, de agua y nutrientes aportados al suelo, es decir, hay una interacción suelo-planta y planta-suelo. La influencia de los árboles causa variabilidad espacial en muchas propiedades del suelo, esta variabilidad determina en su conjunto las condiciones bajo las cuales una plántula podría establecerse. Cambios en el establecimiento de plántulas pueden conducir a cambios en la composición de especies de árboles en el ecosistema.

Esta bien documentado que la persistencia a largo plazo de una especie dentro de condiciones particulares del suelo, conlleva un rango de características, así, cada especie vegetal tiene diferente influencia y se impone en función de su importancia ecológica en la comunidad vegetal, de manera que las especies ecológicamente dominantes en la comunidad vegetal, tienen fuerte influencia en las propiedades físicas, químicas y en las comunidades microbianas del suelo (Johnson *et al.*, 2003), así como en los procesos ecosistémicos fundamentales (Hooper *et al.*, 2005).

También cada especie vegetal aporta cantidades variables de hojarasca e incorpora a su tejido cantidades distintas de los nutrientes, mismos que son retornados al ambiente edáfico a través de la mineralización del mantillo aportado (Madritch y Cardinale, 2007), de este modo las especies vegetales tienen efectos significativos en los procesos ecosistémicos como: ciclo de nutrientes, descomposición del mantillo, formación de suelo, tasas de mineralización neta del N y tamaño y distribución de los almacenes de C y N en el piso forestal (Smolander y Kitunen, 2002); e inducen cambios persistentes en el tiempo que son determinantes en la estructura y función de los ecosistemas (Madritch y Hunter, 2002).

La manera en como los árboles influyen las propiedades del suelo se explican porque cada uno tiene diferente demanda de agua, nutrientes o por aportar diferente cantidad de MO, con calidad distinta y a una velocidad distinta (Hooper *et al.*, 2000). Además, determinan las comunidades bióticas en el suelo a través del flujo de energía por las dos vías: mantillo y secreciones radicales (Azcón-Aguilar *et al.*, 2003). Algunas veces cambios en las propiedades del suelo afectan la composición y crecimiento de las plantas generando retroalimentación positiva (Morehead *et al.*, 1998). Por otro lado, las plantas pueden afectar las propiedades del suelo en rutas que pueden parecer sutiles, pero pueden ser también evidentes para otros organismos (Bais *et al.*, 2004). Esta compleja red de interacciones dificulta la interpretación de las relaciones suelo-planta.

A pesar de la variabilidad intrínseca en las propiedades del suelo y de la complejidad de las interacciones suelo-planta, los efectos de las plantas sobre los suelos juega un importante papel en la dinámica de las poblaciones, comunidades y ecosistemas (Maestre, 2003). Así, plantas aisladas actúan como obstáculos para los excedentes de agua, transporte de materia orgánica, nutrientes y sedimentos (Greene *et al.*, 2001). No es sorprendente que árboles individuales y manchones (parches) de vegetación tengan altas tasas de infiltración, mejoren la estructura del suelo y contenido de nutrientes y alta actividad biológica que crean islas de fertilidad (Whitford, 2002). La materia orgánica total y la circulación de nutrientes en el suelo, están fuertemente influenciados por los patrones espaciales en la composición de las especies vegetales (Vinton y Burke, 1997). Cabe señalar que la alteración de las plantas, condiciones microclimáticas y suelo, pueden afectar otros organismos al grado de controlar la composición y función de los ecosistema entero. Indefinidamente estas interacciones son cruciales para el entendimiento y para el manejo de ecosistemas.

En la interacción suelo-planta, el sistema radical es el órgano fundamental, por representar la interfase (Escamilla *et al.*, 2005). En un ambiente tan heterogéneo física, química y biológicamente como es el suelo, el sistema radical de la planta debe cumplir con sus funciones de soporte y absorción de los recursos requeridos por la parte aérea. Así, el sistema radical de las plantas es muy diferente inter e intraespecíficamente, variabilidad inducida por la heterogeneidad edáfica, pues la raíz debe abrirse paso entre los coloides minerales del suelo, de humus, arena y entre condiciones muy variables de temperatura, humedad, nutrientes, porosidad y aireación del suelo. Profundicemos en estos aspectos a fin de comprender la relación suelo-planta, pues no se debe olvidar que la raíz no solo absorbe del suelo, también exudan aminoácidos y azúcares que sirven como una fuente de alimento para microorganismos (Curl y Truelove, 1986), mejora la estructura del suelo, abre el drenaje y modifica el pH de su entorno.

2.4 La raíz como órgano de interfase suelo-planta

La raíz influye al suelo y este a la raíz, esta interacción entre el suelo y la raíz ha conducido a que la morfología de la misma (longitud, diámetro y número de ápices) y arquitectura de la raíz (patrón de ramificación) sean determinantes importantes de captura de agua y nutrientes por las plantas (Jungk, 2002), para adaptarse a diferentes hábitats y para sobrevivir en una comunidad vegetal, las especies han evolucionado con diferentes fenologías y patrones radicales para adquirir los recursos necesarios del suelo. La morfología del sistema radical y la distribución de las raíces finas se consideran como los factores clave que determinan la magnitud de la competencia interespecífica subterránea en los sistemas **intercropping** (Hauggaard-Nielsen, 2001).

Hay muchas maneras por las cuales las plantas pueden afectar los suelos. Esto puede ser modificando directamente las propiedades del suelo por ejemplo: a través de las entradas de materia orgánica y nutrientes e indirectamente afectando las condiciones abióticas y bióticas que influyen las propiedades del suelo (Cortina y Maestre, 2005). Por esta razón el entendimiento de la relación suelo-planta permite comprender el ecosistema por las implicaciones que tiene esta relación dentro de él.

Como la relación suelo-planta se centra en la productividad del ecosistema y su relación con el suelo (Escamilla, *et al.*, 2005), la interfase más importante es el sistema radical como órgano que mantiene el crecimiento foliar ya que tiene como función principal absorber agua y nutrientes del suelo (Escamilla, 1999). La interfase suelo-raíz es el sitio de entrada de los nutrientes minerales dentro del sistema vivo. Los flujos de nutrientes a través de esta interfase dependen de las interacciones entre el suelo y las características de las plantas, específicamente de la habilidad de las raíces que varía de una especie a otra y de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Jungk, 2002). El impacto de las raíces en la evolución de los suelos es enorme, desde los efectos físicos, como la fracturación de la roca, la unión de partículas sueltas y la introducción de grandes cantidades de material orgánico, combinado con las consecuencias químicas al activar la bomba de solutos a través del sistema radical.

Uno de los fenómenos más sobresalientes del Devoniano tardío es la independencia pero a su vez concurrente evolución de los grandes árboles de varios grupos de plantas. Este fenómeno pudo de hecho, ser causado por la retroalimentación positiva entre el suelo y planta, mediado por las raíces. En esencia, la idea está basada en la observación que las grandes plantas generalmente requieren suelos estables y profundos. Bajo estas circunstancias, el incremento en el tamaño en las plantas fue lo que llevo al incremento en la calidad y profundidad del suelo (Kenrick, 2002). Es claro que las raíces y el suelo han coevolucionado, para dar como resultado la congregación de varios componentes individuales que en conjunto constituyen la mitad funcional de las plantas, el sistema radical (Waisel y Eshel, 2002).

Las raíces constituyen el sistema de fijación para los árboles y efectúan las funciones vitales de adquisición de recursos del suelo principalmente agua e iones en el caso de las raíces finas (Baker *et al.*, 2001) y anclaje, función que principalmente cumplen las raíces gruesas. Sin embargo, este órgano tiene funciones como el almacenamiento, síntesis de reguladores del crecimiento y propagación entre otras (Fitter, 2002). Las raíces finas representan entre el 90 y 95% de la longitud total del sistema radical (Nambiar, 1990) y por lo tanto constituyen la superficie de contacto con el suelo. Aun cuando las raíces de los árboles presentan una intergradación continua de características morfológicas y funcionales, cualquier clasificación basada en el tamaño es arbitraria (Gaitán *et al.*, 2005)

La sobrevivencia y productividad de las plantas depende estrictamente de la capacidad de adaptarse a diferentes ambientes. Esta adaptación es el resultado de la interacción de las raíces con los componentes bióticos y abióticos que hacen posible el cumplimiento eficiente de sus funciones. Para lograr este fin, las plantas ajustan la proliferación, la estructura y la fisiología de sus raíces en respuesta a disponibilidad de recursos, así como a la presencia de otras raíces, de este modo, las raíces de las plantas proliferan preferencialmente en áreas ricas en nutrientes (Gersani *et al.*, 2001)

A través de su historia evolutiva las plantas terrestres han desarrollado sofisticados mecanismos para la adquisición y forraje debido a la competencia. Cuando la disponibilidad de nutrientes es baja, la principal competencia se da bajo el suelo y muchas plantas cambian la relación tallo/raíz (Aphalo *et al.*, 1999). La asignación de la biomasa es por lo tanto un indicador importante de interacciones

competitivas entre las plantas. Además, algunos investigadores han indicado que el tamaño del sistema radical está asociado positivamente a la capacidad competitiva bajo el suelo (Wang *et al.*, 2008).

Las plantas pueden incrementar la captura de recursos en ambientes heterogéneos realizando ajustes morfológicos del sistema radical (Hodge, 2004). En relación a la heterogeneidad de recursos en el suelo, las raíces varían mucho en su morfología, longevidad, actividad e influencia en el suelo, lo cual produce diferencias fisiológicas, ambientales y genéticas (Badalucco y Kuikman, 2002), que a su vez tiene diversas implicaciones ecológicas. Si hay compensaciones entre rasgos, entonces diversas especies se puede favorecer en distintos ambientes edáficos heterogéneos y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo podía potencialmente facilitar la coexistencia de las especies. Alternativamente, si hay relaciones positivas entre estos rasgos, la heterogeneidad en la disponibilidad de nutrimentos del suelo promueve la competencia bajo el suelo (James *et al.*, 2008), obteniendo como resultado, a la interfase suelo-raíz constitutivamente muy variable, ya que las raíces de la planta son extremadamente dinámicas en el tiempo y el espacio (Badalucco y Kuikman, 2002).

La distribución heterogénea de nutrimentos induce cambios en la morfología y arquitectura del sistema radical en parches ricos de nutrimentos, donde son más abundantes las raíces laterales y finas (Ma y Rengel, 2008). Las raíces finas juegan un papel importante en los sistemas forestales, sin embargo se ven afectadas en su crecimiento y distribución vertical por la fuerza del suelo, textura, disponibilidad de recursos, variables abióticas entre otros factores (Zhou y Shangguan, 2007). Muchos estudios han demostrado que la masa y la distribución de raíces en el perfil del suelo están muy relacionadas con la disponibilidad de los recursos, puesto que este es el órgano especializado para absorberlos (López *et al.*, 2001). Con base en lo anterior, se hace necesario tener una mejor comprensión de la distribución vertical del sistema radical, en función de las características y disponibilidad de recursos en el perfil del suelo.

2.5 Tipos de raíces

Los sistemas radicales están formados generalmente por una raíz primaria principal y unas raíces secundarias. La raíz primaria se origina de un embrión. Las ramificaciones de la raíz primaria (pivotante) son fibrosas se conocen con el nombre de raíces secundarias. El sistema radical primario de muchas plantas dispone de una vida muy corta, pues al poco tiempo se transforma en un sistema radical adventicio. Estos sistemas radicales se desarrollan a su vez para formar raíces permanentes de muchas planta monocotiledóneas, como es el caso de las gramíneas.

Las raíces primarias o pivotantes, son raíces primarias prominentes de las que surgen todas las raíces secundarias o laterales. Pueden fraccionarse, hacerse más carnosas y a menudo, penetrar profundamente en el suelo. Muchas herbáceas perennes como *Daucus carota*, *Taxaracum officinale* y algunos árboles como los *Quercus* spp y los *Citrus* spp presentan este tipo de raíces.

Las raíces fasciculadas o fibrosas no poseen una raíz primaria están formadas por un gran número de raíces del mismo grosor y tamaño originadas en la base del tallo. Las raíces fibrosas, a menudo, se extienden cerca de la superficie del suelo en

vez de penetrar directamente en el interior del mismo. Las gramíneas, la mayoría de las plantas anuales y algunos arbustos disponen de estas raíces fibrosas. Las raíces carnosas son reservas de alimentos donde se acumulan abundantes nutrientes potencialmente benéficos en el invierno y periodos adversos, necesarios para que la planta pueda continuar con su crecimiento.

Las raíces adventicias se encuentran expuestas libremente en muchas plantas terrestres y acuáticas cuando la atmósfera es favorable y húmeda, estas raíces son capaces de trepar, como es el caso de los *Philodendron* spp y adherirse a un hospedero. Las raíces de epifitas no solamente se adhieren, sino también absorben vapor de agua del aire. Muchas raíces aéreas son carnosas o semicarnosas desempeñando el papel de reservorios de agua (Parker, 2000).

Por otra parte, los estudios que han examinado los sistemas radicales no se han orientado a comprender la estructura filogenética explícita (Eissenstat *et al.*, 2000). Los sistemas radicales difieren en: arquitectura o topología, la configuración espacial y patrón de ramificación, mismo que determina la capacidad de exploración del suelo; relaciones diámetro, densidad y longitud, características anatómicas, tales como distribución vascular y patrones de división y elongación celulares, características que determinan su capacidad para transportar agua y nutrientes (Nicotra *et al.*, 2001). Se ha encontrado que la arquitectura del sistema radical de las plantas se ramifica en ambientes secos y con baja cantidad de nutrientes, mientras que en ambientes más benignos la tendencia es hacia un patrón dicotómico (Fitter *et al.*, 1991).

La capacidad de la planta para alterar el sistema radical, así como de mantener su crecimiento y función cuando los recursos del suelo son limitantes, es un aspecto clave de la plasticidad de aclimatación individual e influencia la tolerancia ecológica de los individuos y determina la distribución de las especies en el campo (Bell y Sultan, 1999). La importancia de esta plasticidad fenotípica del sistema radical ha sido reconocida, pues el despliegue de la raíz es importante para el crecimiento de la planta, desde luego la capacidad de adquirir recursos depende de la longitud y arquitectura de la raíz en un ambiente heterogéneo como lo es el suelo (Whal *et al.*, 2001).

III JUSTIFICACIÓN.

Se han realizado trabajos donde se asocia la descripción y análisis de la vegetación con las características del suelo (Härdtle *et al.*, 2005). En México, estudios equivalentes se han realizado en las zonas semiáridas (García-Moya y McKell, 1970), en las zonas tropicales del país (Jaramillo *et al.*, 2003; Escamilla *et al.*, 2005) pero no en las templadas. En este contexto, es importante hacer notar la falta de trabajos a cerca de la interacción suelo-vegetación y suelo-planta en varias coberturas vegetales que forman parte de los ecosistemas del país. En el presente estudio se investigó la interacción suelo-planta en cinco comunidades vegetales de cada una de las coberturas vegetales bosque mesófilo de montaña, bosque tropical subcaducifolio y bosque de Pino. Los tres tipos de vegetación están bien representados en el municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca, a lo largo de un gradiente altitudinal.

IV HIPÓTESIS

La relación suelo-plata puede ser explicada a través de la morfología y la distribución del sistema radical en el perfil edáfico, así como, las concentraciones de N, P, K, S, Ca y Mg en el suelo, tejido radical y foliar.

V OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar la relación entre el suelo y tres especies vegetales dominantes en los sitios de muestreo de los tres coberturas vegetales representativos en el municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca.

5.2 Objetivos particulares

- * Realizar un análisis de la vegetación en cada sitio de muestreo a fin de conocer el valor de importancia de las especies arbóreas y arbustivas de las comunidades vegetales.
- * Caracterizar la morfología y distribución del sistema radical a lo largo del perfil de suelo.
- * Analizar la relación suelo-planta con base en la concentración en el suelo, foliar y radical de los nutrimentos N, P, K S, Ca y Mg en las tres especies vegetales dominantes por sitio de muestreo y tipo de vegetación.

VI METODOLOGÍA.

6. 1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca, El área se localiza en las coordenadas 97° 55' N, 17° 01' O. Las altitudes varían desde 750 hasta los 2000 m, en este intervalo de altitud se distribuyen el bosque de pino, selva mediana subcaducifolia y bosque mesófilo de montaña. El clima predominante es templado y cálido, con oscilación térmica de 20°C promedio anual, presenta lluvias en verano y principios de otoño (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Oaxaca. 2005). El municipio se encuentra en la Sierra Madre del Sur la cual se caracteriza geológicamente por presentar montañas formadas por rocas de diversos tipos, con predominancia de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias, tiene como basamento rocas cristalinas y metamórficas, calizas plegadas y otros sedimentos, así como lavas e intrusión. Asimismo porción del municipio forma parte de las Sierras Triqui-Mixteca, la Región Terrestre Prioritaria 126. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), estipuló que está región posee valor medio para la conservación ecosistémica y la integridad ecológica funcional, alto por la riqueza de especies y endemismos, además alberga entre otros tipos de vegetación al bosque mesófilo, bosque de pino y bosque de pino-encino antes mencionado. Es una localidad en México de la vertiente del pacífico, la única con un bosque de liquidámbar (Arriaga *et al.*, 2000).

6.2 Trabajo de campo

Muestreo y caracterización e cada sitio.

Se muestrearon cinco coberturas vegetales en cada uno de los tres principales tipos de vegetación presentes en el municipio, los sitios fueron seleccionados con base en su estado de conservación, indicado por la estructura y composición de las comunidades vegetales primarias, menor grado de perturbación antropogénica de la cubierta vegetal, integridad del perfil edáfico, indicado por la presencia del horizonte orgánico superficial típico (mantillo). La caracterización en campo consistió en la descripción ecológica del sitio, la estructura de la vegetación y la morfología del perfil edáfico.

6.2.2 Muestreo, descripción morfológica e identificación de los suelos

La apertura de perfiles, descripción morfológica y toma de muestras se efectuó con base en el manual de Cuanalo de la Cerda (1975) y NOM-021-SEMARNAT-2000; la toma de muestras se realizó por horizonte genético para la caracterización del suelo. La identificación de los suelos se realizó con base en la WRB, versión 2006.

6.2.3 Muestreo de la vegetación

En cada sitio se determino inicialmente el área mínima de acuerdo con Braun-Blanquet, in: Ramírez, 2006. Posteriormente se practicó el muestreo de la vegetación por el método de cuadrantes (Cox, 2002). Con los datos recabados se calculó la densidad, frecuencia y dominancia relativas, para finalmente obtener el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual es una medida de cuantificación para asignarle a cada especie su categoría de importancia y se obtiene al sumar la abundancia relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa (área basal). De las tres especies que resultaron con el mayor valor de importancia,

se tomaron muestras de tejido foliar y radical para su análisis posterior en el laboratorio. Ya que los nutrimentos foliares se reconocen extensamente como medida eficaz del estado nutrimental de las plantas porque las hojas son los sitios primarios de la actividad fisiológica, incluyendo la fotosíntesis, respiración, transpiración, intercambio del gas y almacenaje del alimento (Orgeas, *et al.*, 2002).

6.2.4 Muestreo de tejido foliar

Se recolectó tejido foliar de 8 a 10 árboles de cada una de las especies, para superar el factor de variabilidad de las plantas. Las muestras fueron tomadas de las ramas que se encontraron en los cuatro puntos cardinales, bien soleadas, expuestas, en la parte media de la copa del árbol y cuyas hojas estaban maduras y fisiológicamente activas. Las muestras así recolectadas se lavaron en fresco a fin de retirar el polvo adherido al material vegetal (Champman y Pratt, 1973). Finalmente, las hojas fueron colocadas dentro de una bolsa de papel de estraza previamente etiquetada.

6.2.5 Recolecta de tejido radical

Muestras del sistema radical de las tres especies dominantes de cada sitio fueron recolectadas, para ello se identificaron las raíces de los árboles y por seguimiento de la misma desde la base de la planta hasta una distancia de 1 a 1.5 m se aseguró que correspondiera a la especie o individuo en cuestión, las muestras se obtuvieron seccionando con tijeras manuales de jardinero raíces de 0.5 a 2 cm de diámetro, siguiendo las mismas recomendaciones indicadas en el muestreo de tejido foliar.

6.2.6 Muestreo de raíces

Para la descripción de la biomasa y distribución de las raíces a lo largo del perfil de suelo, se procedió a extraer un monolito de suelo (Dawson y Atkinson, 1991) de 20 x 20 cm de lado, se tomó una muestra cada 10 cm de espesor, cada muestra se colocó en bolsas de plástico y transportada a una corriente de agua en la zona (Böhm, 1979). Las raíces fueron separadas del suelo por lavado en un flujo continuo de agua utilizando un tamiz con una malla de 0.5 mm de diámetro. Las raíces quedaron retenidas en el tamiz junto con la pedregosidad de la muestra, bajo estas condiciones se colocaron en una bolsa de plástico y fueron transportadas al Laboratorio de Restauración de Suelos de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

6.3 Trabajo de laboratorio.

6.3.1 Tratamiento preliminar de las muestras de suelo

Previo al análisis físico y químico, las muestras simples de suelo de cada horizonte presente en el perfil fueron secadas, molidas y tamizadas en una malla con abertura de 2.0 mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable (NOM-021-SEMARNAT-2000).

6.3.2 Análisis de suelo

El análisis de las muestras de suelo consistió en las siguientes determinaciones utilizando los métodos convencionales que se indican:

6.3.3 Análisis físicos

Color en seco y húmedo por comparación con las cartas Munsell (Hodgson, 1987).

Textura mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos (Jackson, 1970), el cual utiliza oxalato de sodio y metasilicato de sodio como agentes dispersantes y peróxido de hidrógeno para eliminar la materia orgánica.

Retención de humedad del suelo, 40 g de las muestras secas al aire fueron saturadas y dejadas drenar libremente durante 48 horas, momento en el que se registró su peso húmedo a la capacidad de campo. Posteriormente el suelo fue secado al horno a 105°C durante 48 horas (Anderson y Ingram, 1993)

Densidad aparente por el método de la probeta, 80 mL de suelo tamizado en malla de 2.0 mm y seco al horno durante 48 horas a 105°C, fue pesado en una probeta de 100 mL (Anderson y Ingram, 1993)

Densidad real por el método del picnómetro, el volumen de 5 g de suelo seco al horno durante 48 horas a 105°C, fue medido por desplazamiento de agua (American Society of Agronomy, 1979)

6.3.4 Análisis químico

pH (en H₂O y KCl) se midió en una relación suelo-solución de 1:1. La suspensión se agitó a intervalos regulares con una varilla de vidrio durante media hora, antes de efectuar la lectura correspondiente de pH con un potenciómetro marca conductronic modelo pH120. Se utilizó H₂O destilada para determinar el pH en agua y una solución KCl 1M para el pH en KCl.

Materia orgánica (método Walkley-Black sin aporte de calor), determinada al cuantificar el carbono total del suelo por oxidación húmeda al ser acidificada con dicromato de potasio de acuerdo con la siguiente reacción $2K_2Cr_2O_7 + 3C^0 + 16H^+ \rightarrow 4Cr^{3+} + 3CO_2 + 8H_2O$. La oxidación completa del carbono se alcanzó a 150°C durante 30 min (Anderson y Ingram, 1993)

Capacidad de intercambio catiónico, Se utilizó suelo seco al aire, el complejo de cambio del suelo fue saturando con CaCl₂ 1N, pH=7.0. El Ca²⁺ retenido fue cuantificado por titulación del extracto con Ácido etilendiaminotetraácetico disódico [CH₂N(CH₂CO₂H)₂]₂, 0.02 N (Reyes, 1996).

Ca⁺² y Mg⁺² totales, suelo seco al aire fue sometido a digestión con HNO₃/HClO₄ en proporción 3:1, y cuantificados en espectrofotometría de absorción atómica (Chapman y Pratt 1973).

Potasio total (K⁺), suelo seco al aire fue sometido a digestión con HNO₃/HClO₄ en proporción 3:1, y cuantificados en espectrofotometría de absorción atómica (Chapman y Pratt 1973).

Nitrógeno total, Método semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos
Suelo seco al aire fue sometido a digestión con $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ y cuantificado por titulación con H_2SO_4 (Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas de laboratorio del fertilidad de suelos, 1993).

Azufre (SO_4^{2-}) suelo seco al aire fue sometido a digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ en proporción 3:1; y cuantificado del extracto por precipitación con BaCl_2 a 340 nm con un espectrofotómetro thermospectronic modelo 333185 (NOM-021-SEMARNAT-2000),

Fósforo disponible, fue determinado por el método de Bray y Kurtz 1 modificado (Olsen y Sommers, 1982), para ello se utilizó suelo seco al aire; la cuantificación se realizó por análisis colorimétrico utilizando un espectrofotómetro thermospectronic modelo 333185 a una longitud de onda de 882 nm.

6.4 Análisis del tejido vegetal

Después del muestreo, el material vegetal (hojas y raíces) fue sometido a las siguientes cuatro etapas preparatorias antes del análisis químico (Benton y Steyn, 1973; Cuevas y Olvera, 1991).

1. Lavado del material vegetal para remover la contaminación superficial.
2. Secado para detener las reacciones enzimáticas y preparar la muestra para la molienda.
3. Molienda mecánica para homogenizar los tejidos y reducir el material a una fineza adecuada para el análisis
4. Secado final a peso constante para obtener un valor estandarizado

El análisis de las muestras de tejido vegetal consistió en las siguientes determinaciones utilizando los métodos convencionales que se indican:

Nitrógeno total, método semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos.
El tejido vegetal fue digerido con $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ y cuantificado por titulación con H_2SO_4 (Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas de laboratorio del fertilidad de suelos, 1993).

Fósforo (PO_4^{3-}), la solubilización del P se realizó por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ en proporción 3:1. La cuantificación se realizó por análisis colorimétrico utilizando un espectrofotómetro thermospectronic modelo 333185 a una longitud de onda de 470 nm (Olsen y Sommers, 1982).

Potasio (K^+), la solubilización del K se realizó por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ en proporción 3:1 y su cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas de laboratorio del fertilidad de suelos, 1993).

Azufre (SO_4^{2-}), el tejido vegetal fue digerido con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ en proporción 3:1 y su cuantificación como sulfato se hizo por precipitación con BaCl_2 utilizando un espectrofotómetro thermospectronic modelo 333185 a una longitud de onda de 340 nm (APHA, 1989).

6.5 Biomasa y distribución de raíces en el suelo

En el laboratorio las raíces fueron separadas en cuatro grupos definidos por su diámetro 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-3.0 y mayores a 3.0 mm. Este parámetro fue medido utilizando un vernier. Para cada grupo, además del diámetro, se registraron los siguientes parámetros morfológicos (Böhm, 1979, Escamilla *et al.*, 2005).

Longitud radical (h), de cada grupo de raíces se peso 1 g y midió su longitud radical con el vernier. La longitud radical de todas las raíces de cada grupo diamétrico fue calculada utilizando la fórmula:

$$h = L1g * Mt$$

Donde:

h = longitud radical

L1 = longitud de la de raíz de tamaño promedio de cada diámetro

Mt = masa total de las raíces de cada diámetro

Área de superficie , calculada con la fórmula:

$$Ast= 2\pi rh+ 2\pi r^2$$

Donde:

Ast= área de superficie expuesta

π = 3.1416

r = radio

h = longitud radical

6.6 Trabajo de herbario

Los ejemplares recolectados se identificaron con floras, claves regionales y revisiones taxonómicas. Los especímenes se cotejaron con los depositados en herbario FEZA y MEXU.

6.7 Análisis estadístico.

Los datos cuantitativos obtenidos en las distintas variables edáficas y biológicas evaluadas se analizaron con el programa de computo Stata version 9.1 (Stata Corp.) y en caso necesario se les realizó un análisis exploratorio y confirmatorio de datos, análisis de varianza, métodos no paramétricos (Kruskal Wallis), para las variables del sistema radical y la profundidad del suelo, correlación a las variables analizadas del suelo con las del sistema radical y al contenido de nutrimentos en el suelo y en el tejido vegetal (Salgado-Ugarte 1991, Dos Santos)

VII RESULTADOS

7.1 Descripción de perfiles.

Este estudio comprendió quince puntos de muestreo, cinco en cada una de las coberturas vegetales más representativas en el municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca, el bosque mesófilo de montaña, bosque de pino y bosque tropical subcaducifolio (cuadro 1 al 15) se encontró que los suelos son profundos, tienen buen drenaje, de textura migajón arcilloso, migajón arenoso, con estructura poliédrica angular a subangular en algunos casos es pedregoso a muy pedregoso, principalmente en el bosque mesófilo de montaña y bosque tropical subcaducifolio, en todos ellos se presenta un horizonte orgánico que evita la erosión, sin embargo, este proceso si es evidente en los suelos del bosque de pino.

Perfiles de bosque tropical subcaducifolio

Cuadro 1. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 1 de suelo

Fecha de descripción y muestreo	05/05/07
Localidad	El Carrizal
Ubicación	16° 56' 21.5''
Latitud norte	97° 54' 34.9''
Longitud oeste	
Altitud (m)	830
Pendiente	18°
Exposición	Este
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca ígnea
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque tropical subcaducifolio
Suelo	Regosol háplico (endoesquelético, húmico, dístrico)



Horizonte	Profundidad (cm.)	Descripción
O	4-0	Compuesto principalmente por hojas y tallos.
A ₁	0-17	Color en seco es 10YR 4/6 (café amarillento oscuro) y en húmedo 7.5YR 3/3 (café oscuro), textura migajonosa, 20% de pedregosidad compuesto por piedras subangulares de 1 a 5 cm de diámetro, con estructura poliédrica. Poros más de 500/dm ² entre agregados y entre partículas, los macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical, la Transición al A ₂ es ondulada y se realiza en 2-5 cm.
A ₂	17-30	Color en seco 10YR 5/4 (café amarillento) y en húmedo 7.5YR 4/4 (café oscuro), textura migajón arenosa, 5% de pedregosidad, estructura poliédrica angular, los poros más de 500/dm ² están entre agregados y partículas, los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical. La transición a B es irregular en tres cm.
C ₁	30-50	Color en seco 10YR 5/6 (café amarillento) y en húmedo 7.5YR 3/4 (café oscuro), textura migajón arenosa, tiene 40% de piedras subangulares de 5-12 cm de diámetro, con estructura poliédrica subangular, poros entre agregados y partículas, más de 200/dm ² , los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical. La Transición de B a C ₁ es de 2-5 cm y límite irregular.
C ₂	50-95	Color en seco 7.5YR 6/6 (rojizo) y en húmedo 7.5YR 4/4 (café oscuro), textura migajón arenosa, con un 50% de piedras subangulares de 1 a 20 cm de diámetro, la estructura levemente desarrollada. Los poros (200/dm ²) están entre agregados y entre partículas, los macro tubulares tienen orientación oblicua y vertical. La transición a C ₂ ocurre en 2 a 5 cm.
C ₃	95-125	Color en seco 7.5YR 5/6 (café oscuro) y en húmedo 7.5YR 4/6 (café fuerte), textura migajón arenosa, con 70 % de pedregosidad, las piedras son planas largas subangulares de 1-25 cm de diámetro, estructura levemente desarrollada, con más de 200 poros/dm ² entre agregados y partículas, los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical.

Cuadro 2. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 2 de suelo

Fecha de descripción y muestreo	06/05/07
Localidad	La cotorra
Ubicación	
Latitud norte	16° 52' 14''
Longitud oeste	97° 53' 36''
Altitud (m)	819
Pendiente	35°
Exposición	Este
Drenaje superficial	Sitio normal,
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Rocas andesitas
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque tropical subcaducifolio
Suelo	Luvisol háplico (húmico, crómico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	5-0	Cubre el 80% de la superficie del suelo, está integrado por hojas, tallos, ramas y algunos fragmentos de corteza.
A ₁	10-50	Color en seco es 10YR 4/3 (café oscuro) y en húmedo 10YR 3/2 (café grisáceo muy oscuro) de textura migajón arcilloso, piedras angulares de 5 a 10 cm, presenta estructura grumosa que en seco es dura, en húmedo friable y cuando muy húmedo plástica y pegajosa, poros más de 200 entre agregados, los macroporos tubulares originados por las raíces principalmente su orientación es oblicua y vertical. Transición ondulada al A ₂ , se lleva acabo en más de 5 cm.
A ₂	28-45	Color en seco 7.5YR 5/6 (café obscuro) y en húmedo 5.0 YR 4/6 (café), textura migajón arcillosa, la estructura es poliédrica subangular que en seco es dura, en húmedo friable y cuando muy húmedo plástico y pegajoso, poros más de 200/dm ² , macro y microporos dentro y entre agregados los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical. Transición a B en más de 5 cm con límite irregular
B ₁	45-70	Color en seco 7.5YR 5/8 (café fuerte) y en húmedo 5.0 YR 4/6 (café), textura migajón arcillosa con 30 % de piedras de 1 a 5 cm y hasta 15 cm de diámetro, la estructura es poliédrica angular y consistencia en seco muy dura, en húmedo friable y cuando muy húmedo plástica y pegajosa, los poros de 50 a 200/dm ² , dentro y entre agregados, macroporos tubulares de hasta 2mm de diámetro de orientación oblicua y vertical. Transición al B ₁ irregular y se realiza entre 2 y 5cm.
B ₂	70-95	Color en seco 7.5YR 5/8 (café fuerte) y en húmedo 7.5YR 4/6 (café fuerte), textura migajón limoso con 50% de pedregosidad compuesta por piedras, de 5 a 10 cm y de hasta 15cm de diámetro, estructura poliédrica angular bien desarrollada, de consistencia cuando seca firme, en húmedo friable y cuando muy húmedo ligeramente plástica y pegajoso. Poros de 50 a 200/dm ² , los macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical de hasta 2 cm de diámetro.

Cuadro 3. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 3 de suelo

Fecha de descripción y muestreo	01/06/07
Localidad	Santiago lagunas- Charloco
Ubicación	
Latitud norte	16°59'36"
Longitud oeste	47°56'11"
Altitud (m)	750 m
Pendiente	38°
Exposición	Oeste
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca caliza
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque tropical subcaducifolio
Suelo	Regosol háplico (endoesquelético, dístico)



Horizonte.	Profundidad (cm)	Descripción.
O	5-0	Integrado por hojas, ramas y algunos fragmentos de corteza.
A ₁	0-15	El color en seco 7.5YR 7/8 (amarillo rojizo) en húmedo 7.5YR 4/6 (café fuerte). Es arcilloso, de estructura poliédrica angular fuertemente desarrollada; pedregosidad de 1 al 5 % con piedras angulares de hasta 5 cm de diámetro; la consistencia es ligeramente dura en seco, cuando húmedo es friable y cuando muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico; poros de 100 a 500/dm ² , dentro y entre agregados, los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical, originados por raíces principalmente. La transición a C ₁ horizontal de 2 cm.
C ₁	15-50	El color en seco es 10YR 7/4 (café muy pálido) en húmedo 10YR 6/6 (amarillo parduzco). Textura arcillo limosa, pedregosidad de 5 al 20 % con piedras angulares de hasta 10 cm de diámetro, estructura poliédrica angular moderadamente desarrollada; de consistencia ligeramente dura en seco, cuando húmedo es friable, mientras que cuando muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico, poros de 50 a 200/dm ² , dentro y entre agregados, los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical. La transición al C ₂ irregular de 2 a 5 cm
C ₂	50-90	El color en seco 10YR 8/6 (amarillo) en húmedo 10YR 6/6 (amarillo parduzco). Textura migajón limosa, se presentan piedras angulares de hasta 20 cm de diámetro, estructura poliédrica angular moderadamente desarrollada, consistencia en seco blanda, en húmedo firme y cuando muy húmedo plástica y pegajosa, poros de 1 a 50/dm ² dentro y entre agregados, los macroporos de hasta 2 mm de diámetro de orientación oblicua y vertical dentro y entre agregados. La transición al C ₃ es marcada y horizontal de 2 cm
C ₃	90-105	Color en seco 10YR 8/4 (café muy pálido) en húmedo 10YR 6/6 (amarillo pardo). Textura limosa, sin estructura; piedras predominantemente angulares de hasta 20 cm de diámetro, hay más de 1 a 50/dm ² macroporos son intersticiales.

Cuadro 4. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 4 de suelo

Fecha de descripción y muestreo	02/06/07
Localidad	Unión nacional, 2 Km. al sur cruzando el río grande.
Ubicación	
Latitud norte	16°59' 10" "
Longitud oeste	97° 54' 06" "
Altitud (m)	733
Pendiente	2°
Exposición	Este
Drenaje superficial	Bien drenado
Drenaje interno	Sitio receptor
Material geológico	Cantos rodados
Origen del suelo	Depósitos fluviales
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque tropical subcaducifolio
Suelo	Fluvisol úmbrico



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	2-0	El mantillo está integrado por hojas, tallos, ramas y algunos fragmentos de corteza.
A1	0-40	Color en seco 10YR 5/3 (café) en húmedo 10YR 3/2 (café grisáceo muy oscuro), no pedregoso y estructura moderadamente desarrollada de agregados irregulares, consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo friable y cuando muy húmedo plástico, poros más de 200/dm ² , los macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical, La transición a A ₂ es de 2 cm tenue y horizontal.
B1	40-65	Color en seco 10YR 5/4 (café amarillento) en húmedo 10YR 4/3 (café oscuro), textura franca y no pedregoso 5 al 20%, estructura moderadamente desarrollada de agregados irregulares, consistencia ligeramente dura en seco, cuando húmedo es friable y cuando muy húmedo plástica, poros más de 200/dm ² , dentro y entre agregados, macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical. Transición al B ₁ es de 4 cm tenue horizontal.
B2	65-85	Color en seco 10YR 5/4 (café amarillento) en húmedo 10YR 4/3 (café oscuro), textura migajón arenoso y no pedregoso y con estructura moderadamente desarrollada de agregados irregulares, consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo friable y cuando muy húmedo plástica, presenta más de 200 poros/dm ² macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical dentro y entre agregados. Transición a C de 3 cm tenue horizontal.
C	85-147	Color en seco 10YR 6/4 (café ligeramente amarillo) en húmedo 10YR 4/4 (café amarillento oscuro), textura franca, pedregosidad de 1 a 5% angulares, estructura moderadamente desarrollada de agregados irregulares, consistencia en seco blanda, cuando húmedo friable y cuando muy húmedo plástico, poros de 50 a 200/dm ² , macroporos tubulares dentro y entre agregados de orientación oblicua y vertical.

Cuadro 5. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 5 de suelo

Fecha de descripción y muestreo	29/03/08
Localidad	Nueva Tenochtitlan
Ubicación	
Latitud norte	17° 00' 53"
Longitud oeste	97° 50' 55"
Altitud (m)	823
Pendiente	8°
Exposición	Oeste
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca caliza
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque tropical subcaducifolio
Suelo	Regosol háplico (húmico,dístico, arénico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	7-0	Dividido en Ao, Aoo y Aooo, compuesto por hojas, tallos, ramas, frutos y algunos fragmentos de corteza.
A ₁	0-30	Color en seco 10YR 5/3 (café) en húmedo 10YR 4/3 (café fuerte), textura arcilla migajonosa, pedregosidad del 1 al 5 % de 5 a 10 cm de diámetro y angulares, estructura poliédrica subangular fuertemente desarrollada con consistencia en seco dura, en húmedo friable y cuando muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; los poros son más de 300/dm ² , los macroporos son tubulares de hasta 3 mm de diámetro de orientación caótica. La transición al A ₂ ondulada de 2 cm.
A ₂	31-45	Color en seco es 10YR 6/4 (café ligeramente amarillo) en húmedo 10YR 4/4 (café amarillento obscuro), textura arcilla migajonosa y del 1 al 5 % de pedregosidad, estructura poliédrica subangular, fuertemente desarrollada y consistencia dura en seco, cuando húmedo es friable y cuando muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico, poros más de 200/dm ² , dentro y entre agregados, macroporos tubulares de orientación oblicua de 3 mm de diámetro. La transición al B es mayor a 5 cm.
B	46-75	Color en seco 10YR 7/6 (amarillo) en húmedo 10YR 5/8 (café amarillento),textura migajón arenosa, piedras de 1 a 5 cm redondeadas muy intemperizadas, con estructura poliédrica angular, fuertemente desarrollada, del 1 al 5 % de pedregosidad, consistencia en seco muy dura, en húmedo firme y cuando muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica, poros de 50 a 200/dm ² , macroporos tubulares de orientación oblicua dentro de agregados. La transición a C de 2 a 5 cm con límite ondulado
C	76-84	Color en seco 10 YR 8/6 (amarillo) en húmedo 7.5 YR 7/8 amarillo rojizo, textura migajón arenoso, pedregosidad de 1 al 5 %, redondeadas muy intemperizadas, su consistencia en seco es dura, cuando húmedo firme y cuando muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico, macroporos intersticiales.

Perfiles de bosque de pino

Cuadro 6. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 6 de suelo

Fecha de descripción y muestreo	02/03/07
Localidad	A 3 Km. del Carrizal
Ubicación	
Latitud norte	16° 53' 14''
Longitud oeste	97° 53' 67''
Altitud (m)	965 m
Pendiente	18°
Exposición	Sur
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca sedimentaria.
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal.
Vegetación	Bosque de pino.
Suelo	Luvisol háplico (húmico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	2-0	Compuesto por hojas de pino y nanche, ramas, corteza y restos de frutos, con presencia de resto de material orgánico parcialmente incinerado que indican evidencias de incendio hace 2 o 3 años.
A	0-10	Color en seco 7.5YR 6/4 (café claro) y en húmedo 7.5YR 4/3 (café oscuro), textura arena migajonosa, pedregosidad de 1 al 5 % con piedras chicas, estructura moderadamente desarrollada de consistencia en húmedo friable y cuando muy húmedo no pegajosa ni plástica, macroporos. La transición al horizonte A ₂ es horizontal en 1 cm.
B	10-50	Color en seco 7.5YR 5/3 (café) y en húmedo 7.5YR 4/4 (café oscuro), textura migajón arenosa con un 10% de pedregosidad, piedras de 1 a 15 cm de diámetro, estructura poliédrica subangular de consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo no es pegajosa, ni plástica. Los macroporos son tubulares dentro de agregados. La transición al horizonte A ₃ irregular
C ₁	50-83	Color en seco 7.5YR 6/6 (rojizo) y en húmedo 7.5YR 5/6 (café oscuro), textura limosa con 15% de pedregosidad, piedras (de 1 a 5 cm), estructura poliédrica subangular. Consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo no es pegajosa ni plástica, macroporos tubulares dentro y entre agregados. La transición al horizonte B de 4 cm.
C ₂	83-106	Color en seco 7.5YR 7/6 (rojizo) en húmedo 7.5YR 5/6 (café oscuro), textura arcilla media, pedregosidad del 1 al 5%, con estructura poliédrica angular, la consistencia cuando muy húmedo es ligeramente pegajosa, microporos dentro y entre agregados, macroporos tubulares. La transición al horizonte C marcada y horizontal.
C ₃	106-126	Color en seco 7.5YR 6/6 (rojizo) en húmedo 7.5YR 5/6 (café oscuro), textura migajón arcillo arenosa, sin piedras, con estructura poliédrica angular y consistencia en húmedo ligeramente plástica, con macroporos tubulares dentro y entre agregados.

Cuadro 8. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 8 de suelo

Fecha de descripción y muestreo	20/04/2007
Localidad	Carretera Tlaxiaco-Putla km 132
Ubicación	
Latitud norte	17° 04' 00''
Longitud oeste	97° 51' 59''
Altitud (m)	986
Pendiente	8°
Exposición	Este
Drenaje superficial	Sitio normal
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Heterogeneidad en el material geológico
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal-pecuario
Vegetación	Bosque de pino-encino tropical
Suelo	Luvisol háplico (húmico, profúndico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	15-0	Está conformado por hojas, tallos, corteza y algunos residuos de frutos, se diferencia en Ao, Aoo, Aooo.
A ₁	0-15	Color en seco 7.5YR 5/3 (café) y en húmedo 7.5YR 4/3 (café oscuro), textura arcillosa con 3 % de pedregosidad, estructura fuertemente desarrollada con consistencia plástica en húmedo y cuando muy húmedo pegajosa, los macro y microporos continuos y caóticos fuera y dentro de los agregados, los macroporos son tubulares. La transición ondulada en media.
A ₂	15-40	Color en seco 7.5YR 6/4 (café claro) y en húmedo 7.5YR 5/4 (café), textura arcillosa con 5% de pedregosidad, piedras no mayores a 5 cm de diámetro, estructura moderadamente desarrollada con consistencia en seco blanda y en húmedo muy friable. Poros continuos más de 200/dm ² , de orientación caótica entre y dentro agregados, macroporos tubulares dentro de agregados. La transición a A ₃ media y ondulada.
A ₃	40-80	Color en seco 7.5YR 6/4 (café claro) y en húmedo 7.5YR 5/4 (café), textura arcillosa y 10 % de piedras de 1 a 10 cm de diámetro, estructura bien desarrollada de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo pegajosa y plástica, poros continuos más de 200/dm ² , de orientación caótica entre y dentro agregados, macroporos tubulares dentro de agregados. La transición a C ₁ tenue y ondulada.
C ₁	80-110	Color en seco 7.5YR 6/4 (café claro) y en húmedo 7.5YR 4/4 (café oscuro), textura migajón arcillo-arenosa y 40 % de pedregosidad compuesta por gravas y piedras de 5 a 10 cm de diámetro, estructura moderadamente desarrollada de consistencia ligeramente dura en húmedo y cuando muy húmeda es ligeramente pegajosa y plástica, poros continuos de 50 a 200/dm ² , dentro y fuera de agregados. La transición a C ₂ marcada y horizontal.
C ₂	110-160	Color en seco 7.5YR 6/4 (café claro) y en húmedo 7.5YR 4/4 (café oscuro), arenoso con un 60 % de piedras, estructura débilmente desarrollada de consistencia blanda en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente pegajosa y no plástica.

Cuadro 9. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 9 de suelo

Fecha de la descripción y muestreo	17/11/07
Localidad	Cerro Pájaro
Ubicación	
Latitud norte	17°07'52" N
Longitud oeste	97°52'18" W
Altitud (m)	1808
Pendiente	45°
Exposición	Sur
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca calcárea
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque de pino
Suelo	Regosol taptovítrico (arénico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	10-0	Compuesto de hojarasca, semillas, ramas, corteza, frutos y tocones
A ₁	0-50	Color en seco 10YR 4/3 (café oscuro) y en húmedo 10YR 2/2 (café muy oscuro), textura migajonosa, del 5 al 20 % con piedras de 5 a 20 cm subangulares, estructura medianamente desarrollada y consistencia dura en seco, en húmedo friable y cuando muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico, en cuanto a la porosidad presenta más de 200 micro y macroporos por dm ² tubulares de hasta 3 mm de diámetro de orientación caótica. La transición es tenue menor a 7 cm al horizonte C ₁
C ₁	50-80	Color en seco 10YR 8/2 (blanco) y en húmedo 10YR 7/4 (café muy pálido), textura arena migajonosa, pedregosidad del 5 al 20% con piedras subangulares, estructura fuertemente desarrollada de consistencia dura en seco y cuando muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico. La transición es tenue menor a 5 cm al horizonte C ₂
C ₂	81-120	Color en seco 10YR 8/2 (blanco) y en húmedo 10YR 7/4 (café muy pálido), textura migajón arcillo arenosa, pedregosidad del 50 al 75% piedras grandes sudangulares, estructura moderadamente desarrollada de consistencia dura en seco, en húmedo muy friable y cuando muy húmedo no es plástica ni pegajosa.

Cuadro 10. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 10 de suelo

Fecha de la descripción y muéstrelo	04/02/2008
Localidad	Tierra Colorada 1 Km al norte
Ubicación	
Latitud norte	17° 01' 29"
Longitud oeste	97° 57' 11"
Altitud (m)	817
Pendiente	40 °
Exposición	Sur
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Excesivamente drenado
Material geológico	Arenas cuarzosas
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque de pino
Suelo	Regosol taptovítrico (arénico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ao	15-2	Formado por hojas, ramas, tallos, fragmentos de corteza y frutos se puede identificar la especie a la que perteneció cada resto vegetal.
Aoo	2-0	Capa de materia orgánica parcialmente descompuesta y fragmentada, con un examen cuidadoso de los restos vegetales es posible identificar la especie a la que pertenecieron.
A ₁	0-30	Color en seco 10YR 8/3 (café muy pálido) y en húmedo 10YR 6/4 (café amarillento), textura arenosa, no pedregoso, estructura levemente desarrollada de forma poliédrica subangular, consistencia ligeramente dura en seco, en húmedo es muy friable y cuando muy húmedo es ligeramente pegajosa y plástica, poros más de 500/dm ² , los macroporos tubulares de orientación vertical y continuos de hasta 2 mm de diámetro. La transición es ondulada en 4 cm.
C ₁	31-45	Color en seco 10YR 8/4 (café muy pálido) y en húmedo 10YR 7/6 (amarillo), carece de estructura el material se encuentra suelto, textura arenosa, no pedregoso, se observan procesos de transición de material orgánico del horizonte A ₁ . La transición no mayor a 5 cm con limite ondulado
C ₂	46-110	Color en seco 10YR 8/4 (café muy pálido) y en húmedo 10YR 8/5 (amarillo), arenas gruesas con cierto grado de consolidación o bien se trata de rocas muy intemperizadas que hacen un moteado en el perfil o zonas en donde el drenaje es rápido donde se presentan procesos de oxidación que redundan en colores amarillentos a herrumbres entre materiales de color blancos imperfectamente drenados. La transición es horizontal de 2 cm.

Perfiles de bosque mesófilo de montaña

Cuadro 11. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 11 de suelo

Fecha de la descripción y muestreo	21/04/07
Localidad	San Isidro Paz y Progreso.
Ubicación	
Latitud norte	17° 04' 19''
Longitud oeste	97°50' 01''
Altitud (m)	1510
Pendiente	40°
Exposición	Norte
Drenaje superficial	Bueno
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca sedimentaria
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Hídrica moderada
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque Mesófilo
Suelo	Cambisol háplico (húmico, dístrico, láxico, arcílico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	10-0	De los 10 a 7 cm se reconoce el origen de la materia orgánica, de los 7 a 0 cm no es posible diferenciar las especies vegetales que dieron origen a la materia orgánica.
A ₁	0-25	Color en seco 7.5YR 5/6 (café oscuro) y en húmedo 7.5YR 3/3 (café obscuro), textura franca, no pedregoso, estructura grumosa moderadamente desarrollada de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa. Presenta más de 200 macro y microporos por dm ² son continuos, tubulares, de orientación caótica, entre agregados. La transición a A ₂ tenue y regular
A ₂	25-60	Color en seco 7.5YR 5/4 (café) y en húmedo 7.5YR 4/3 (café oscuro), textura migajón arcillo-arenosa con 5 % de piedras de 1 a 5 cm de diámetro, estructura fuertemente desarrollada de consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo friable. La transición a B es media y horizontal.
B	60-90	Color en seco es 7.5YR 6/6 (rojizo) y en húmedo 7.5YR 5/8 (café oscuro), textura arcillo arenosa, pedregosidad del 5 al 20% con piedras de 1 a 10 cm subangulares, estructura moderadamente desarrollada de consistencia ligeramente dura en seco, friable cuando húmedo y cuando muy húmedo es pegajosa, poros de 50 a 200/dm ² , microporos caóticos tubulares dentro y fuera de agregados. La transición a C moderada e irregular.
C	90-110	Color en seco 7.5YR 6/8 y en húmedo 7.5YR 5/6 (café obscuro), textura franca, pedregosidad del 20 al 50 % con grava, piedras de 1 a 5 cm subangulares la estructura esta moderadamente desarrollada, la consistencia es ligeramente dura en seco cuando húmedo friable y ligeramente pegajoso cuando muy húmedo los macro y microporos son discontinuos caóticos dentro y fuera de agregados tubulares, la transición al horizonte C es marcada horizontal.

Cuadro 12. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 12 de suelo

Fecha de la descripción y muéstrelo	04/05/07
Localidad	A 1 Km. de Gpe. Buenavista
Ubicación	
Latitud norte	17° 02' 24''
Longitud oeste	97° 48' 05''
Altitud (m)	1970
Pendiente	43°
Exposición	Este
Drenaje superficial	Sitio normal
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca andesita intemperizada in situ
Origen del suelo	Muy rápida
Permeabilidad	Sierra Madre del Sur
Región fisiográfica	imperceptible
Erosión	Forestal
Uso actual	Bosque Mesófilo
Vegetación	Cambisol háplico (húmico, dístrico, láxico, arénico)
Suelo	



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	8-0	Formado por hojas, tallos, ramas, peciolo y fragmentos de corteza.
A ₁	0-30	Color en seco 10YR 4/4 (café amarillento oscuro) y en húmedo 10YR 3/6 (café amarillento oscuro), textura migajonosa con 5 % de piedras subangulares menores de 2cm, estructura poliédrica-grumosa de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa, poros mas de 200/dm ² , macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical entre agregados. La transición a A ₂ se realiza en aproximadamente 2.5 cm es ondulada.
A ₂	30-48	Color en seco 10YR 5/4 (café amarillento) y en húmedo 10YR 3/3 (café oscuro), textura migajón arenoso con 5 % de pedregosidad piedras subangulares, estructura poliédrica subangular de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa. La transición a A ₃ de 4 cm y ondulada.
A ₃	48-60	Color en seco 10YR 6/4 (café amarillo claro) y en húmedo 10YR 4/3 (café oscuro), textura migajón arenosa con 5 % de piedras menores a 2 cm, estructura poliédrica subangular de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa, poros entre agregados y partículas, macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical. La transición a B en 3cm es ondulada.
B	60-93	Color en seco 10YR 5/6 (café amarillento) y en húmedo 10YR 4/4 (café amarillento obscuro), textura migajonosa con 10 % de piedras menores de 5 cm subangulares y angulares, estructura poliédrica subangular de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa, macro y microporos entre partículas. La transición a C ₁ irregular y se lleva a cabo entre 2-5 cm.
C ₁	93-130	Color en seco 10YR 6/6 (amarillo parduzco) y en húmedo 10YR 4/6 (café amarillento obscuro), textura migajón arenosa con un 30 % de piedras de hasta 12 cm subangulares y angulares, estructura poliédrica subangular de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa, macro y microporos están entre partículas de orientación caótica. La transición a C ₂ irregular y menor a 5 cm
C ₂	130-170	Color en seco 10YR 6/6 (amarillo parduzco) y en húmedo 10YR 4/4 (café amarillento obscuro), textura migajón arenosa con 30 % de pedregosidad, estructura poliédrica subangular de consistencia blanda en seco, friable en húmedo y cuando muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa, poros más de 200/dm ² , macroporos entre partículas de orientación caótica.

Cuadro 13. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 13 de suelo

Fecha de la descripción y muestreo	31/08/07
Ubicación	Cerro pájaro
Latitud norte	17°07' 31"
Longitud oeste	97°52' 12"
Altitud (m)	1708
Pendiente	10°
Exposición	Este
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca caliza
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque Mesófilo
Suelo	Luvisol háplico (nudiárgico)



Horizonte	Profundidad (cm.)	Descripción
O	10-0	Formado por hojas, ramas, tallos y corteza, subdividido en O ₁ materiales de especies que pueden reconocerse, el O ₂ formado de residuos orgánicos fragmentados difícilmente se reconoce la especie que les dio origen, O ₃ esta compuesto por material orgánico profundamente transformado del cual ya no es posible reconocer la especie de la que proviene.
A	0-35	Cubierto por el horizonte O en un 75% el resto por vegetación arbórea, arbustiva y herbácea, color en seco 10YR 4/2 (café grisáceo oscuro) en húmedo 10YR 3/4 (café amarillento oscuro), textura migajón arcillosa con un 7% de pedregosidad compuesta por piedras de 1 a 20 cm de diámetro, estructura poliédrica subangular bien desarrollada y consistencia en húmedo friable y cuando muy húmedo plástica y pegajosa, poros más de 200/dm ² , macroporos tubulares de 2-3mm de diámetro oblicuos y verticales. La transición a A ₂ es tenue y ondulada
B ₁	35-85	Color en seco es 10YR 5/6 (café amarillento) y en húmedo 10YR 3/6 (café amarillento oscuro), textura arcilla migajonosa con 3% de pedregosidad conformada por piedras de 1 a 5 cm de diámetro redondeadas, estructura poliédrica subangular de consistencia blanda en seco, friable en húmedo, suelo plástico y pegajoso cuando muy húmedo, poros más de 200/dm ² macroporos de hasta 3mm de diámetro tubulares de orientación oblicua y vertical. La transición a B es ondulada y tenue.
B ₂	85-120	Color en seco 10YR 5/6 (café amarillento) en húmedo 10YR 3/3 (café oscuro), textura migajón arenosa con menos de 2% de pedregosidad, estructura poliédrica subangular de consistencia friable cuando húmedo y cuando muy húmedo plástica y pegajosa, poros más de 200/dm ² , macroporos de hasta 3mm de diámetro tubulares oblicuos y verticales. La transición a C tenue y ondulada.
C	120-150	Color en seco es 10YR 7/6 (amarillo) en húmedo 10YR 4/3 (café oscuro), migajón arcillo-limoso, contiene un 15% de pedregosidad, piedras redondas de hasta 10cm de diámetro bastante intemperizadas, estructura poliédrica subangular de consistencia friable cuando húmedo y cuando muy húmedo plástica y pegajosa, poros más de 200/dm ² , macroporos de hasta 3mm de diámetro tubulares oblicuos y verticales.

Cuadro 14. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 14 de suelo

Fecha de la descripción y muestreo	18/11/07
Localidad	Cerro Pájaro
Ubicación	
Latitud norte	17°07' 36.8"
Longitud oeste	97°52' 6.5"
Altitud (m)	1216
Pendiente	8°
Exposición	Oeste
Drenaje superficial	Sitio normal
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca caliza
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Muy rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	imperceptible
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque Mesófilo
Suelo	Cambisol háplico (húmico, dístrico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	15.0	La superficie del suelo esta cubierta por hojarasca, fragmentos de pino cortezas y frutos.
A ₁	0-30	Color en seco 10YR 5/2 (café grisáceo) en húmedo 10YR 2/1 (negro), textura migajón arenosa con un 5% de pedregosidad, piedras subangulares no mayores a 5 cm, estructura grumosa de consistencia blanda en seco, cuando húmedo es muy friable y cuando muy húmedo es ligeramente pegajoso, poros más de 200/dm ² , dentro y entre agregados los macroporos son tubulares de hasta 2 mm de diámetros oblicuos y horizontales. La transición ondulada de 5 cm
A ₂	30-59	Color en seco 10YR 5/3 (café) y en húmedo 10YR 3/2 (café grisáceo muy oscuro), textura migajón arenosa, contiene 10% de pedregosidad, estructura poliédrica subangular moderadamente desarrollada, consistencia blanda en seco, en húmedo muy friable y cuando muy húmedo es ligeramente plástica, poros más de 200 por dm ² dentro y entre agregados macroporos tubulares oblicuos y horizontales. La transición es ondulada de 5 a 7 cm.
B	59-101	Color en seco 10YR6/4 (café amarillento claro) y en húmedo 10YR4/4 (café amarillento claro), textura migajón arenoso contiene 20% de pedregosidad piedras de 3cm, estructura poliédrica subangular moderadamente desarrollada, consistencia blanda cuando húmeda y cuando muy húmedo es ligeramente plástico, poros más de 200/dm ² dentro y entre agregados, macroporos tubulares oblicuos. La transición a C tenue e irregular
C	101-155	Color en seco 10YR 6/4 (café amarillento claro) en húmedo 10YR 4/4 (café amarillento claro), textura migajonosa, contiene un 20% de pedregosidad con piedras desde 5 hasta de 50 cm de diámetro, estructura poliédrica subangular moderadamente desarrollada, consistencia blanda cuando húmeda y cuando muy húmedo es ligeramente plástico macro y microporos dentro y entre agregados.

Cuadro 15. Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil 15 de suelo

Fecha de la descripción y muestreo	03/02/08
Localidad	Cerro Pájaro
Ubicación	
Latitud norte	17°07'46.1"
Longitud oeste	97° 52' 04"
Altitud (m)	1775
Pendiente	15°
Exposición	Oeste
Drenaje superficial	normal
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca calcárea.
Origen del suelo	<i>In situ</i>
Permeabilidad	Rápida
Región fisiográfica	Sierra Madre del Sur
Erosión	Imperceptible.
Uso actual	Forestal
Vegetación	Bosque Mesófilo
Suelo	Luvisol lamélico (húmico)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	10	La superficie esta cubierta por hojarasca, conformada por hojas, ramas, tallos y corteza.
A ₁	0-30	Color en seco 10YR 3/2 (café grisáceo muy oscuro) en húmedo 10YR 2/1 (negro), textura migajón arenosa con 40% de piedras de 1 a 5 cm a muy grandes (20 a 40 cm) estructura poliédrica subangular, consistencia cuando seco ligeramente dura, cuando húmedo friable y cuando muy húmedo pegajoso y plástico, más de 200 poros/dm ² , dentro y entre agregados continuos de orientación caótica. La transición al A ₂ mayor a 5 cm.
A ₂	30-50	Color en seco 10YR 4/3 (café oscuro) en húmedo 10YR 3/2 (café grisáceo muy oscuro), textura migajón arcillosa con un 20 a 25% de pedregosidad, estructura poliédrica subangular de consistencia cuando seco ligeramente dura, cuando húmedo friable, cuando muy húmedo pegajosa, poros entre y dentro de los agregados macroporos de orientación oblicua de hasta 2 mm de diámetro. La transición a C mayor a 5 cm
C	50-80	Color en seco en húmedo 10YR 5/6 (café amarillento), textura migajón arenosa, del 5 al 20% con pocas piedras de 1 a 5 cm de diámetro y un 30 % de piedras superiores a 20cm, la estructura esta levemente desarrollada el suelo esta ligeramente compacto, la consistencia cuando seco es dura y cuando muy húmedo friable. Microporos se presentan más entre agregados y macroporos entre y dentro agregados de orientación oblicua y tubulares.

7.2 Descripción de las coberturas vegetales.

Como resultado de seis recorridos por la zona de estudio, se seleccionaron quince puntos de muestreo, cinco para cada tipo de vegetación, cuyos datos de localización se muestran en el cuadro 16. Se observó que el bosque tropical subcaducifolio (BTSC) es la vegetación más perturbada del municipio. Ocupa grandes extensiones y está seriamente fraccionada por actividades de ganadería y agricultura principalmente. A pesar de haber elegido los sitios menos perturbados, en varios de ellos, se encuentran plantas de café, mango, plátano y piña principalmente, lo que sugiere que tiempo atrás estas áreas fueron utilizadas como campos de cultivo. Por esta razón, la diversidad vegetal se ve seriamente afectada, pocas especies arbóreas son utilizadas para proveer de sombra al cafetal y se les encuentra hoy como los dominantes ecológicos. La estructura de la vegetación es principalmente de selva secundaria. El punto cinco es el más conservado, tiene mayor riqueza y número de individuos por especie. Se distribuye al este y sur de la cabecera municipal, pero su distribución no es continua, pues está interrumpida por las actividades antes mencionadas. Se presenta en manchones de vegetación localizada en cañadas, zonas planas y en las partes bajas de las laderas de las sierras más altas. En el municipio se distribuye entre los 700 y 830 m de altitud.

Los bosques de pino (BP) se distribuyen del norte al sur pasando por la parte oeste de la cabecera municipal, se desarrollan en elevaciones entre los 800 y 2 000m, en un clima generalmente templado húmedo, aunque algunas de estas comunidades pueden asentarse en climas semicálidos, estos bosques se encuentran en un estado de conservación media. Las masas forestales de estos bosques están dominadas por individuos con diámetros del fuste no mayores a los 30 cm y los de mayor diámetros son individuos viejos cuyo fuste está torcido, bifurcado o muy ramificado. Por otra parte, la distribución al azar de los individuos indica una regeneración natural que ha tenido lugar después de la extracción de madera. En el resto de la superficie territorial de la zona de estudio, este tipo de vegetación se le encuentra en manchones localizados entre la selva y el bosque mesófilo de montaña en la parte centro y este respectivamente. En los bosques de pino la erosión del suelo y las evidencias de los incendios forestales expresan más claramente los efectos del manejo que ha tenido este tipo de vegetación.

El bosque mesófilo (BMM) se distribuye en el municipio entre los 1370 y 1997 m de altitud, es un bosque fragmentado, sin embargo de las tres coberturas vegetales que fueron estudiados, ésta es la más conservada, se le localiza en la parte norte del municipio, su composición varía espacialmente y se presenta como un mosaico de comunidades, cada una de las cuales se caracteriza por tener sus especies dominantes. La diversidad de comunidades se debe a la heterogeneidad ambiental resultante de cambios de altitud, de exposición, materiales geológicos, suelo, pendiente y topografía. No se descarta la posibilidad de que en parte esta mezcla de comunidades vegetales se deba al manejo que anteriormente ha tenido la vegetación por la extracción de recursos forestales como leña, carbón y madera principalmente.

Las comunidades vegetales del BMM presentan un grado variable de alteración, los sitios seleccionados fueron de los mejor conservados. La cubierta vegetal del BMM es continua en la parte alta y abrupta del terreno, de manera que la degradación del suelo por erosión es imperceptible. En la parte baja y cuando el terreno presenta pendientes más suaves, se ha cambiado el uso del suelo de forestal a agrícola o pecuario, y ha conducido a la fragmentación de la vegetación primaria y a un mayor grado de perturbación. Como resultado del cambio de uso por medio de la rosa-tumba-quema, se presentan en el límite altitudinal más bajo de su distribución, áreas de vegetación secundaria que se alternan con vegetación primaria perturbada, parcelas de cultivo y pastizales inducidos destinados a la producción pecuaria de ganado vacuno con doble propósito, la producción de carne y de leche.

Cuadro 16. Sitios de muestreo de los tres coberturas vegetales estudiados en Putla, Villa de Guerrero, Oaxaca. bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

<i>Tipo de vegetación</i>	<i>Sitio No.</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud (m)</i>	<i>Localidad</i>
		<i>Latitud N</i>	<i>Longitud W</i>		
BTSC	1	16°56'21.5"	99° 17' 33"	830	El Carrizal
	2	16°52'14"	97° 53' 36"	819	La Cotorra
	3	16°59'36"	97° 55' 11"	750	Santiago Lagunas-Charloco
	4	16°59'10"	97° 54' 06"	733	Unión Nacional, 2 km al sur cruzando el Río Grande
	5	17°00'53"	97° 50' 55"	823	San Miguel Reyes
	6	16°53'14"	97° 53' 57"	965	5 km al norte de El Carrizal
BP	7	16°59'18"	97° 57' 10"	1093	2 km al este de Charloco
	8	17°04'00"	97° 51' 59"	986	Carretera Tlaxiaco-Putla, km 132
	9	17°07' 52"	97°52' 18"	1808	Cerro El Pájaro
	10	17°01'29"	97° 57' 11"	817	Tierra Colorada, 1 km al norte
	11	17°04'19"	97° 50' 01"	1510	San Isidro Paz y Progreso
BMM	12	17°02'24"	97° 48' 05"	1970	Guadalupe Buenavista
	13	17°07'31"	97° 52' 12"	1708	Cerro El Pájaro
	14	17°07'36.8"	97° 52' 6.5"	1216	Cerro El Pájaro
	15	17°07'46.1"	97° 52' 04"	1775	Cerro El Pájaro

7.3 Composición florística de las tres coberturas vegetales estudiados.

En el BTSC se registró un total de 1 035 individuos/ha de especies arbóreas en los sitios muestreados, estas pertenecen a 74 especies, 40 géneros y 28 familias. En cambio en el BP se reconocieron 3 765 individuos/ha, que pertenecen a 62 especies, 32 géneros y 24 familias, finalmente en el BMM se registraron 2 095 individuos/ha, en un total de 67 especies, 42 géneros y 32 familias. En el anexo A aparece la diversidad de especies que se encontró en las distintas coberturas vegetales de este modo, las familias más frecuentes en BTSC fueron Araliaceae, Fabaceae, Lacisternaceae y Melastomataceae. En el BP se encontró a Melastomataceae, como la más representativa, seguida de Clethraceae y Pinaceae. Por otro lado, en el BMM no se encontró una familia dominante a causa de la diversidad espacial de comunidades vegetales

en el área de distribución de este tipo de vegetación, algunas de las familias más representadas son Actinidiaceae con la especie, *Saurauia scabrida*, *Saurauia aspera*, Myrsinaceae con las especies *Parathesis rekoj*, *Rapanea myricoides* y Rubiáceas con especies como *Rogiera amoena*, *Rhadia*, *Deppea pubescens*, *Deppea cornifolia*. Con base en la riqueza de taxones, se encontró que el BMM tiene la más alta en familias y géneros, mientras que el BTSC presentó el mayor número de especies (Cuadro 17).

Cuadro 17. Taxones e individuos registrados por sitio de muestreo. Entre paréntesis número de taxones exclusivos de cada sitio. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

Tipo de vegetación	Sitio de muestreo	Familia	Géneros	Especies	individuos
BTSC	1	10(1)	10(3)	10(4)	30
	2	10	9(2)	9(2)	34
	3	18	18(5)	18(5)	45
	4	10(1)	10(3)	10(3)	40
	5	27(5)	25(9)	27(13)	58
BP	6	8(2)	8(3)	8(5)	102
	7	8	8(2)	8(2)	73
	8	14(1)	13(3)	14(5)	179
	9	17(6)	15(7)	17(11)	72
	10	15(3)	13(3)	15(7)	332
BMM	11	9(7)	9(6)	9(7)	28
	12	11(2)	10(4)	11(10)	39
	13	16(5)	16(8)	16(9)	149
	14	12	12(2)	12(3)	60
	15	19(2)	18(7)	19(7)	171

En el cuadro 18 se muestran las tres especies con el más alto valor de importancia de cada sitio muestreado. Se encontró que cada tipo de vegetación varía tanto en diversidad como en composición y comparten menos del 15% de los componentes registrados. Cuando se analiza un mismo tipo de vegetación en los cinco sitios de muestreo, se observa que en el BMM solo dos sitios comparten una especie dominante. En el caso del BP la frecuencia con la que aparecen los dominantes ecológicos es mayor, por ejemplo *Clethra mexicana* aparece en tres de los cinco sitios muestreados, esto mismo sucede con *Byrsonima crassifolia*, esto muestra una reducción de la diversidad biológica de esta cobertura vegetal, en BTSC se tiene una menor diversidad arbórea respecto a los dos anteriores, razón por la cual los dominantes ecológicos tienen una mayor frecuencia entre sitios, El análisis de los dominantes ecológicos confirma que la selva es la cobertura vegetal más perturbada y que las especies dominantes actuales fueron favorecidas para cumplir con la función de protección de cultivares de *Coffea arabica* L. contra la radiación solar directa.

Cuadro 18. Especies dominantes (3) por sitio en cada tipo de vegetación. bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

*indica especies que se comparten con otro sitio.

Cobertura vegetal	Sitio	Especie	Densidad relativa	Dominancia relativa	Frecuencia relativa	VI
BTSC	1	<i>Homalium senarium</i> *	44.44	56.33	18.18	118.96
		<i>Calophyllum brasiliense</i>	14.81	13.38	18.18	46.37
		<i>Dendropanax arboreus</i>	7.40	7.39	9.09	23.89
	2	<i>Ficus obtusifolia</i>	17.64	38.48	8.33	64.46
		<i>Dendropanax arboreus</i>	11.76	20.17	8.33	40.27
		<i>Bursera simaruba</i>	8.82	16.73	16.66	42.22
	3	<i>Cupania glabra</i> *	22.22	26.82	0.10	49.15
		<i>Hymenaea courbaril</i> *	17.77	14.21	0.05	32.04
		<i>Saurauia aspera</i>	8.88	21.79	0.05	30.73
	4	<i>Bursera simaruba</i> *	15.00	12.09	19.04	46.14
		<i>Hymenaea courbaril</i> *	37.50	47.95	19.04	104.50
		<i>Dendropanax arboreus</i> *	7.50	10.11	9.52	27.13
	5	<i>Guarea glabra</i> *	10.94	14.62	11.42	37.00
		<i>Hymenaea courbaril</i> *	5.47	26.16	2.85	34.49
		<i>Cupania glabra</i> *	18.90	4.75	8.57	27.96
BP	1	<i>Pinus oocarpa</i> *	23.52	59.22	17.647	100.400
		<i>Byrsonima crassifolia</i> *	15.68	8.81	11.76	36.26
		<i>Curatella americana</i>	9.80	6.64	11.765	28.215
	2	<i>Pinus teocote</i> var. <i>quinquefoliata</i> *	35.61	76.39	30.769	142.782
		<i>Clethra mexicana</i> *	12.32	12.94	23.07	48.35
		<i>Quercus crassifolia</i>	36.986	1.904	7.692	46.582
	3	<i>Pinus teocote</i> var. <i>quinquefoliata</i> *	3.889	42.433	5.000	51.322
		<i>Clethra hartwegi</i>	1.667	30.046	5.000	45.601
		<i>Byrsonima crassifolia</i> *	2.222	23.615	5.000	30.837
	4	<i>Pino Maximinoi</i>	8.33	42.59	8.696	59.61
		<i>Clethra mexicana</i> *	15.27	12.26	8.69	36.24
		<i>Quercus glauciodes</i>	15.27	12.26	8.696	36.24
	5	<i>Pinus pseudoestrobis</i>	25.90	44.89	11.53	82.33
		<i>Byrsonima crassifolia</i> *	10.54	26.85	11.538	48.938
		<i>Clethra mexicana</i> *	4.81	10.31	11.53	26.67
BMM	1	<i>Liquidambar styraciflua</i>	24.00	44.50	11.111	79.613
		<i>Quercus sp.</i>	28.00	23.54	22.22	73.76
		<i>Ostrya virginiana</i>	28.00	13.40	22.222	63.624
	2	<i>Conostegia arborea</i>	20.51	26.67	21.429	68.613
		<i>Oreopanax sanderianus</i>	23.077	17.806	14.286	55.169
		<i>Cyathea divergens</i> kunze var. <i>tuerckheimii</i>	15.38	20.81	7.14	43.33
	3	<i>Alnus acuminata</i>	21.47	27.69	12.00	61.17
		<i>Fraxinus dubia</i>	23.49	22.94	12.00	58.43
		<i>Rapanea myricoides</i>	8.72	10.09	8.00	26.82

Continuación. Cuadro 18.

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>Sitio</i>	<i>Especie</i>	<i>Densidad relativa</i>	<i>Dominancia relativa</i>	<i>Frecuencia relativa</i>	VI
BMM	4	<i>Zinowiewia concinna</i>	40.00	51.82	17.64	109.46
		<i>Saurauia scabrida</i>	20.00	27.38	17.647	65.036
		<i>Rapanea myricoides</i>	6.66	3.13	11.76	21.56
		5	<i>Roupala montana</i>	16.95	29.23	7.14
	<i>Eugenia capuli</i>	13.45	22.39	10.71	46.55	
	<i>Rogiera amoena</i>	12.86	12.83	10.71	36.41	

7.4 Clasificación de los suelos.

El cuadro 19 muestra los grupos de suelo que se encontraron en cada cobertura vegetal. Dos grupos de suelo de referencia fueron encontrados en el área donde se distribuye el BTSC, el Regosol háplico y el Luvisol que puede ser háplico o úmbrico. Los Regosoles háplicos son los suelos más jóvenes y los más frecuentes en las selvas, mientras que, los Luvisoles se caracterizan por tener un horizonte B árgico. En el BP se encontraron Regosol taptovitríco y Luvisoles háplicos como los más frecuentes, sin embargo, está presente también el Luvisol lamélico, los Regosoles taptovitrícos se caracterizan por ser los más jóvenes en la zona con perfil OAC, Por otra parte, en el BMM se encontró al Cambisol háplico como el suelo dominante ocupando más del 50 % del área de superficie que ocupa este tipo de vegetación, el Luvisol que puede ser háplico o lamélico ocupa el resto del área. Considerando a todo el municipio, el Luvisol es el suelo dominante, se le encuentra en aproximadamente el 50 % de la superficie del municipio y puede ser háplico, lamélico o úmbrico.

Cuadro 19. Tipos de suelo encontrados en cada sitio de muestreo en las tres coberturas vegetales estudiados en Putla, Villa de Guerrero Oaxaca. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

Tipo de vegetación	TIPO DE SUELO	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
BTSC El Carrizal 830 m	Regosol háplico (endoesquelético, húmico, dístrico)	RG ha (skn, hu, dy)	Suelo mineral poco desarrollado en material no consolidado (Regosol), profundo (130 cm), tiene más del 50 % (en volumen) de gravas gruesas promediado en una profundidad entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo (endoesquelético). Además, contiene 2.6% de carbono orgánico en los primeros 50 cm de espesor (húmico) y tiene menos del 50% de saturación con bases entre los 100 cm de profundidad (dístrico).
BTSC La cotorra 817 m	Luvisol háplico (húmico, crómico)	LV ha (hu, cr)	Suelo que presenta una CIC de más de 24 Cmolc kg^{-1} hasta una profundidad de 50 cm y tiene mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial (Luvisol). Contiene 3.4% de carbono orgánico dentro de los primeros 50 cm de espesor (húmico) y tiene una capa de los 28-70 cm de un color Munsell 5 YR 4/6 en húmedo (crómico).
BTSC Santiago lagunas- Charloco 750 m	Regosol háplico (endoesquelético, dístrico)	RG ha (skn, dy)	Suelo mineral poco desarrollado en material no consolidado (Regosol), profundo (105 cm), tiene más del 70% (en volumen) de gravas gruesas promediado en una profundidad entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo (endoesquelético) y menos del 50% de saturación con bases entre los 100 cm de profundidad (dístrico).
BTSC 733 m	Fluvisol úmbrico	FL um	Suelo mineral formado por el depósito de materiales aluviales (Fluvisol) con 1.3% de carbono orgánico y menos del 50% de saturación con bases en los primeros 15 cm de profundidad (úmbrico).

Continuación. Cuadro 19.

Tipo de vegetación	TIPO DE SUELO	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
BTSC Nueva Tenochtitlan 823 m	Regosol háplico (húmico, dístrico, arénico)	RG ha (hu, dy, ar)	Es un suelo mineral poco desarrollado en material no consolidado (Regosol), profundo (85 cm), con un porcentaje de saturación con bases menor al 50% (dístrico), dentro de los primeros 50 cm de profundidad contiene el 3.9% de carbono orgánico (húmico). Presenta una textura de migajón arenosa dentro de los primeros 75 cm de espesor (arénico).
BP Carrizal 965 m	Luvisol háplico (húmico)	LV ha (hu)	Suelo con mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial, resultado de procesos pedogenéticos especialmente migración de arcilla (Luvisol). Alta saturación con bases a ciertas profundidades, ningún calificador del grupo uno caracteriza a este suelo (háplico), con más del 1% de carbono orgánico a lo largo del perfil (húmico).
BP Charloco 1093 m	Luvisol lamélico (crómico, epidístrico, arcílico)	LV II (cr,ed,ce)	Suelo con un horizonte árgico que tiene claramente mayor contenido de arcilla que el horizonte suprayacente (Luvisol). Tiene lamelas de arcilla con un espesor combinado dentro de 100cm de la superficie del suelo (lamélico). Presenta a lo largo del perfil un matiz Munsell rojo de 5.0 YR (crómico). Presenta saturación con bases menor de 50 % en todo el espesor entre 20 y 50 cm de la superficie del suelo (epidístrico). Tiene una textura arcillosa en dos capas de cerca de 30 cm o más de espesor (arcílico).
BP 986 m	Luvisol háplico (húmico, profúndico)	LV ha (hu,pf)	Suelo que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos, con una CIC cercano a 24 Cmolc kg ⁻¹ . Ningún calificador del grupo uno caracteriza este suelo (háplico), con más del 1% de carbono orgánico a lo largo del perfil (húmico). Tiene un horizonte árgico en el cual el contenido de arcilla no decrece en 20% de su máximo dentro de 160 cm de la superficie del suelo (profúndico).

Continuación. Cuadro 19.

Tipo de vegetación	TIPO DE SUELO	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
BP Cerro Pájaro 1808 m	Regosol taptovítrico (arénico)	RG bv (ar)	Suelo mineral débilmente desarrollado en materiales no consolidados no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no es somero, ni rico en gravas, tiene dentro de 100 cm de la superficie del suelo una o más capas enterradas con propiedades ándicas o vítricas con un espesor combinado de 30 cm o más (taptovítrico). Tiene una textura migajón arenosa a lo largo del perfil (arénico).
BP Tierra Colorada 1 Km al norte 817 m	Regosol taptovítrico (arénico)	RG bv (ar)	Suelo mineral débilmente desarrollado en materiales no consolidados, no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no es somero ni rico en gravas, tiene dentro de 100 cm de la superficie del suelo una o más capas enterradas con propiedades ándicas o vítricas con un espesor combinado de 30 cm o más (taptovítrico) tiene una textura arcillo arenosa a lo largo del perfil (arénico).
BMM 1510 m	Cambisol háplico (húmico, dístrico, lájico, arcíllico)	CM ha (hu, dy, la, ce)	Suelos con un horizonte subsuperficial incipiente en formación, en virtud de que tiene los requisitos de 1.1% de carbono orgánico en los primeros 60 cm de espesor (húmico), pues la acidez registrada indica que el contenido de saturación de bases es menor al 50% (dístrico), la densidad aparente es menor a 0.9 kg dm ⁻³ en el primer metro de profundidad (lájico), además tiene una textura arcillosa de los 26 a 110 cm de profundidad (arcíllico).
BMM 1970	Cambisol háplico (húmico, dístrico, lájico, arénico)	CM ha (hu, dy, la ,ar)	En este suelo el horizonte B aun esta en formación, característica de los Cambisoles, el % de carbono orgánico es mayor a 1 hasta los 60 cm de profundidad (húmico), el pH es ácido por tanto, la saturación de bases no puede ser mayor al 50% (dístrico), la DA no sobrepasa los 0.9 kg dm ⁻³ en los primeros 60cm desde la superficie (lájico), mientras que la textura en los primeros 30cm es migajón arenosa (arénico).

Continuación. Cuadro 19.

Tipo de vegetación	TIPO DE SUELO	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
BMM Cerro Pájaro 1708 m	Luvisol háplico (nudiárgico)	LV ha	Suelo con mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial, resultado de procesos pedogenéticos especialmente migración de arcilla (Luvisol).
BMM Cerro Pájaro 1725	Cambisol háplico (húmico, dístrico)	CM ha (hu, dy)	La formación del horizonte B es incipiente indicando que es Cambisol, tiene un % de carbono orgánico mayor a 1 en los 57cm superficiales (húmico), la saturación de bases no sobrepasa el 50% pues el pH es de 6.05 o más ácido en todo el perfil (dístrico).
BMM Cerro Pájaro 1775 m	Luvisol lamélico (húmico)	LV II (hu)	La translocación de arcilla del horizonte superficial al subyacente es evidente proceso que ubica a este suelo como un Luvisol y además existen capas de acumulación de arcilla en los primeros 100 cm de profundidad del perfil (lamélico).

En la Figura 1 se muestran los perfiles encontrados en cada uno de los sitios, los primeros 5 corresponden al bosque tropical subcaducifolio (BTSC), los siguientes 5 perfiles pertenecen al bosque de pino (BP) mientras que los 5 últimos es donde se establece el bosque mesófilo de montaña (BMM) puede observarse que indistintamente de la cobertura vegetal, en todos los perfiles encontramos un horizonte O cuyo espesor varía de 10-15 cm en bosque de pino, mientras que en el bosque mesófilo su espesor oscila de 8-10 cm finalmente en el bosque tropical subcaducifolio, éste mismo horizonte no es mayor a 7 cm de espesor.

Los suelos más profundos y diferenciados se encontraron en el BMM, seguidos en su madurez por los suelos del BTSC, para finalmente encontrar los suelos con menor desarrollo en los BP (Figura 1). El perfil genético típico en el BMM es el $OA_1A_2BC_1C_2$, aunque este perfil de suelo se encuentra también en las coberturas vegetales del BTSC y BP. En los BP, el 40 a 60% de los suelos presentan un perfil OAC_1C_2 . Así, de las tres coberturas vegetales estudiadas, en el BP se encontraron los suelos con un menor desarrollo o madurez. Los suelos tropicales se encuentran en una condición intermedia de diferenciación.

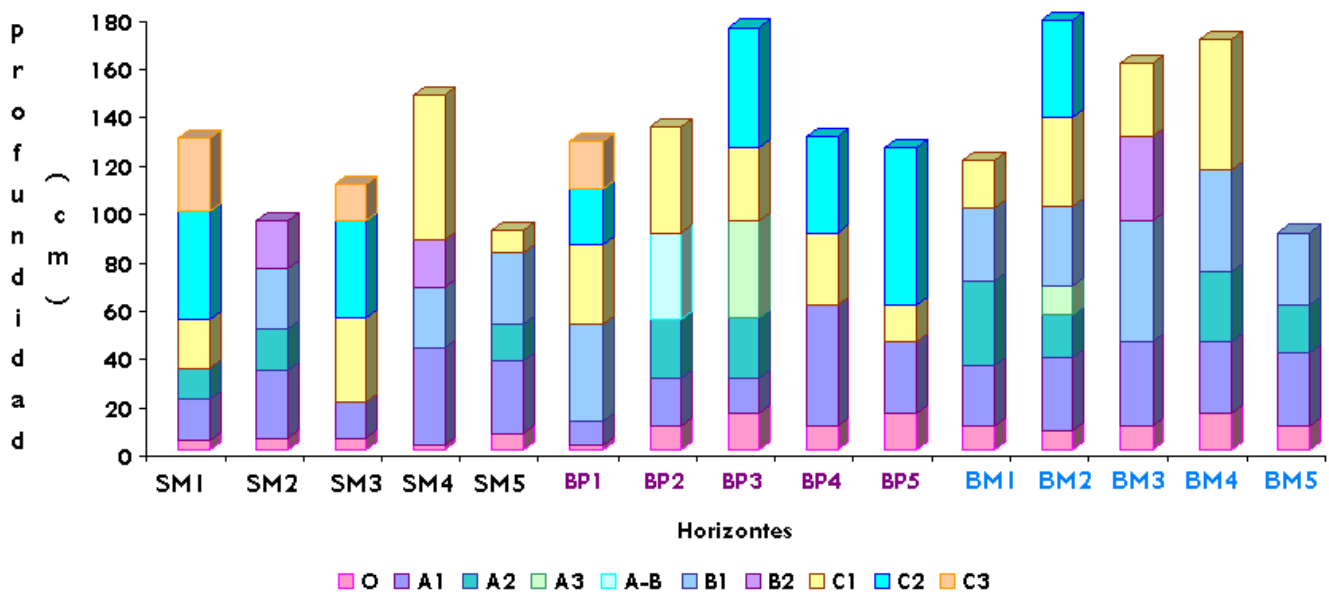


Figura 1. Perfiles de suelo ordenados de mayor a menor altitud por tipo de vegetación. SM= bosque tropical subcaducifolio, BP= bosque de pino y BM= bosque mesófilo de montaña. Los números corresponden a los sitios muestreados.

7.5 Parámetros físicos y químicos del suelo.

El Cuadro 20 muestra los resultados obtenidos para las propiedades físicas del suelo, los datos son el promedio de los 5 perfiles estudiados para cada tipo de vegetación. Se encontró que la densidad real (DR) y la densidad aparente (DA) se incrementan con la profundidad y los valores cuantitativos son diferentes dependiendo del tipo de vegetación en orden decreciente BMM < BTSC < BP. Por otra parte se observa que la porosidad del suelo tiene un patrón común para los suelos de los tres coberturas vegetales, es decir, disminuye a medida que la profundidad es mayor (Cuadro 21) se encontró una mayor porosidad en los suelos del BMM, mientras que la menor se tiene en el BP (Cuadro 20). Cabe señalar que se presenta una mayor DA en el horizonte de acumulación (B), ocasionado por el incremento de arcilla en este horizonte genético en los suelos de BP y BMM.

Cuadro 20. Valores promedio de las propiedades físicas y químicas de los 5 perfiles del suelo para cada cobertura vegetal. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

Tipo de vegetación	BTSC	BP	BMM
Propiedad			
DR (g/cm ³)	2.5	2.6	2.4
DA (g/cm ³)	1.1	1.1	0.9
% EP	57.4	55.8	59.7
Retención de agua (%)	45.1	38.3	51.6
Arcilla (%)	22.5	31.3	23.3
Arena (%)	51.6	43.2	45.3
pH _a	5.3	4.7	5.9
pH _p	4.0	3.9	4.3
MO (%)	2.7	1.2	3.9
CIC (Cmolc kg ⁻¹)	14.6	19.3	21.4

Al analizar el comportamiento de la textura, este parámetro difiere entre los tres coberturas vegetales, donde crecen las comunidades de BP se tienen los más altos contenidos de arcilla excepto en los perfiles 4 y 5, donde se encontró un Regosol taptovítrico con epipedón ócrico (Cuadro 19), mientras que los más bajos se tienen en los del BTSC. Hay una buena correlación negativa entre los contenidos de arcilla y los de arena, a medida que se incrementa el contenido de arcilla, los de arena se reducen (Figuras 5, 6 y 7), los suelos de BTSC tienen mayor contenido de arena (Cuadro 22) Finalmente, la retención de humedad en los suelos disminuye con la profundidad en las tres coberturas vegetales, la retención de agua es mayor para los suelos del BMM seguidos de BTSC y la más baja retención se presenta en el BP (Cuadro 20 y 21).

Los tres Luvisoles del BP presentan el menor drenaje y los más altos valores de densidad, esto se debe a los contenidos de arcilla que ocasionan un lento movimiento del agua. Por otra parte, la retención de humedad en los suelos de BP es moderada (38.8%), mientras que, en los suelos del BMM tienen valores cuantitativos promedio más altos para esta propiedad (51.6%), esto se debe a la influencia conjunta de la textura, estructura y contenido de MO de estos suelos.

En el Cuadro 22 se muestran los valores promedio para las propiedades: pH activo, pH potencial (pH_a, pH_p) y textura, determinadas para los suelos de cinco perfiles para cada tipo de

vegetación, se observa que la acidez varía con la cobertura vegetal en el siguiente orden BP > BTSC > BMM (Cuadro 5), por otro lado se tiene que el pH activo se acidifica al incrementarse la profundidad en los suelos de BTSC, mientras que, en BP y BMM este parámetro no difiere en más de 0.25 unidades en el perfil y los valores se incrementan con la profundidad. Un comportamiento similar se registró para el pH_p (Cuadro 22).

Cuadro 21. Valores promedio y \pm desviación estándar de las propiedades físicas de los 5 perfiles del suelo para cada cobertura vegetal. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM), municipio Putla Villa de Guerrero, Oaxaca.

Profundidad promedio (cm)	BTSC				BP				BMM			
	Densidad Real (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio Poroso (%)	Retención de agua (%)	Densidad Real (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio Poroso (%)	Retención de agua (%)	Densidad Real g/cm ³	Densidad aparente (g/cm ³)	Espacio Poroso (%)	Retención de agua (%)
0-10	2.41 \pm 0.1	1.07 \pm 0.1	19.18 \pm 6.8	51.51 \pm 9.5	2.54 \pm 0.3	1.08 \pm 0.1	57.40 \pm 6.4	41.96 \pm 8.4	2.46 \pm 0.2	0.88 \pm 0.3	64.32 \pm 9.4	56.61 \pm 16.2
10-20	2.41 \pm 0.1	1.07 \pm 0.1	19.18 \pm 6.8	51.51 \pm 9.5	2.62 \pm 0.3	1.04 \pm 0.1	60.52 \pm 3.8	41.99 \pm 8.3	2.46 \pm 0.2	0.88 \pm 0.1	64.32 \pm 5.8	56.61 \pm 17.9
20-30	2.48 \pm 0.1	1.07 \pm 0.2	20.89 \pm 6.1	51.47 \pm 9.3	2.67 \pm 0.2	1.03 \pm 0.1	61.63 \pm 2.8	39.68 \pm 6.8	2.43 \pm 0.2	0.89 \pm 0.1	63.34 \pm 4.4	59.12 \pm 19.4
30-40	2.57 \pm 0.1	1.08 \pm 0.2	25.60 \pm 4.6	44.07 \pm 7.6	2.60 \pm 0.1	1.05 \pm 0.2	59.40 \pm 5.7	39.31 \pm 7.6	2.45 \pm 0.2	0.93 \pm 0.1	62.16 \pm 6.0	50.91 \pm 19.1
40-50	2.57 \pm 0.1	1.16 \pm 0.2	25.60 \pm 4.6	44.07 \pm 7.6	2.86 \pm 0.6	1.05 \pm 0.2	63.10 \pm 10.0	40.68 \pm 8.5	2.45 \pm 0.1	0.99 \pm 0.2	59.55 \pm 8.6	47.03 \pm 18.1
50-60	2.61 \pm 0.2	1.16 \pm 0.2	24.20 \pm 6.3	42.07 \pm 6.5	2.71 \pm 0.7	1.15 \pm 0.2	57.35 \pm 14.6	37.14 \pm 8.2	2.57 \pm 0.2	1.08 \pm 0.2	57.84 \pm 10.8	48.03 \pm 16.3
60-70	2.63 \pm 0.2	1.20 \pm 0.2	23.40 \pm 5.8	42.34 \pm 6.0	2.71 \pm 0.7	1.15 \pm 0.2	57.35 \pm 14.6	37.14 \pm 8.2	2.50 \pm 0.1	1.11 \pm 0.2	55.60 \pm 10.0	50.00 \pm 21.3
70-80	2.62 \pm 0.1	1.20 \pm 0.2	21.40 \pm 5.4	41.89 \pm 6.1	2.71 \pm 0.7	1.15 \pm 0.2	57.35 \pm 14.6	37.14 \pm 8.2	2.45 \pm 0.1	1.12 \pm 0.2	54.11 \pm 7.7	50.97 \pm 20.7
80-90	2.60 \pm 0.1	1.21 \pm 0.2	20.40 \pm 5.1	42.48 \pm 6.3	2.46 \pm 0.2	1.25 \pm 0.2	49.11 \pm 10.3	35.07 \pm 9.2	2.43 \pm 0.1	1.09 \pm 0.2	55.14 \pm 7.9	56.39 \pm 21.0
90-100	2.57 \pm 0.1	1.23 \pm 0.2	19.75 \pm 23.2	42.65 \pm 7.2	2.46 \pm 0.2	1.25 \pm 0.2	49.11 \pm 10.3	35.07 \pm 9.2	2.43 \pm 0.1	1.13 \pm 0.3	53.60 \pm 9.8	55.14 \pm 22.9
100-110	2.57 \pm 0.1	1.25 \pm 0.2	19.75 \pm 23.2	42.65 \pm 7.2	2.47 \pm 0.2	1.21 \pm 0.2	51.09 \pm 10.2	35.09 \pm 9.3	2.46 \pm 0.1	1.08 \pm 0.3	57.80 \pm 11.3	47.64 \pm 22.1
110-120					2.55 \pm 0.3	1.20 \pm 0.2	52.71 \pm 11.7	33.31 \pm 7.3	2.56 \pm 0.1	1.08 \pm 0.3	57.80 \pm 10.5	47.64 \pm 27.3
120-130									2.56 \pm 0.1	1.05 \pm 0.3	59.02 \pm 8.2	49.30 \pm 25.8
130-140									2.56 \pm 0.1	1.05 \pm 0.3	59.02 \pm 8.2	49.30 \pm 25.8

Cuadro 22 Valores promedio y \pm desviación estándar de las propiedades físicas y químicas de los 5 perfiles del suelo para cada cobertura vegetal, Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM), del municipio Putla Villa de Guerrero, Oaxaca del municipio Putla Villa de Guerrero, Oaxaca.

Profundidad promedio (cm)	BTSC				BP				BMM			
	pH Activo	pH potencial	textura		pH Activo	pH potencial	textura		pH Activo	pH potencial	textura	
			Arcilla (%)	Arena (%)			Arcilla (%)	Arena (%)			Arcilla (%)	Arena (%)
0-10	5.67 \pm 0.5	4.62 \pm 0.7	19.18 \pm 7.7	59.07 \pm 12.6	4.69 \pm 0.4	4.05 \pm 0.4	29.55 \pm 13.3	41.82 \pm 16.7	5.92 \pm 0.4	4.54 \pm 0.9	13.81 \pm 9.6	50.45 \pm 14.6
10-20	5.67 \pm 0.5	4.62 \pm 0.7	19.18 \pm 7.7	59.07 \pm 12.6	4.65 \pm 0.4	4.05 \pm 0.4	30.35 \pm 13.0	40.62 \pm 15.2	5.92 \pm 0.4	4.54 \pm 0.9	13.81 \pm 7.9	50.45 \pm 13.6
20-30	5.48 \pm 0.6	4.26 \pm 0.8	20.89 \pm 5.7	53.22 \pm 15.8	4.71 \pm 0.4	4.07 \pm 0.5	29.95 \pm 12.3	40.62 \pm 15.0	5.92 \pm 0.4	4.48 \pm 0.9	20.78 \pm 21.2	44.56 \pm 19.4
30-40	5.35 \pm 0.5	3.93 \pm 0.4	25.60 \pm 8.2	48.80 \pm 16.0	4.78 \pm 0.3	4.09 \pm 0.4	30.75 \pm 12.0	47.36 \pm 11.8	5.96 \pm 0.7	4.54 \pm 1.0	25.91 \pm 19.9	43.36 \pm 18.5
40-50	5.35 \pm 0.5	3.93 \pm 0.4	25.60 \pm 8.2	48.80 \pm 16.0	4.79 \pm 0.3	4.13 \pm 0.4	29.55 \pm 10.6	48.56 \pm 10.4	5.99 \pm 0.7	4.56 \pm 1.0	27.14 \pm 19.0	42.67 \pm 17.6
50-60	5.36 \pm 0.4	3.85 \pm 0.3	24.20 \pm 8.2	47.20 \pm 17.7	4.68 \pm 0.2	3.95 \pm 0.3	28.35 \pm 9.9	44.50 \pm 10.7	6.13 \pm 0.8	4.56 \pm 1.1	30.82 \pm 19.6	42.16 \pm 18.1
60-70	5.28 \pm 0.4	3.80 \pm 0.2	23.40 \pm 7.6	47.60 \pm 17.7	4.68 \pm 0.2	3.95 \pm 0.3	28.35 \pm 9.9	44.50 \pm 10.7	6.17 \pm 0.7	4.55 \pm 1.1	31.62 \pm 20.2	41.76 \pm 18.7
70-80	5.25 \pm 0.4	3.72 \pm 0.2	21.40 \pm 6.3	48.40 \pm 16.7	4.68 \pm 0.2	3.95 \pm 0.3	28.35 \pm 9.9	44.50 \pm 10.7	6.17 \pm 0.7	4.52 \pm 1.1	32.16 \pm 19.2	40.67 \pm 16.8
80-90	5.22 \pm 0.4	3.72 \pm 0.2	20.40 \pm 8.1	49.20 \pm 18.3	4.75 \pm 0.2	3.92 \pm 0.3	31.39 \pm 9.7	46.96 \pm 9.7	5.92 \pm 0.2	4.07 \pm 0.7	31.66 \pm 22.5	42.20 \pm 18.9
90-100	5.04 \pm 0.2	3.70 \pm 0.2	19.75 \pm 8.5	45.40 \pm 28.8	4.75 \pm 0.2	3.92 \pm 0.3	31.39 \pm 9.7	46.96 \pm 9.7	5.99 \pm 0.3	4.14 \pm 0.7	30.34 \pm 22.9	43.20 \pm 19.3
100-110	5.04 \pm 0.2	3.70 \pm 0.2	19.75 \pm 8.5	45.40 \pm 28.8	4.71 \pm 0.2	3.91 \pm 0.3	32.19 \pm 8.7	44.96 \pm 9.4	5.94 \pm 0.3	4.06 \pm 0.8	29.07 \pm 19.3	44.06 \pm 15.6
110-120					4.72 \pm 0.1	3.93 \pm 0.2	32.97 \pm 9.1	43.76 \pm 10.7	5.94 \pm 0.3	4.06 \pm 0.8	29.07 \pm 19.6	44.06 \pm 16.0
120-130									5.94 \pm 0.3	4.18 \pm 0.9	30.07 \pm 19.3	40.74 \pm 15.8
130-140									5.94 \pm 0.3	4.18 \pm 0.9	30.07 \pm 19.3	40.74 \pm 15.8

Se encontró que los contenidos de MO de los suelos del BMM y BTSC tienen las más amplias variaciones en el perfil, sin embargo, es en estos donde se encuentran los más altos contenidos, claramente se presenta una disminución con la profundidad, la mayor cantidad de MO se encuentra en la capa superficial del suelo a partir de donde comienza a disminuir gradualmente al incrementar la profundidad en los tres coberturas vegetales, excepto en BMM en donde se presenta una zona de enriquecimiento con humus iluvial entre los 70 y 100 cm de profundidad (Figura 2).

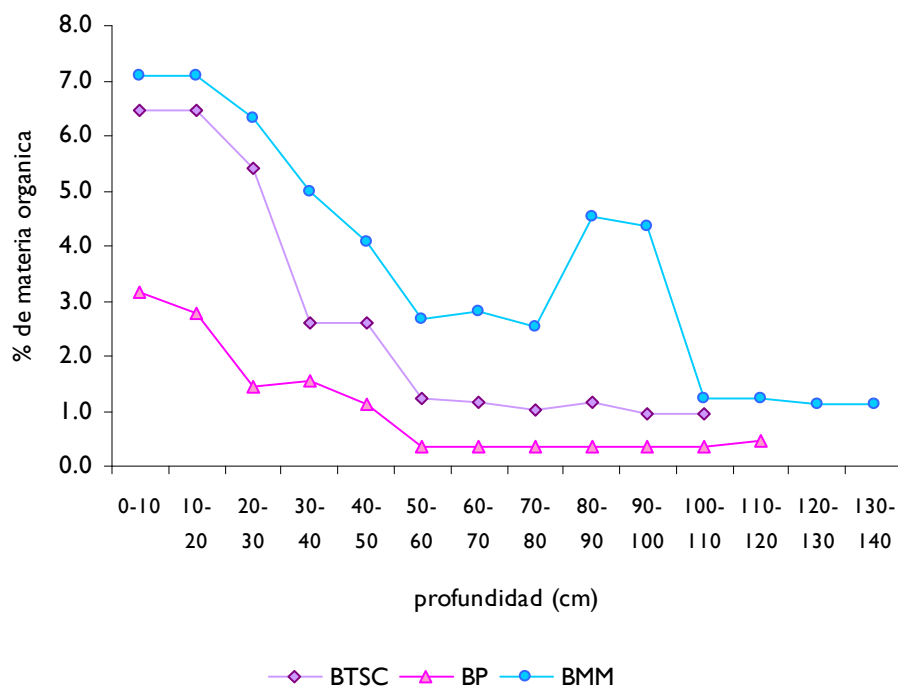


Figura 2. Variación de la Materia Orgánica con la profundidad del suelo para cada cobertura vegetal. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) difiere dependiendo de la cobertura vegetal en orden decreciente BMM > BP > BTSC. La más alta CIC se registró en los 30 cm superficiales en las tres coberturas vegetales, a partir de donde disminuye gradualmente para incrementar nuevamente de los 70 cm en adelante, es decir, en el horizonte B de acumulación de arcilla y humus iluvial (Figura 3). En general los intervalos de variación de la CIC para los suelos del BMM van de 20-25 Cmolc kg⁻¹, mientras que para los suelos de BTSC varían de 12.5-18 Cmolc kg⁻¹. En BP los valores son intermedios a los anteriores y fluctúan de 15-19 Cmolc kg⁻¹. El análisis de correlación muestra una relación significativa entre el % de materia orgánica del y la CIC en todos los suelos estudiados del BTSC ($r=0.4902$, $p=0.0206$, Figura 5).

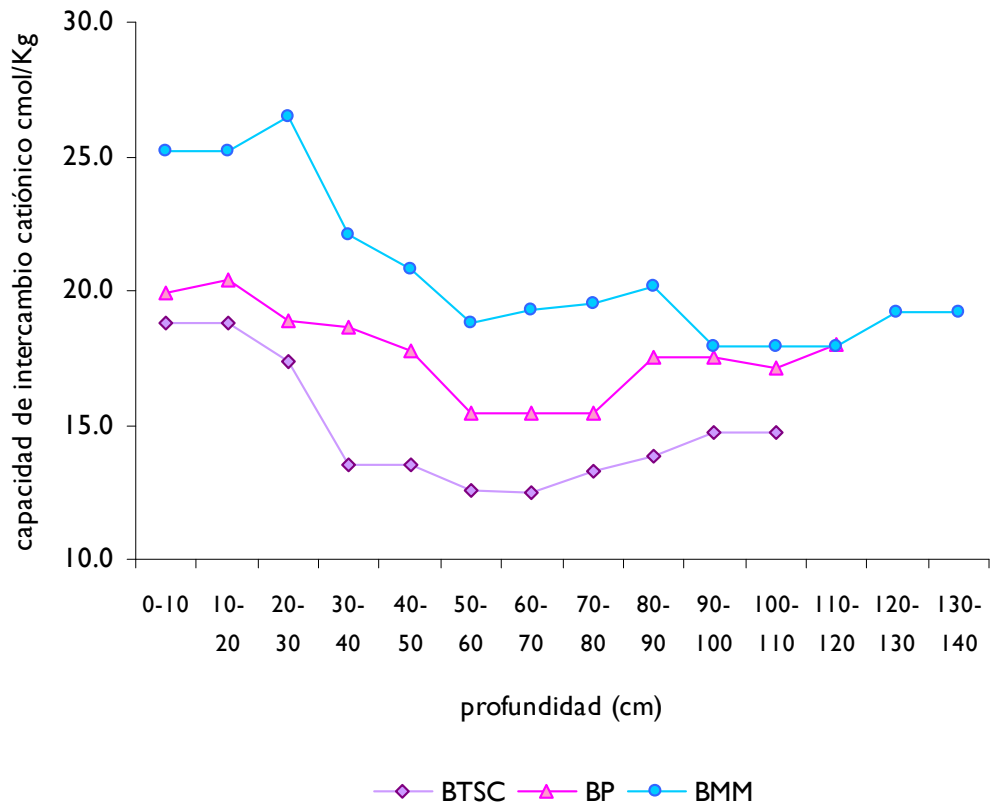


Figura 3. Relación de la capacidad de intercambio catiónica con la profundidad para cada cobertura vegetal. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

La conductividad eléctrica disminuye al incrementar la profundidad en las tres coberturas vegetales, sin embargo, en el BMM hay un incremento de los 80 a los 100 cm a partir de donde vuelve a disminuir, este incremento se debe a la mayor cantidad de iones retenidos por el complejo de cambio en el horizonte B. En los suelos del BTSC es donde se encuentran los valores más bajos, mientras que, en los pinares se presentaron valores intermedios.

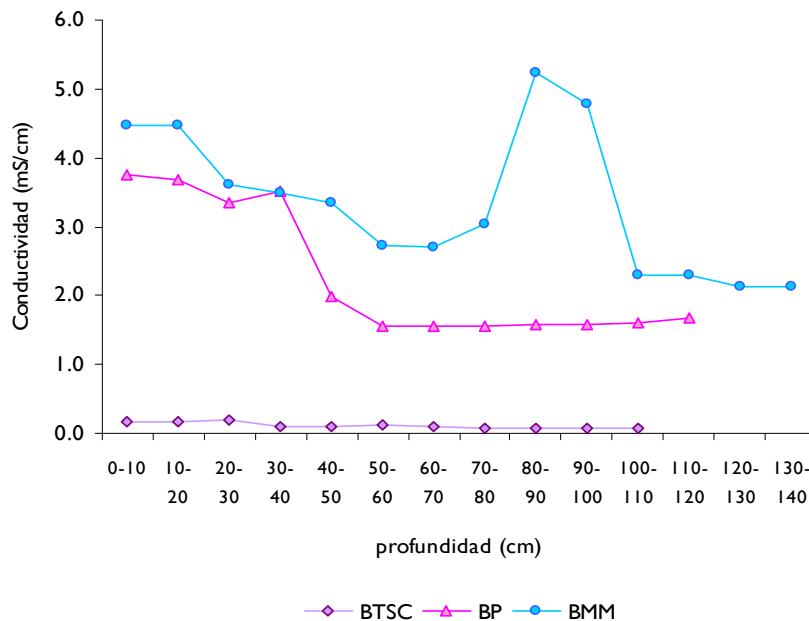


Figura 4. Relación de la conductividad eléctrica con la profundidad en cada cobertura vegetal. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

7.6 Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo

En el Cuadro 23, se presenta el valor del coeficiente de correlación y el intervalo donde se manifiesta e interpreta. Con base en este coeficiente, se encontró que las variables se relacionan entre sí con diferente intensidad en los suelos de las tres coberturas vegetales, desde luego influenciadas por factores topográficos, climáticos y por la propia vegetación que actúa modificando su entorno, lo cual redundaría en condiciones que favorecen o no el establecimiento y desarrollo de las raíces.

Cuadro 23. Intensidad en la correlación existente entre variables (Fowler *et al.*, 1998).

Valor de ρ	Interpretación
0.00-0.19	Muy débil correlación
0.20-0.39	Débil correlación
0.40-0.69	Modesta correlación
0.70-0.89	Fuerte correlación
0.90-1.00	Muy fuerte correlación

En los suelos del BTSC las propiedades: retención de humedad, materia orgánica, DA y espacio poroso (EP), tienen una fuerte correlación entre sí y favorecen el establecimiento y desarrollo de la vegetación. En esta misma dirección se encontró al pH activo, porcentaje de arcilla y capacidad de intercambio catiónico solo que su influencia es ligeramente menos acentuada (figura 5).

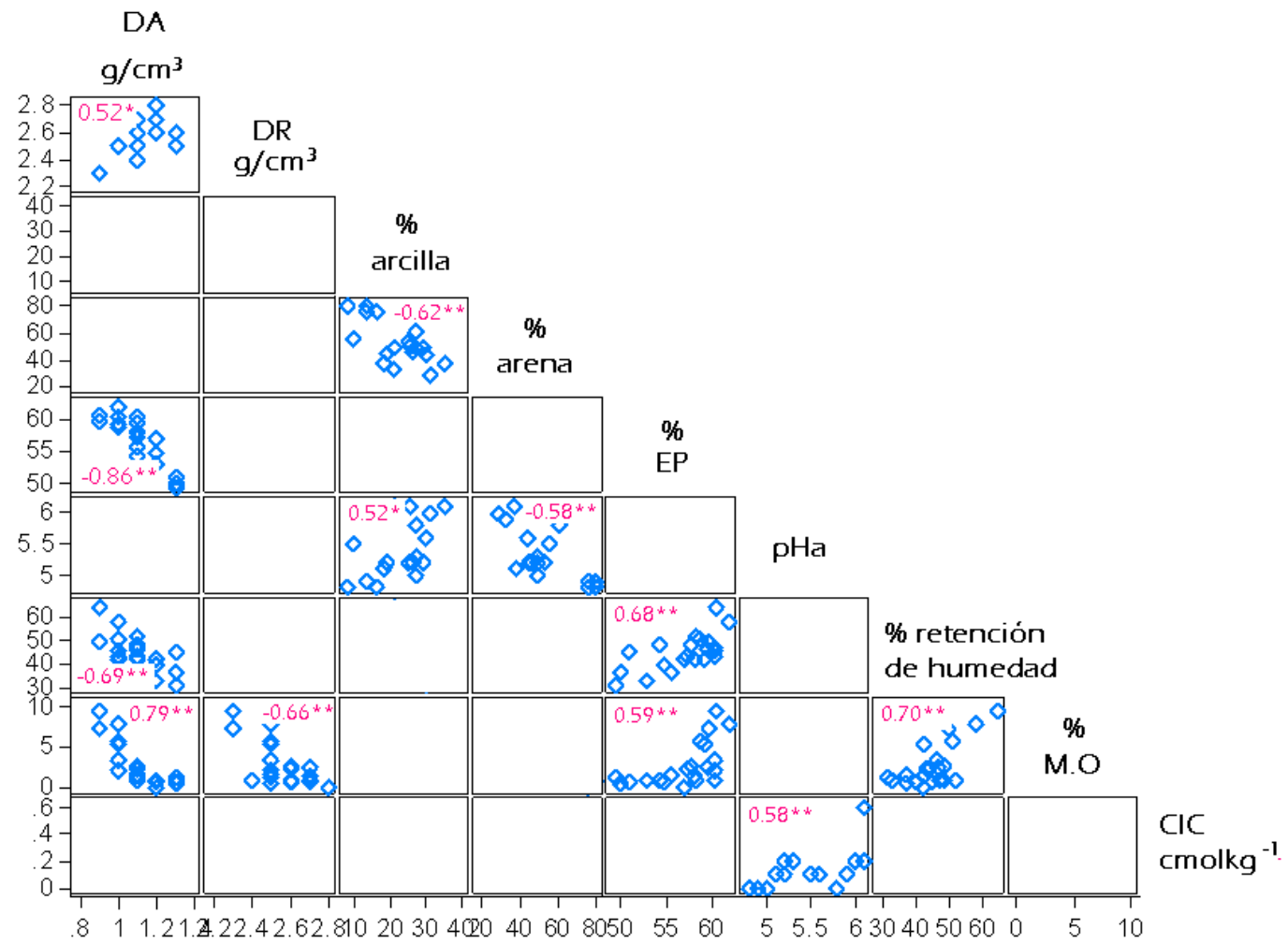


Figura 5. Correlación de las propiedades del suelo en BTSC, * α menor 0.05; ** α menor 0.01.

En los suelos del BP, la DA y DR guardan una estrecha relación con el % de espacio poroso, la cual es moderada entre el porcentaje de materia orgánica y la CIC (Figura 6). Finalmente en el BMM, el análisis de correlación entre las propiedades de los suelos señala a la textura, densidad aparente, espacio poroso (Figura 7) como el conjunto de parámetros que favorecen al establecimiento y desarrollo de la vegetación, mientras que el pH activo, materia orgánica, retención de humedad y CIC tienen una influencia menor.

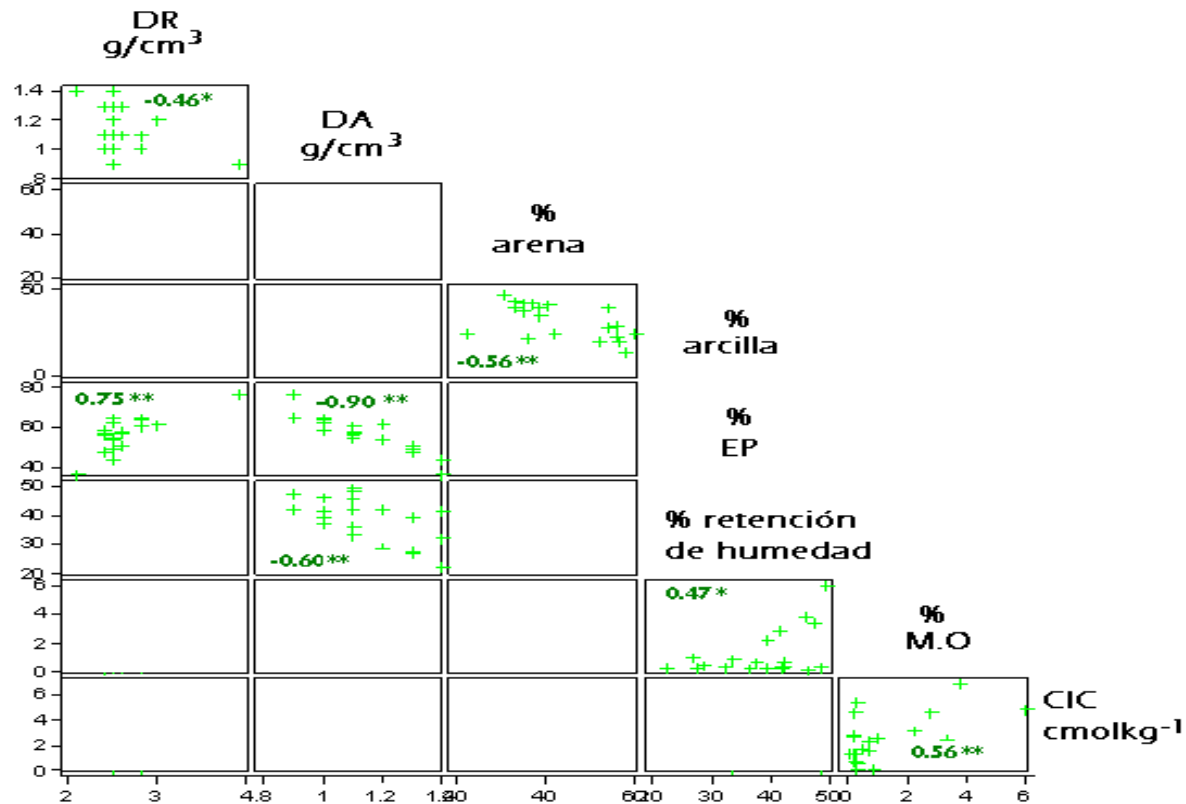


Figura 6. Correlación de las propiedades del suelo en BP, * α menor 0.05; ** α menor 0.01.

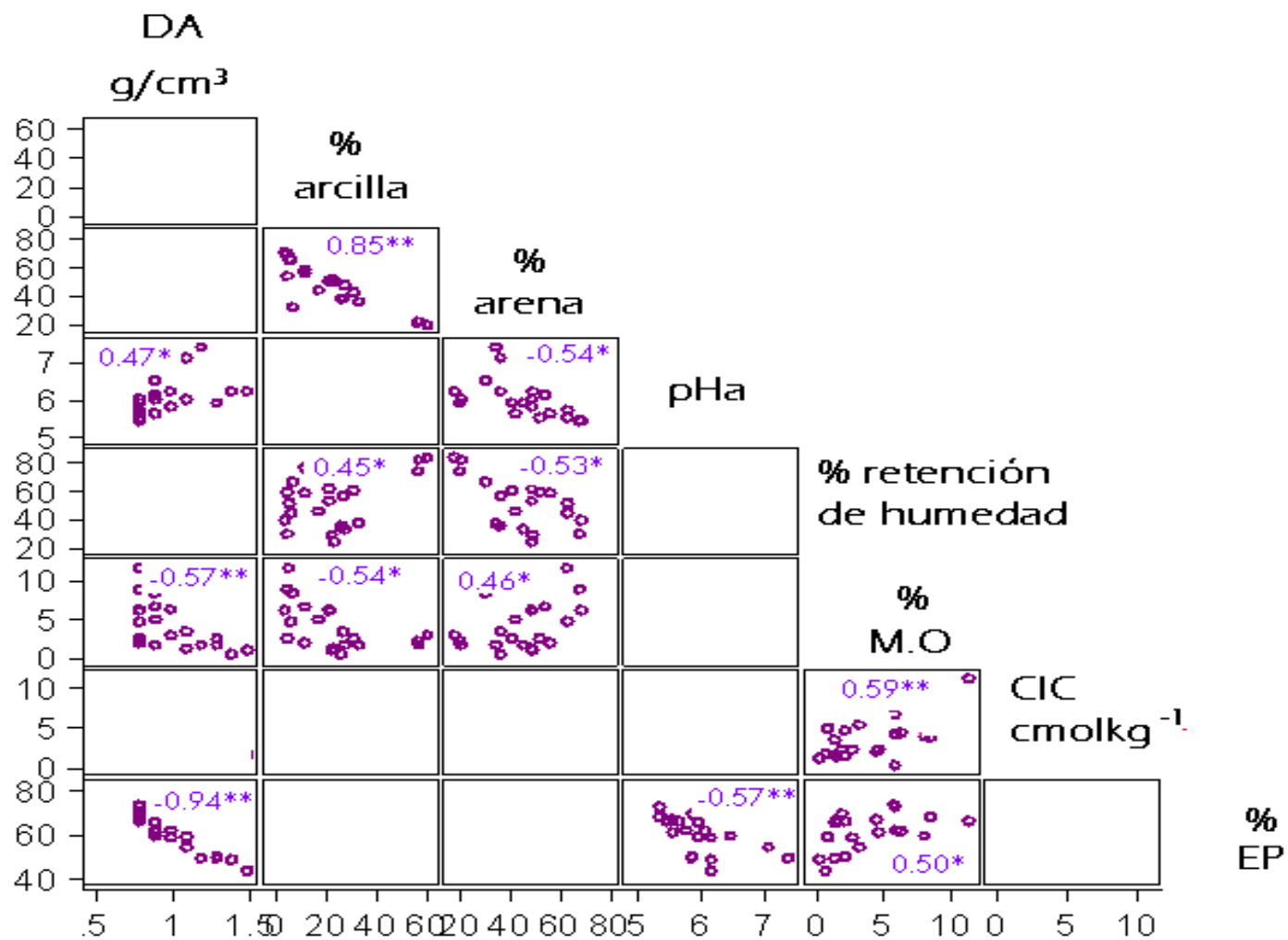


Figura 7. Correlación de las propiedades del suelo en BMM, * α menor 0.05; ** α menor 0.01.

7.7 Distribución de la longitud y superficie radical.

Para los fines de este estudio se adoptó la siguiente designación para cada clase diamétrica: 1= raíces muy finas de 0.5-1, mm; 2= raíces finas de 1.1-2, mm; 3 = moderadamente gruesas de 2.1-3, mm y 4 = gruesas mayores de 3.1 mm.

La tendencia general de todas las clases de raíces en las tres coberturas vegetales tanto de la longitud como de la superficie radical, es disminuir gradualmente con la profundidad. La longitud y superficie de las raíces más finas, tiene los valores cuantitativos más altos para estos parámetros a las diferentes profundidades en cada tipo de vegetación, sin embargo, hay mayor cantidad en los primeros 20 cm. En BTSC las raíces muy finas exploran el suelo hasta la profundidad de un metro, las raíces gruesas (mayores 3 mm) se distribuyen hasta la profundidad de 60 cm del suelo, con una abundancia mayor de los 20-30 cm (Figura 8). El ANDEVA con respecto a cada profundidad indica que existen diferencias significativas entre la longitud de las raíces muy finas respecto a las otras tres clases diamétricas hasta un metro de profundidad (anexo b), a partir de los 110 cm aun predominan las raíces muy finas, pero no existen diferencias significativas entre la longitud radical de cada una de las clases.

En la figura 10, se observa que la distribución de raíces de los pinos no es uniforme a lo largo del perfil, con base en el ANDEVA no se encontraron diferencias en la distribución de los distintos diámetros radicales.

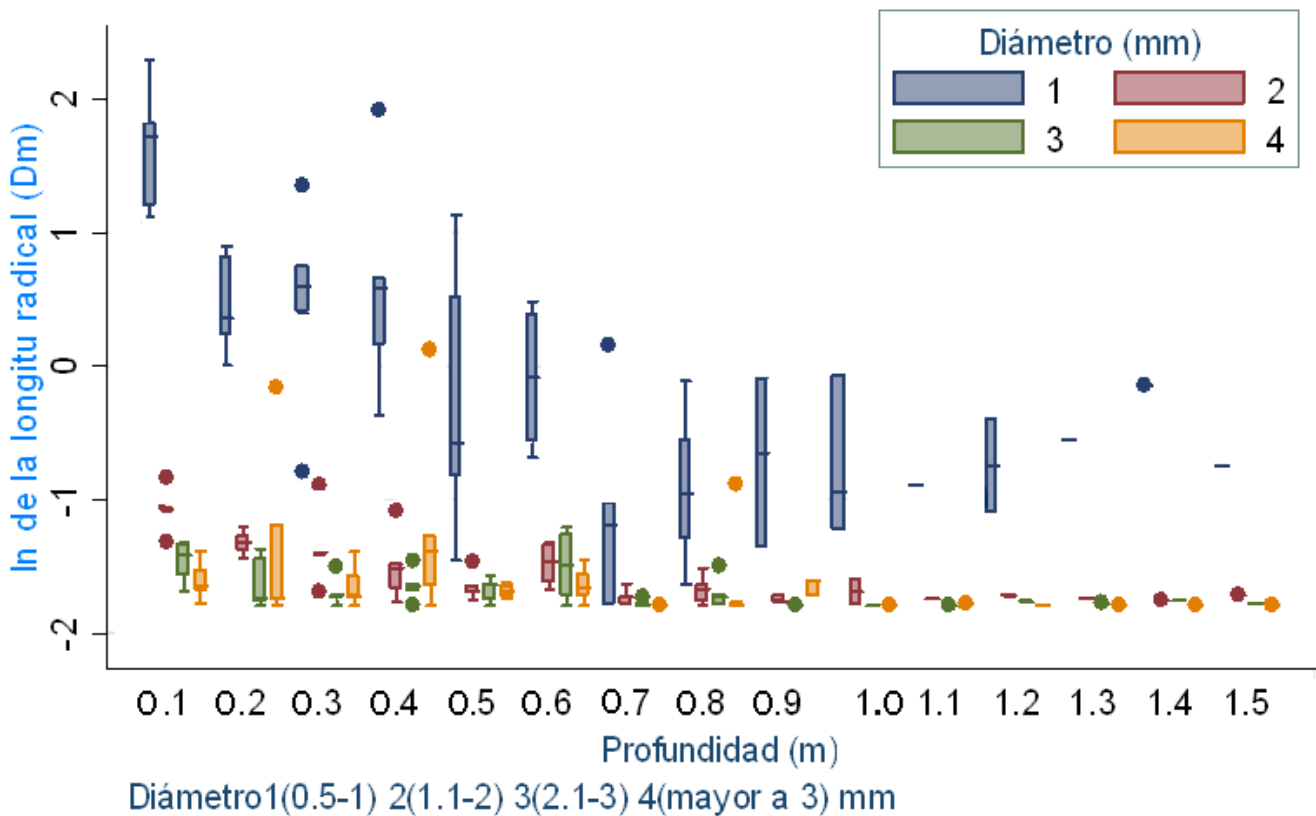


Figura 8. Variación de la longitud radical en el perfil de suelo en el BTSC

Con relación a la superficie radical en BTSC para cada diámetro, el ANDEVA indica que no hay diferencias significativas en las distintas profundidades del perfil, se observa claramente en la Figura 9, que las raíces más finas exploran el suelo hasta los 120 cm, en cambio las raíces gruesas están presentes hasta un metro de profundidad, a partir de donde disminuyen gradualmente. Un comportamiento similar al de la longitud se observa para el área de superficie radical en el BP (Figura 11). Cabe señalar que en BP, entre los 70 y 100 cm de profundidad se presenta un incremento del área de superficie, sobre todo de las raíces finas, esto puede explicarse como una respuesta de la planta a un incremento en la disponibilidad de recursos, al ser ésta una zona de enriquecimiento (horizonte B).

Para las raíces del BMM, el ANDEVA indica diferencias significativas para la longitud, entre las muy finas respecto a las otras clases diamétricas hasta los 70 cm de profundidad (Figura 12), en tanto que para la superficie no difieren (Figura 13).

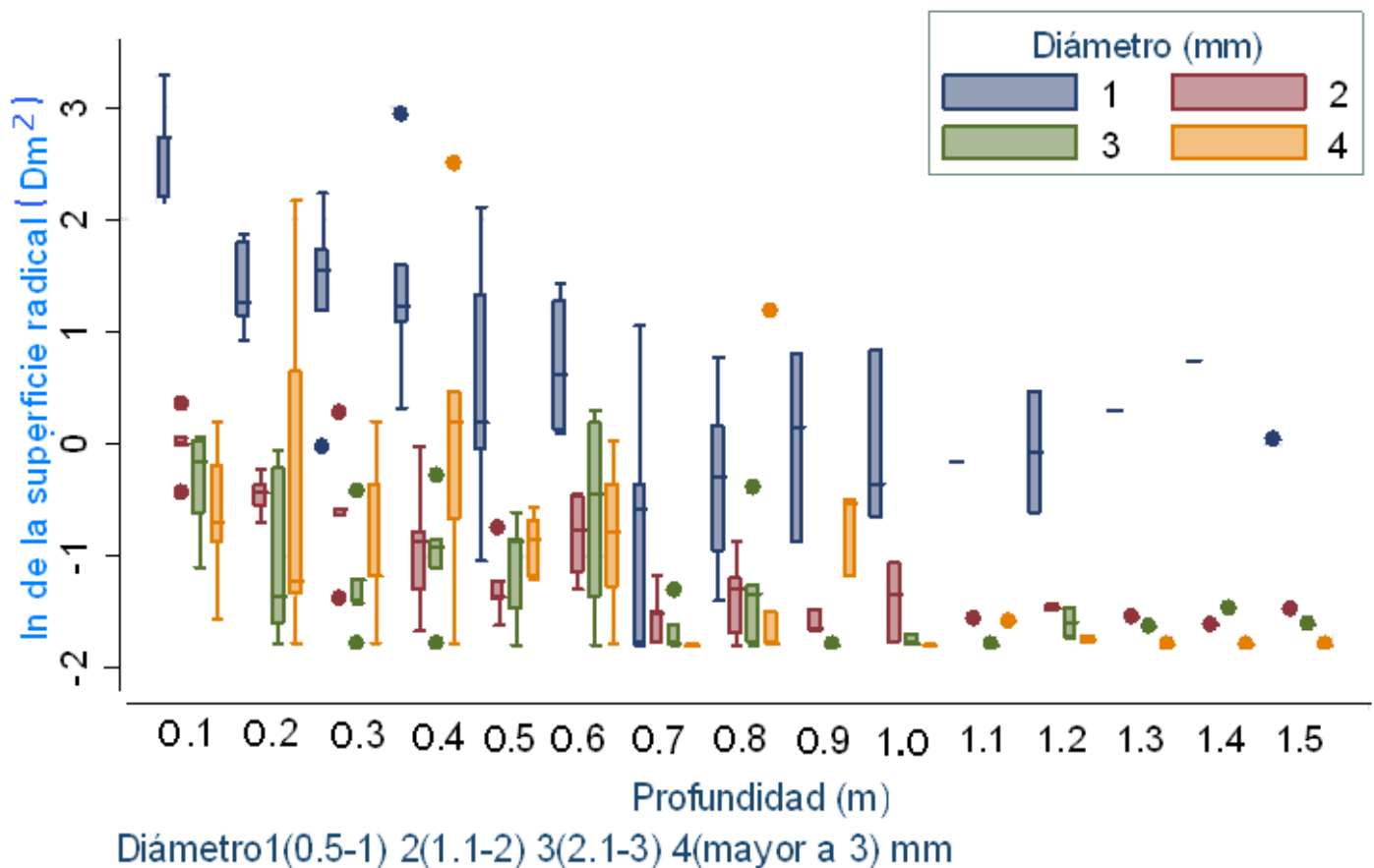
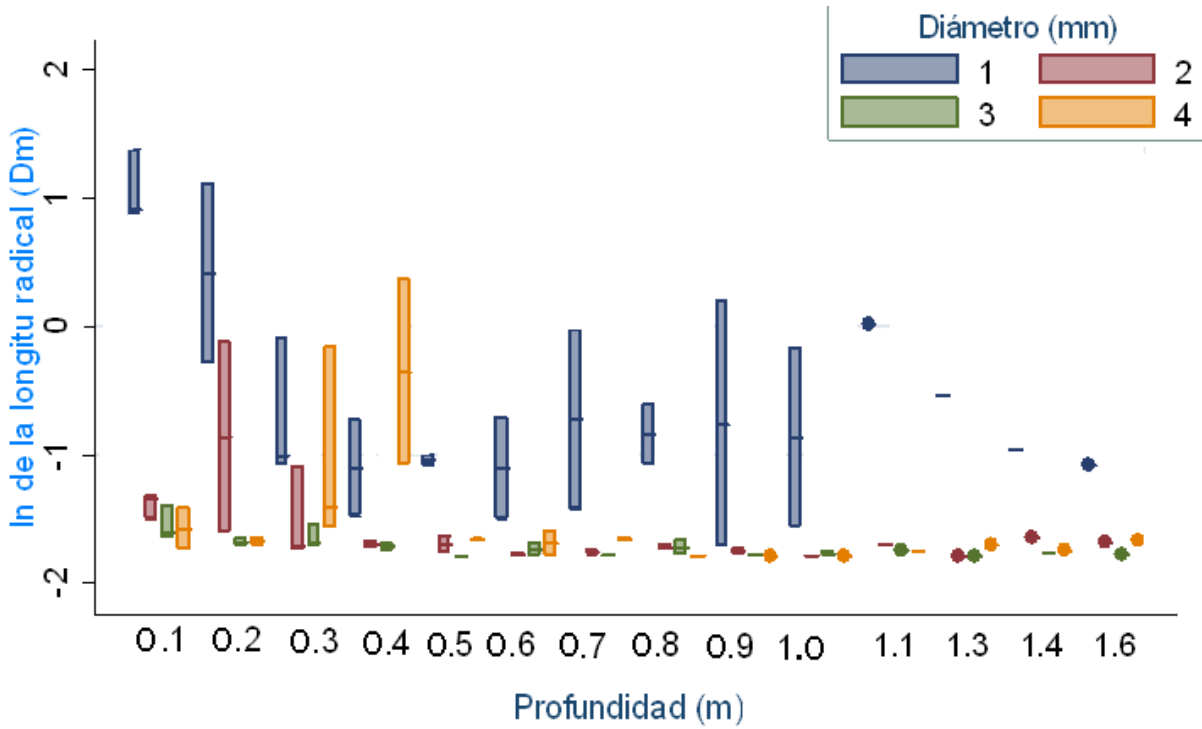
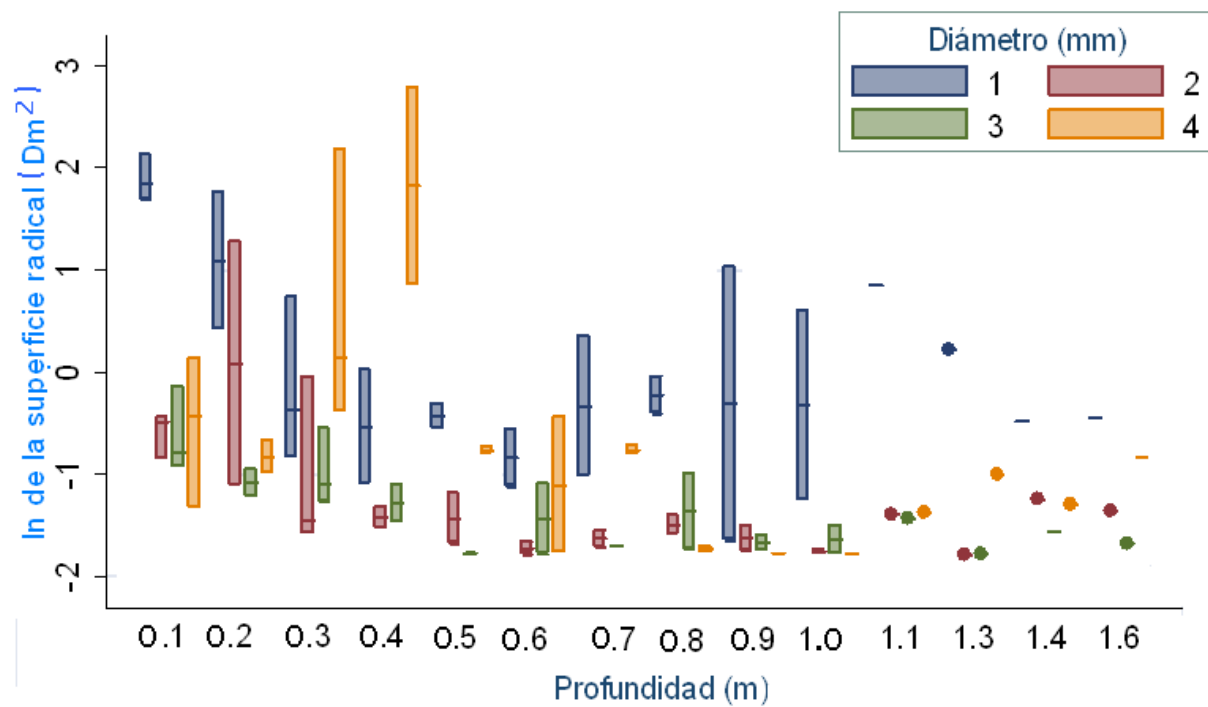


Figura 9. Variación de la superficie radical en el perfil de suelo en el BTSC



Diámetro 1(0.5-1) 2(1.1-2) 3(2.1-3) 4(mayor a 3) mm
 Figura 10. Variación de la longitud radical en el perfil de suelo en el BP.



Diámetro 1(0.5-1) 2(1.1-2) 3(2.1-3) 4(mayor a 3) mm
 Figura 11. Variación de la superficie radical en el perfil de suelo de los BP.

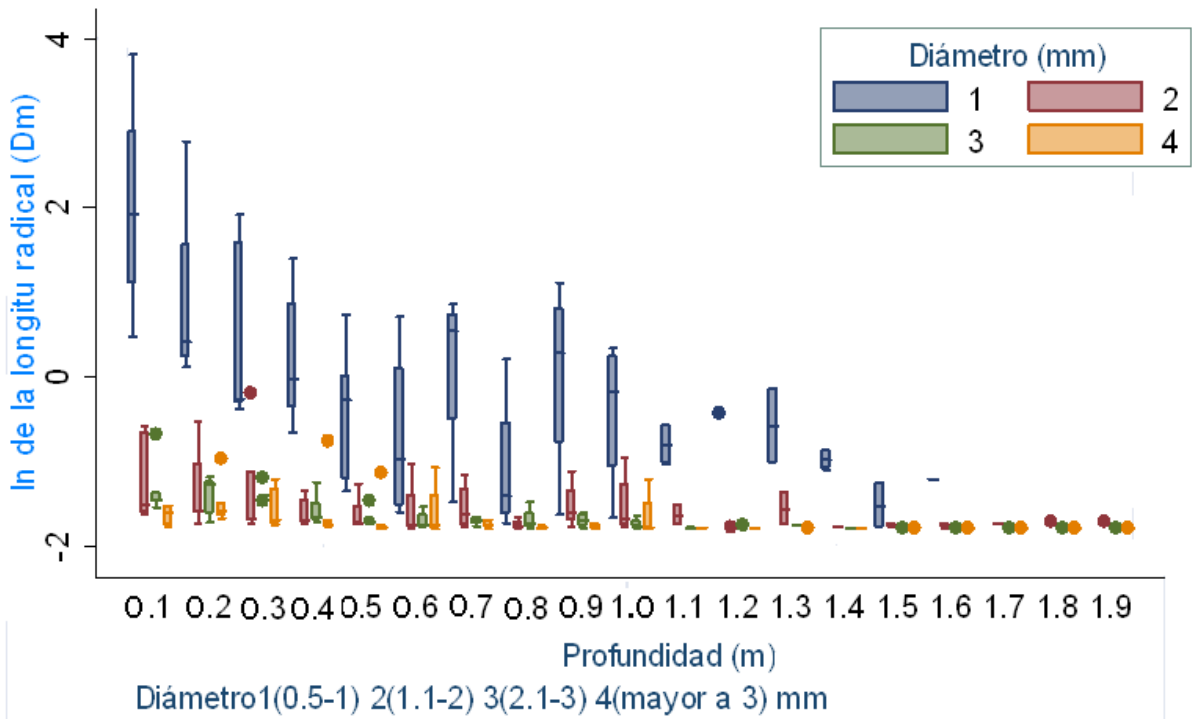


Figura 12. Variación de la longitud radical en el perfil de suelo del BMM

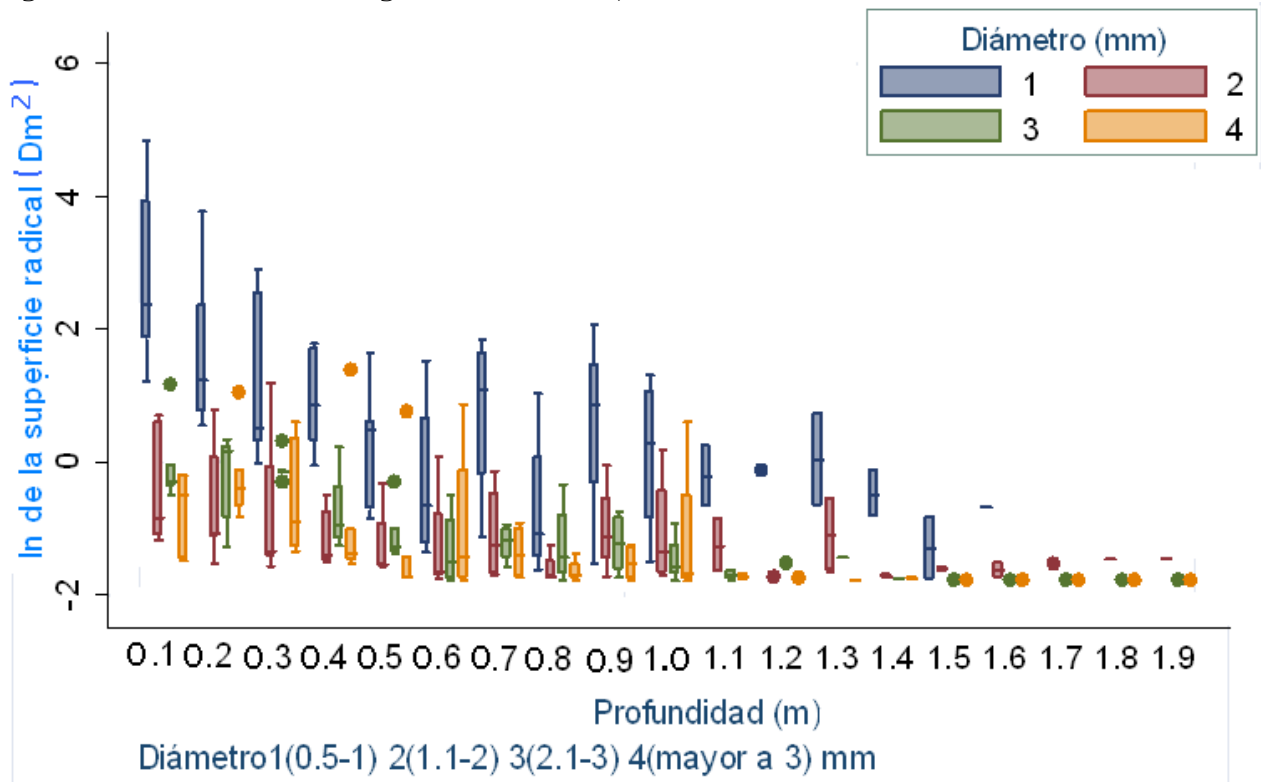


Figura 13. Variación de la superficie radical en el perfil de suelo en el BMM.

En la figura 14 se observa que el porcentaje total de la longitud a) y área de superficie b) de raíces muy finas tiene el orden BMM > BTSC > BP y oscila entre el 81-95 % dependiendo del tipo de vegetación, este mismo comportamiento se presenta para el área de superficie expuesta, sin embargo, para los pinares el 50 % de la superficie radical se debe a las raíces muy finas.

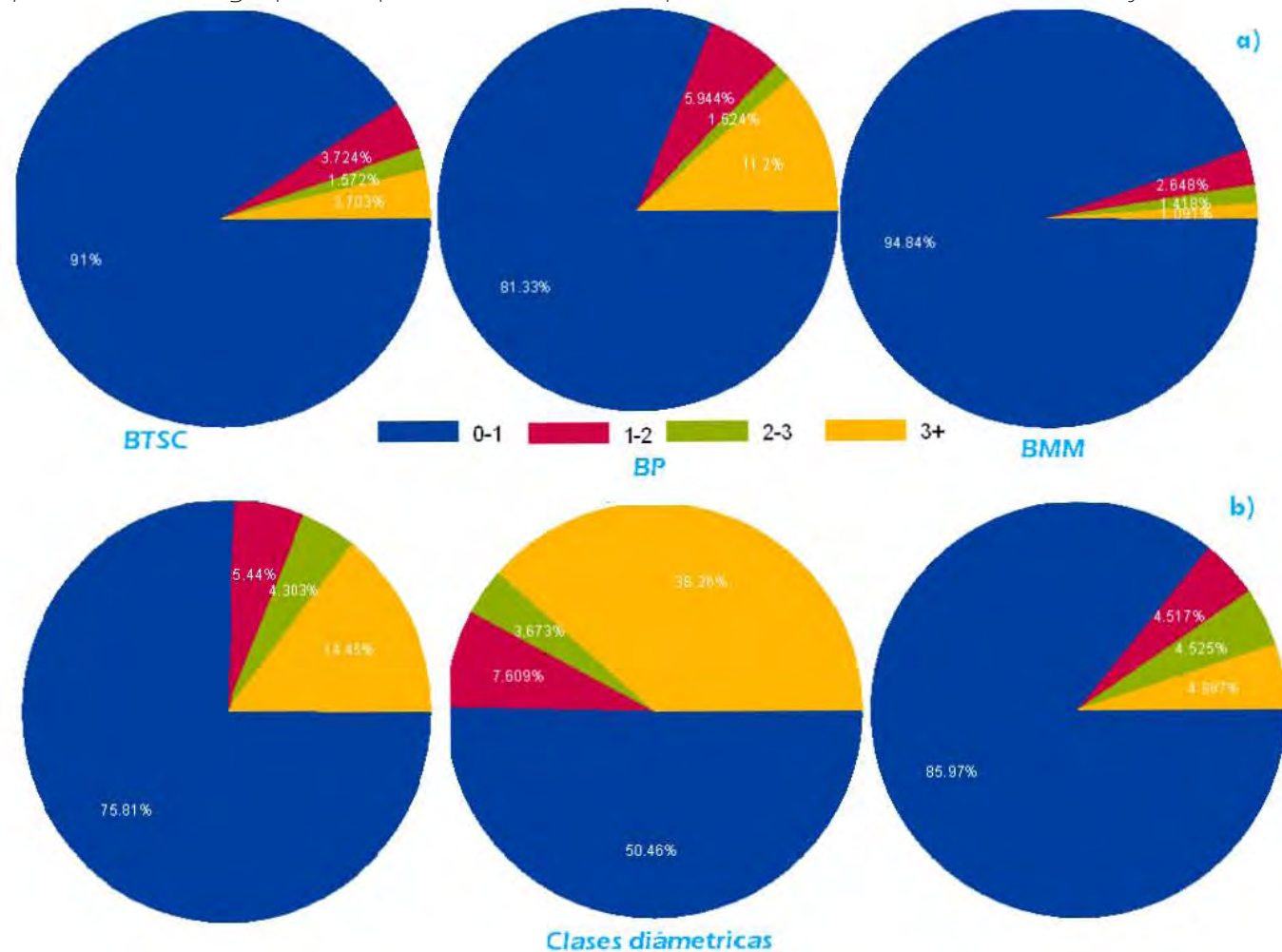


Figura 14. Longitud a) y área de superficie expuesta b) por tipo de vegetación. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM)

7.8 Correlación de los parámetros del suelo con el sistema radical.

En el cuadro 24 se muestra el análisis de correlación entre los parámetros longitud de raíz y área de superficie expuesta con la propiedades físicas y químicas del suelo, puede observarse que existe una moderada a fuerte relación entre las propiedades del suelo y las del sistema radical de manera que no se encuentran propiedades edáficas que limiten el crecimiento y arquitectura del sistema radical, cabe señalar que la materia orgánica y la DA son las dos propiedades fuertemente relacionada con el desarrollo del sistema radical muy fino en BTSC.

Cuadro 24. Correlación de los parámetros físicos y químicos del suelo con la longitud y superficie expuesta de las raíces.

<i>Tipo de vegetación</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Raíces muy finas</i>	<i>Raíces finas</i>	<i>Raíces mod. gruesas</i>	<i>Raíces gruesas</i>
BTSC	Clase diamétrica (mm)	1 (0.5-1)	2 (1.1-2)	3 (2.1-3)	4 (mayores de 3.1)
	Propiedad	Longitud			
	Densidad Real	-	moderada **	-	-
	Densidad Aparente	moderada*	fuerte **	moderada**	-
	Materia Orgánica	moderada**	fuerte **	moderada*	-
	Agua a CC	moderada*	moderada**	moderada*	-
	Espacio Poroso	moderada*	moderada*	moderada*	-
	CIC	-	moderada**	-	-
	pH activo	-	moderada*	-	moderada*
	BP	Densidad Real	fuerte**	fuerte**	-
BMM	Densidad Aparente	-	moderada**	-	-
	Materia Orgánica	-	moderada*	-	-
	Espacio Poroso	moderada*	moderada**	-	-
	CIC	-	-	moderada*	-
	Superficie				
BTSC	Densidad Real	-	moderada **	-	-
	Densidad Aparente	moderada*	fuerte **	moderada**	-
	Materia Orgánica	moderada*	fuerte **	moderada**	-
	Agua a CC	moderada*	moderada**	moderada*	-
	Espacio Poroso	moderada*	moderada*	moderada*	-
	CIC	-	moderada**	-	-
	pH activo	-	moderada*	moderada*	moderada*
BP	Densidad Real	fuerte**	fuerte**	-	-
BMM	Densidad Aparente	-	moderada**	-	-
	Materia Orgánica	-	moderada*	-	-
	Espacio Poroso	moderada*	moderada**	-	-
	CIC	-	-	moderada*	-

ρ : 0.40-0.69 moderada correlación, ρ : 0.70-0.89 fuerte correlación, las letras negras indican positiva y las azules negativa, - no se encontró correlación, significancia; * α menor 0.05; ** α menor 0.01

7.9 Nutrimientos en el suelo.

El contenido de S se reduce con la profundidad del suelo en BTSC, mientras que, en los suelos de BP y BMM es donde el % de S es similar en el perfil y únicamente se reducen en la zona de eluviación de 20-60, 20-70 cm respectivamente, a partir de esta profundidad la concentración de S se incrementa hasta los 80 cm en las dos coberturas vegetales para finalmente disminuir de manera gradual a medida que la profundidad aumenta. Los suelos de BTSC son los más ricos en éste nutriente (Figura 15).

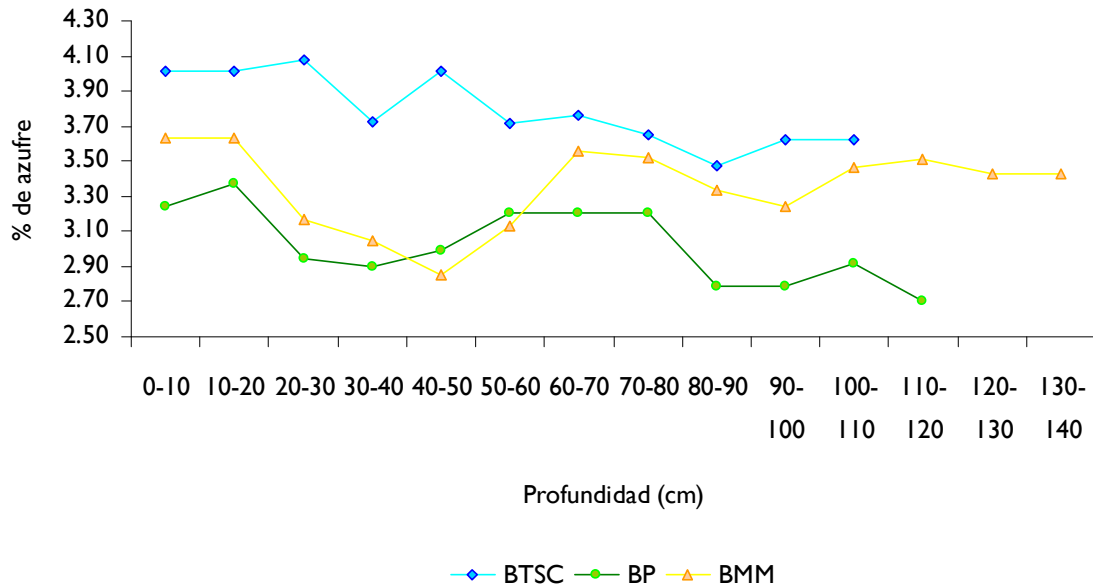


Figura 15. Relación del % de azufre con la profundidad del suelo para cada cobertura vegetal Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM).

En el Cuadro 26 se observa que todos los nutrientes decrecen con la profundidad, sin embargo para el N se presenta un horizonte de acumulación subyacente al espesor superficial de 10 cm. (Cuadro 26). El promedio en el contenido de este nutriente tiene el siguiente orden BMM>BP>BTSC (Cuadro 25). El contenido de P extraíble es muy similar, y el más alto en los BMM y BTSC. En BTSC se encontraron las más altas cantidades de los nutrientes que fueron analizados excepto N.

Cuadro 25. Promedio de nutriente por tipo de vegetación

Tipo de vegetación	de	BTSC	BP	BMM
Nutrientos (%)				
N		0.04	0.06	0.06
P		0.00008	0.00006	0.00008
K		1.45	0.57	0.59
S		3.79	3.07	3.34
Ca		0.02	0.01	0.02
Mg		0.51	0.18	0.45

Cuadro 26. Valores promedio y \pm desviación estándar de los nutrientes de los 5 perfiles del suelo para cada cobertura vegetal.

Profundidad (cm)	BTSC			BP			BMM		
	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %
0-10	0.08 \pm 0.09	0.00009 \pm 0.00006	1.88 \pm 1.02	0.10 \pm 0.07	0.00008 \pm 0.00003	0.50 \pm 0.53	0.06 \pm 0.06	0.00011 \pm 0.00007	0.74 \pm 0.69
10-20	0.08 \pm 0.09	0.00009 \pm 0.00006	1.88 \pm 1.02	0.14 \pm 0.12	0.00006 \pm 0.00003	0.36 \pm 0.14	0.06 \pm 0.06	0.00011 \pm 0.00007	0.74 \pm 0.69
20-30	0.03 \pm 0.02	0.00008 \pm 0.00001	1.89 \pm 0.79	0.14 \pm 0.11	0.00005 \pm 0.00001	0.31 \pm 0.19	0.06 \pm 0.07	0.00010 \pm 0.00008	0.78 \pm 0.76
30-40	0.02 \pm 0.02	0.00012 \pm 0.00001	1.42 \pm 0.82	0.14 \pm 0.11	0.00006 \pm 0.00001	0.84 \pm 0.19	0.11 \pm 0.06	0.00008 \pm 0.00007	0.75 \pm 0.79
40-50	0.03 \pm 0.02	0.00012 \pm 0.00001	1.66 \pm 0.52	0.13 \pm 0.09	0.00006 \pm 0.00001	0.93 \pm 0.41	0.12 \pm 0.08	0.00008 \pm 0.00008	0.61 \pm 0.75
50-60	0.03 \pm 0.02	0.00012 \pm 0.00001	1.210 \pm 0.62	0.05 \pm 0.02	0.00007 \pm 0.00005	1.16 \pm 0.68	0.12 \pm 0.08	0.00006 \pm 0.00006	0.64 \pm 0.73
60-70	0.03 \pm 0.02	0.00011 \pm 0.00000	1.35 \pm 0.85	0.05 \pm 0.02	0.00007 \pm 0.00005	1.16 \pm 0.68	0.12 \pm 0.08	0.00006 \pm 0.00006	0.48 \pm 0.46
70-80	0.02 \pm 0.01	0.00011 \pm 0.00001	1.29 \pm 0.92	0.05 \pm 0.02	0.00007 \pm 0.00005	1.16 \pm 0.68	0.10 \pm 0.06	0.00005 \pm 0.00006	0.55 \pm 0.58
80-90	0.01 \pm 0.01	0.00003 \pm 0.00001	1.17 \pm 0.93	0.02 \pm 0.01	0.00006 \pm 0.00002	0.83 \pm 0.27	0.10 \pm 0.06	0.00005 \pm 0.00006	0.40 \pm 0.37
90-100	0.02 \pm 0.01	0.00002 \pm 0.00001	1.13 \pm 0.74	0.02 \pm 0.01	0.00006 \pm 0.00002	0.83 \pm 0.27	0.07 \pm 0.06	0.00005 \pm 0.00006	0.39 \pm 0.38
100-110	0.02 \pm 0.01	0.00002 \pm 0.00001	1.13 \pm 0.74	0.01 \pm 0.00	0.00007 \pm 0.00002	0.35 \pm 0.18	0.06 \pm 0.05	0.00010 \pm 0.00011	0.50 \pm 0.60
110-120				0.01 \pm 0.01	0.00007 \pm 0.00008	0.34 \pm 0.43	0.07 \pm 0.05	0.00011 \pm 0.00010	0.40 \pm 0.55
120-130							0.07 \pm 0.05	0.00012 \pm 0.00010	0.39 \pm 0.55
130-140							0.07 \pm 0.05	0.00012 \pm 0.00010	0.39 \pm 0.55

La cantidad de Ca disminuye con la profundidad en todos los suelos estudiados de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca, indistintamente de la cobertura vegetal, sin embargo, en los suelos del BMM se registró el mayor porcentaje, seguidos por el BTSC, excepto en los primeros 20 cm del espesor del suelo, en donde la concentración de Ca es más alta. En los suelos del BP se presentan los más bajos valores para todo el perfil de suelo (Figura 16). En cambio para el Mg la mayor cantidad se encuentra en BTSC y la menor cantidad se encuentra en el BP, este nutrimento tiende a disminuir al aumentar la profundidad del suelo tanto en BMM como en BP, mientras que en el BTSC el comportamiento es opuesto (Figura 17).

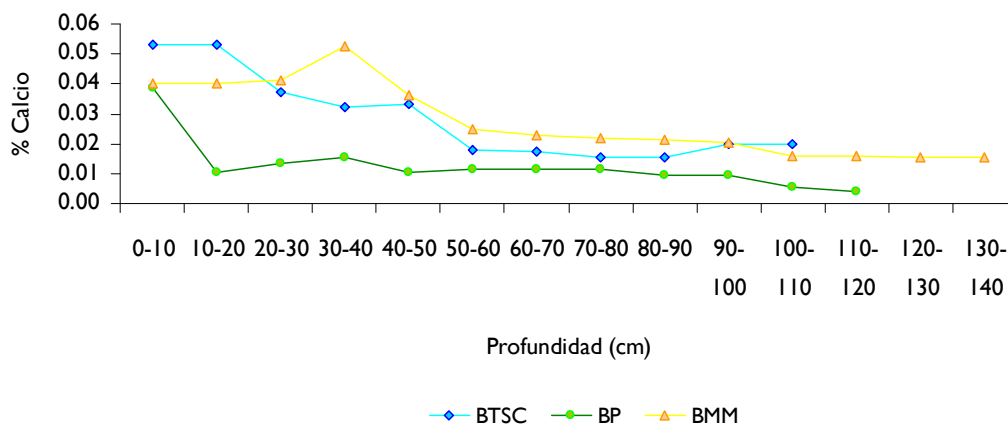


Figura 16. Distribución del Calcio en el perfil del suelo para cada cobertura vegetal. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM)

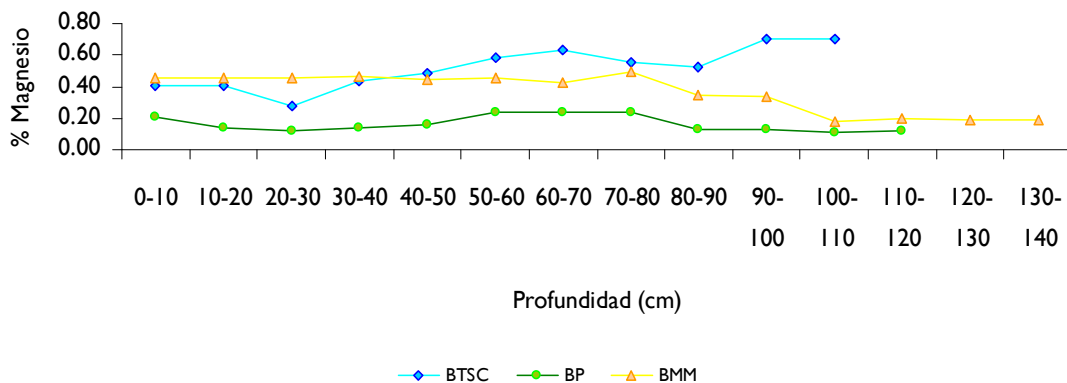


Figura 17. Distribución del Magnesio en el perfil de suelo para cada cobertura vegetal. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM)

7.10 Relación del sistema radical con los nutrimentos del suelo.

En el Cuadro 27 se observa que la cantidad de K influye positivamente la elongación de las raíces gruesas en BP, mientras que en BMM lo hace para todas las raíces afectando también el área de superficie expuesta; en BTSC, el K solo afecta a las raíces muy finas. Por otra parte el Ca en BTSC interviene favorablemente tanto en la elongación como en la superficie del sistema radical. En BMM la cantidad de Mg se relaciona tanto con la longitud como con la superficie de las raíces finas. El P extraíble en BP se correlaciona positivamente con la superficie de las raíces gruesas con una significancia de 0.01. En resumen, el Ca, P y K favorecen la producción de raíces gruesas. Particularmente al K se le encontró correlacionado con el sistema radical fino en BMM, al Ca se le encontró correlacionado con el sistema radical del BTSC en todos los diámetros, la correlación fue mayor al incrementarse el diámetro de la raíz.

Cuadro 27. Correlación entre los nutrimentos del suelo con la longitud y superficie radical en cada tipo de vegetación

Cobertura vegetal	Nutrimento	Raíces			
		Muy finas	finas	moderadamente gruesas	gruesas
	Clase diamétrica (mm)	1 (0.5-1)	2 (1.1-2)	3 (2.1-3)	4 (mayores de 3.1)
Longitud					
BTSC	% Ca	-	moderada*	moderada**	fuerte**
BP	% K	-	-	-	fuerte**
BMM	%Mg	-	moderada*	-	-
	% K	moderada*	fuerte**	-	moderada*
Superficie					
B TSC	% Ca	-	moderada*	moderada**	fuerte**
	%K	moderada*	-	-	-
BP	% P	-	-	-	fuerte**
	% K	-	-	-	fuerte**
BMM	%Mg	-	moderada*	-	-
	% K	moderada*	fuerte**	-	moderada*

p: 0.40-0.69 moderada correlación, p: 0.70-0.89 en todos los casos es positiva,- no se encontró correlación, significancia; * α menor 0.05; ** α menor a 0.01.

7.11 Relación de los nutrimentos en el suelo y los contenidos en tejido vegetal.

En el BTSC, el contenido de N en la hoja es 60 % más que el encontrado en la raíz y 92 % más alto que en el suelo. Un comportamiento muy similar se presentó para el BP y BMM, sin embargo de los dos almacenes evaluados, el suelo y el tejido vegetal, es en éste último donde se tiene el 94.5 % del N. En el caso del P, el 83 % ó más se encuentra almacenado en los suelos de las tres coberturas vegetales, en el BP se tiene la mayor cantidad en el suelo, las otras dos coberturas vegetales tienen cantidades muy parecidas. El K tiene como principal almacén el suelo, sobre todo en BTSC donde tiene el 66 % y tan sólo un 34% esta inmovilizado en el

tejido vegetal. En BP y BMM éste nutrimento está distribuido aproximadamente en un 50 % en el suelo y el resto en el tejido vegetal y la hoja es el órgano con más K (Figura 18).

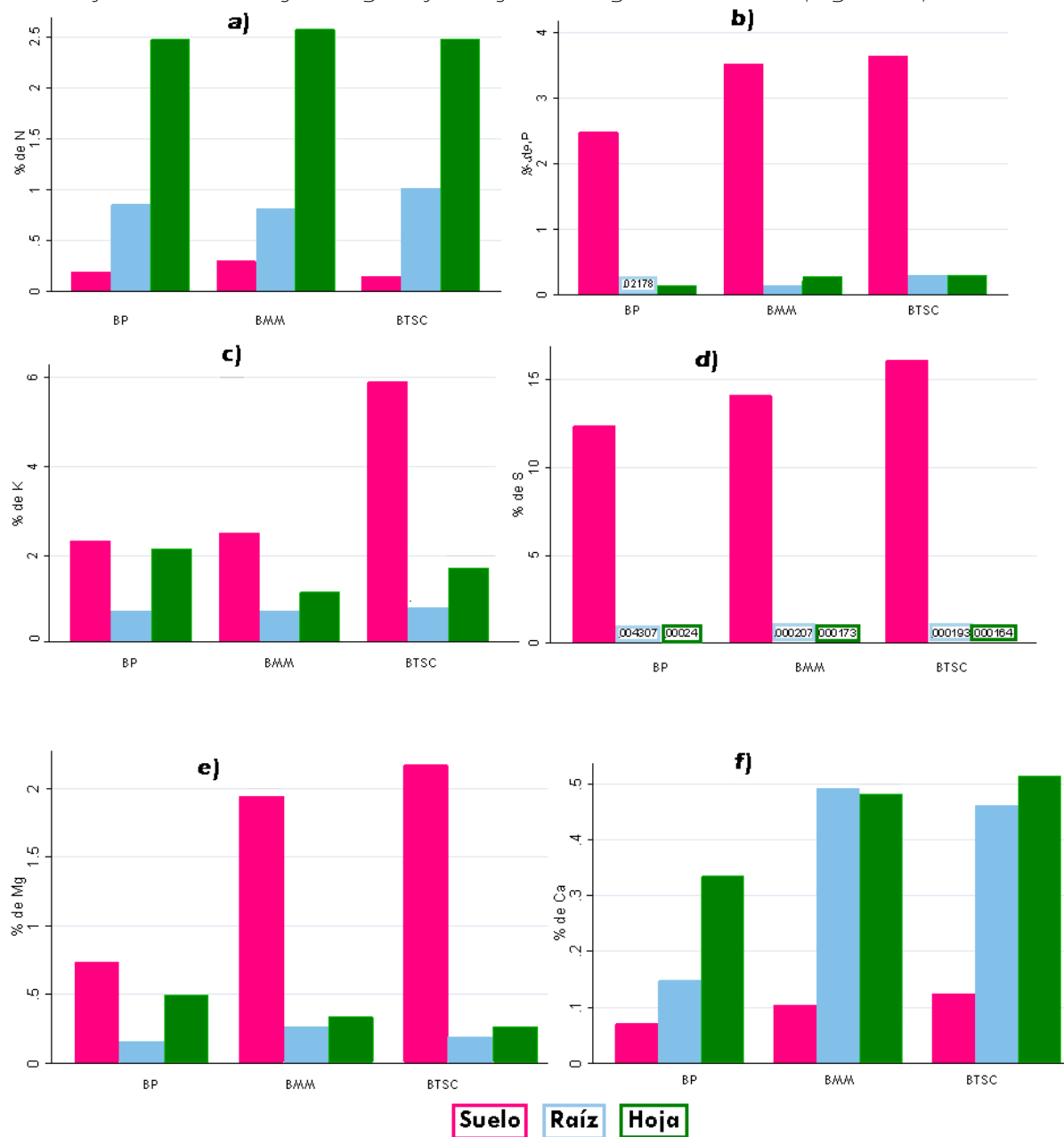


Figura 18. Promedio de macronutrientos primarios a). Nitrógeno, b). Fósforo c). Potasio y secundarios d) Azufre, e) Magnesio, f). Calcio, en cada tipo de vegetación. Bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo (BMM)

El S se encuentra en muy bajas cantidades en el tejido vegetal, sin embargo, en el suelo su contenido es alto. El S y el Mg en el suelo varían con cada tipo de vegetación en el orden BTSC>BMM>BP y la hoja tiene una cantidad ligeramente mayor de Mg que la raíz. Respecto al Ca, su contenido en la planta representa el 90 % o más en BTSC y BMM, las proporciones son muy semejantes en raíz y en hoja. En el BP éste nutrimento está almacenado en un 50 % más

en las hojas que en la raíz a su vez la hoja tiene aproximadamente 30 % menos Ca que el suelo (Figura 18).

7.12 Relación de los nutrientes en el suelo y las tres especies dominantes en cada cobertura vegetal.

En la Figura 19 se observan los siguientes efectos sinérgicos entre los nutrientes analizados en suelo, raíz y hoja para *Byrsonima crassifolia*. Mg de la raíz con el K en el suelo, Mg del suelo con el N de la raíz y Ca de la raíz con el K de la hoja. Por otra parte, se presentan los siguientes antagonismos: P con Ca en el suelo y Mg en la raíz y entre el Mg de la raíz con el S encontrado en la hoja.

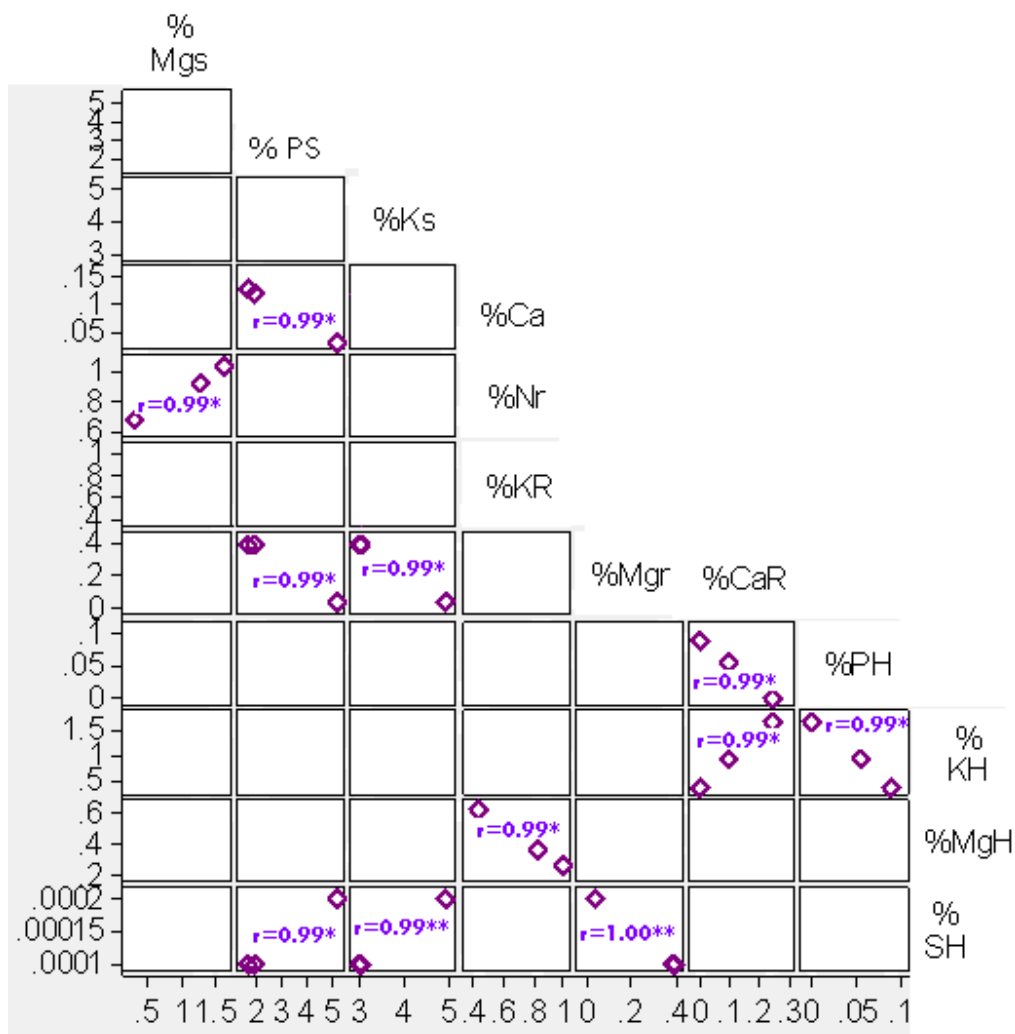


Figura 19.

Correlación entre los nutrientes del suelo, raíz y hoja en *Byrsonima crassifolia*. * α menor 0.05; ** α menor 0.01. Mgs: Magnesio en el suelo, PS: Fósforo en el suelo, Ks: Potasio en el suelo, Ca: Calcio en el suelo, Nr: Nitrógeno en la raíz, KR: Potasio en la raíz, CaR: Calcio en la raíz, PH: Fósforo en la hoja, KH: Potasio en la hoja, MgH: Magnesio en la hoja, SH: azufre en la hoja.

En la Figura 20 se observa la correlacionan positiva entre nutrientes para *Clethra mexicana* excepto entre el K contenido en la raíz y el contenido de N en la hoja. Del mismo modo, para *Hymenaea courbaril* se presenta sinergismo entre nutrientes excepto el antagonismo entre el K en la hoja con el Ca en el suelo (Figura 21).

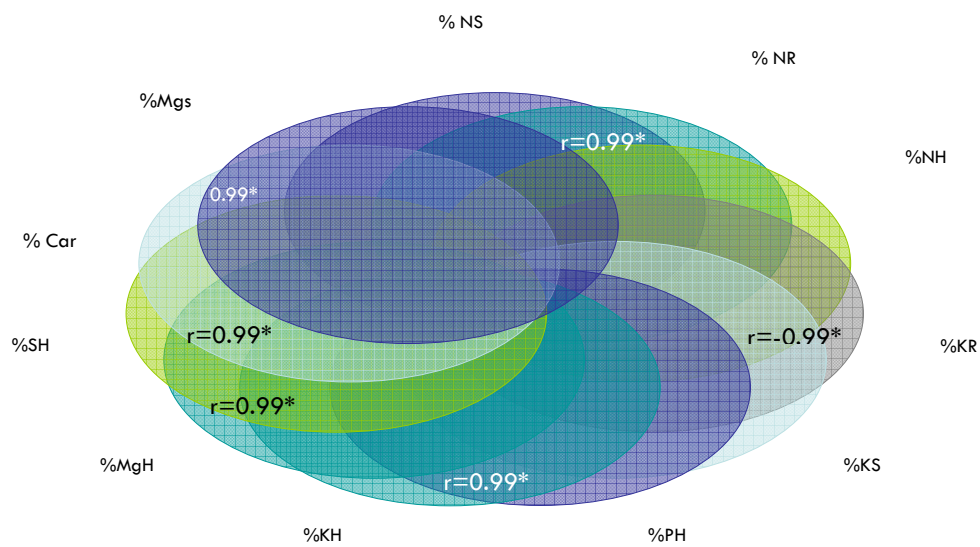


Figura 20. Correlación (r) entre los nutrientes del suelo, raíz y hoja en *Clethra mexicana*, Ks: Potasio en el suelo, NS: Nitrógeno en el suelo Mgs: Magnesio en el suelo, Nr: Nitrógeno en la raíz, KR: Potasio en la raíz, Car: Calcio en la raíz, NH: Nitrógeno en la hoja, PH: Fosforo en la hoja, KH: Potasio en la hoja, MgH: Magnesio en la hoja, SH: azufre en la hoja.

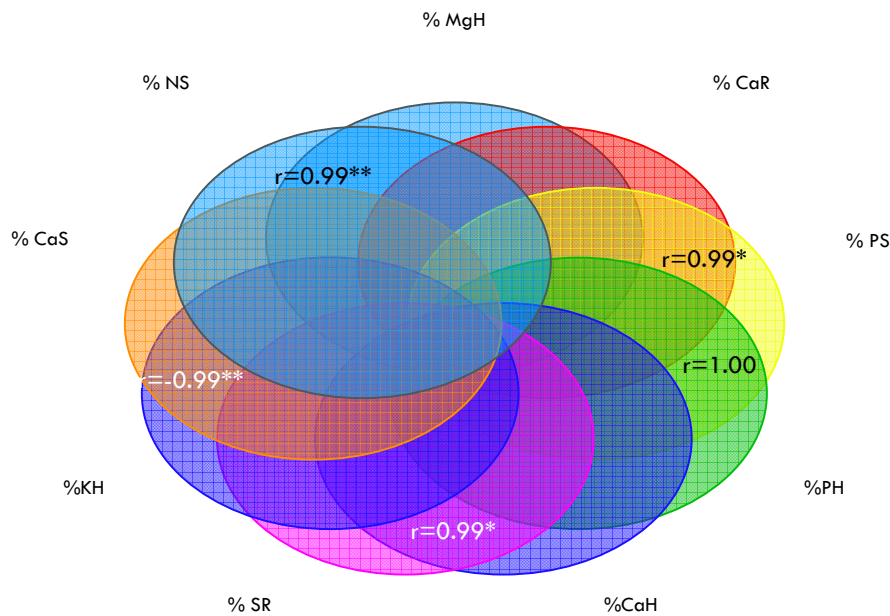


Figura 21. Correlación (r) entre los nutrientes del suelo, raíz y hoja en *Hymenaea courbaril*. NS: Nitrógeno en el suelo, PS: Fósforo en el suelo, CaS: Calcio en el suelo, SR: azufre en la raíz, CaR: Calcio en la raíz NH: Nitrógeno en la hoja, PH: Fósforo en la hoja, KH: Potasio en la hoja, MgH: Magnesio en la hoja.

La Figura 22 muestra las correlaciones que se establecen entre los nutrientes para las especies vegetales dominantes en el BMM. Se encontraron los siguientes sinergismos entre los nutrientes en el suelo: N con S y K, K con S y Mg y Ca con P, además Ca en el suelo con S y K en las hojas, y N del suelo con K de las raíces, un sinergismo positivo fue observado también entre el K de la raíz con S del suelo y entre el S de la raíces con Ca de las hojas. Los antagonismos observados son S y Ca del suelo y con el contenido de K en las hojas y entre el K del suelo con Ca del suelo. La correlación que se establece entre el K con el Ca en el suelo y S, K y Ca, en las hojas es negativa presentándose la misma correlación entre el Ca, S, en las hojas.

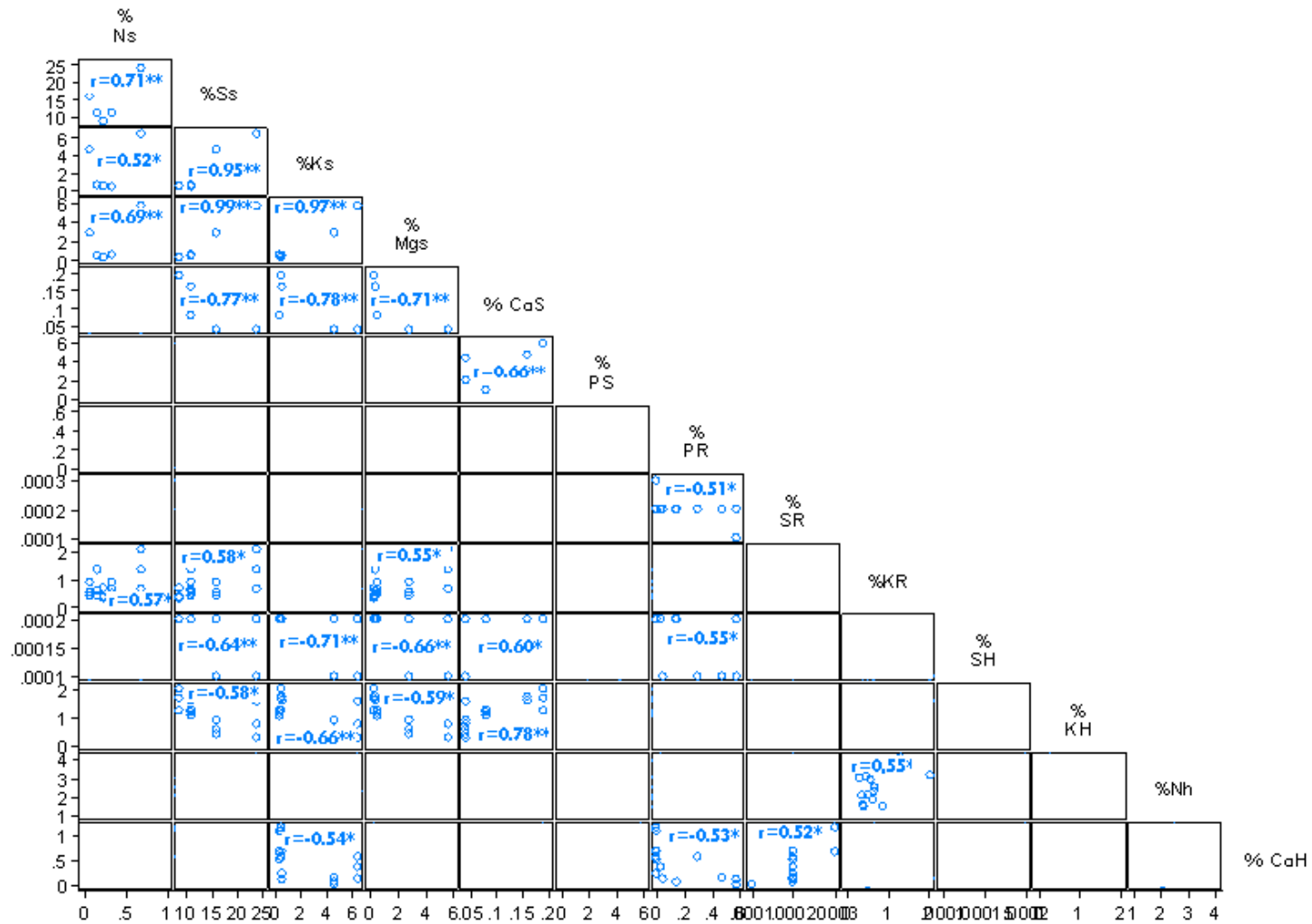


Figura 22. Correlación entre los nutrientes del suelo, raíz y hoja en BMM. *P menor 0.05; **P menor 0.01. NS: Nitrógeno en el suelo, Ss: Azufre en el suelo, Ks: Potasio en el suelo, Mgs: Magnesio en el suelo PS: Fósforo en el suelo, CaS: Calcio en el suelo, SR: azufre en la raíz, KR: Potasio en la raíz, SH: Azufre en la hoja, KH: Potasio en la hoja Nh: Nitrógeno en la hoja, CaH: Calcio en la hoja.

XIII DISCUSIÓN.

8.1 Desarrollo y diferenciación del suelo

El horizonte O varía de 2-15 cm de espesor, el promedio en el BP es de 12 cm, en el BMM el espesor promedio es de 8 mientras que, en BTSC se tiene a éste horizonte tan delgado como 5 cm, debido a la rápida descomposición del mantillo, determinada a su vez por la temperatura, humedad y la relación C/N más baja y en general a la mayor diversidad y composición de los residuos orgánicos aportados por esta comunidad vegetal (Currie, 1999). En comparación con esta cobertura vegetal en el BMM encontramos el horizonte O más grueso debido a las más bajas temperaturas y mayor relación C/N, lo cual hace que el proceso de mineralización de mantillo sea comparativamente más lento y tienda a acumularse más mantillo a lo largo del tiempo, lo cual muestra la heterogeneidad edáfica a lo largo de un gradiente altitudinal donde se ha observado que al incrementarse la altitud se presentan aumentos de la cantidad de materia orgánica (Grieve *et al.*, 1990) y de la relación C/N (Schrumf *et al.*, 2001), consecuentemente las tasas de mineralización y nitrificación decrecen con la altitud (Marrs *et al.*, 1988).

Finalmente se encontró que en BP, el horizonte orgánico va de los 10-15 cm, es decir, el más grueso de las 3 coberturas vegetales, esto se explica por la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo (MOS) de esta cobertura, la baja cantidad de leguminosas, la alta relación C/N, la presencia de una gran cantidad de resinas que inhiben las poblaciones microbianas y por ende reducen la tasa de mineralización dando como resultado una mayor acumulación de mantillo.

Se halló que bajo el BMM, los suelos tienen un mayor grado de diferenciación de horizontes en donde los procesos de translocación en su mayoría de arcilla para dar origen a un horizonte Bt son siempre una constante, ello implica un horizonte A suprayacente grueso, mayor a 30 cm regularmente subdividido en horizonte A₁, A₂ y en algunos casos A₃. La arcilla no es el único coloide que participa en este proceso de translocación, también el humus tiene este comportamiento aunque es menos evidente, estos procesos de translocación y los materiales involucrados durante él, explican la influencia que tiene la cubierta vegetal al afectar la infiltración, almacenamiento, flujo sobre la superficie del suelo, flujo lateral y percolación del agua en el suelo (Blanco y Lal, 2008), con lo cual tiene lugar la mayor diferenciación del perfil favorecido por un continuo aporte de hojarasca, que da como resultado la permanente presencia de una capa de mantillo que evita la escorrentía, al favorecer la infiltración, por lo tanto la translocación de material y descomposición con producción de humus pero desde luego esta relación suelo-vegetación que hace también posible los procesos de translocación de los coloides en el suelo, guardan un equilibrio con el clima, particularmente los volúmenes y la distribución de la precipitación en el sitio, dando como resultado una relación suelo-clima-vegetación.

8.2 Propiedades físicas-químicas del suelo

En la cuadro 21 se observa que la DR del suelo no sobrepasa el valor de 2.86 g/cm^3 y el mínimo es de 2.41 g/cm^3 , el primero en BP y el segundo en el BTSC, se observa que la DR en las tres coberturas vegetales no es muy variable, ya que esta determinada por los principales minerales que componen al suelo como el cuarzo, los feldespatos y otros silicatos del material parental (Reyes, 1996) en cambio existen diferencias en la DA, sin embargo, no hay una amplia variación en este parámetro en el BP y el BTSC, por el contrario en el BMM se observa que la DA es menor. En general la DA se incrementa con la profundidad, de acuerdo con Sutton (1991), la DA generalmente se incrementa con la profundidad a medida que el contenido de materia orgánica y la actividad biológica se reducen, se puede ver que en los suelos de las comunidades estudiadas la DA desciende al incrementar la profundidad (Cuadro 21).

Por otra parte, la textura y en particular el contenido de arcilla influencia la DA (da Silva y Kay, 1997) e incluso puede crear problemas de drenaje, por lo cual el EP se reduce (Cuadro 22). El bosque mesófilo tiene el mayor porcentaje de retención de humedad e igualmente el mayor % de EP en los suelos de esta cobertura vegetal el contenido de arcilla oscila entre 13.81 y 32.16% (intermedio respecto a los suelos de los otros coberturas vegetales) y la menor DA, en cambio en el BP se registró el mayor % de arcilla y la menor retención de agua. En el BMM y BTSC se tiene un contenido de arcilla que se incrementa con la profundidad produciendo la formación de un horizonte Bt.

Los valores de pH de los suelos en BP se debe a la naturaleza acidificante del mantillo de las coníferas, al avance del intemperismo de la mayoría de los materiales geológicos y a los ciclos biogeoquímicos que tienen los cationes básicos, influenciados por la precipitación local favorecida por el buen drenaje y pendientes que se presentan en los sitios muestreados. De acuerdo con Wong *et al.*, (2004) factores como la precipitación, drenaje interno y pendientes favorecen el intemperismo y la lixiviación acidificando los suelos, desde luego en las mismas condiciones incluso con mayor intensidad se encuentran los suelos del BTSC y BMM, sin embargo, la menor acidez se explica por la composición nutrimental de los residuos vegetales que conforman el mantillo en el BTSC y la rápida mineralización que tiene lugar en el BTSC (Towsend *et al.*, 1995).

El valor menos ácido en los suelos del BMM, se explican tanto por la composición nutrimental de los residuos depositados en el mantillo como por el material geológico calcáreo que da origen a los suelos donde se distribuye en BMM en el municipio de Putla, si bien los procesos de mineralización y lixiviación influyen activamente la pérdida de las bases en los suelos, la vegetación a través del sistema radical profundo absorbe e incorpora a la biomasa foliar entre otros a los nutrimentos básicos Ca, Mg, K y Na, que retornan a su vez a la superficie del suelo vía aporte de la hojarasca, de esta manera, la vegetación influencia la disponibilidad de nutrimentos en el suelo (Singh, 2004), debido a que cada especie vegetal tiene cantidades distintas de los mismos en el tejido, los cuales se liberan en el suelo vía mineralización (Yi *et al.*, 2007) .

En resumen, en los BMM que se estudiaron, los cationes básicos se mantienen en el complejo de cambio del suelo y en su solución en una concentración tal que determina un pH mayor de 5.9 por dos procesos 1) la liberación por intemperismo de la roca calcárea, y 2) por la liberación mediante la mineralización del tejido vegetal aportado al mantillo. En la superficie de los suelos de las tres coberturas vegetales se encuentra el menor valor debido al contenido de arcilla y materia orgánica humificada en este espesor del suelo.

El hecho de que en el BMM se tenga mayor CIC se debe a que bajo condiciones de pH neutro se forma el humus de mejor calidad, si bien no se tiene pH neutro en el BMM, si es el más cercano a la neutralidad y por ende favorece la formación del mejor humus y mayor cantidad en comparación con la BTSC donde el pH es más ácido y la mineralización de la MO es más rápida y completa dando como resultado menor cantidad de materia orgánica humificada y consecuentemente menor CIC.

En los BP la cantidad y calidad de la materia orgánica determina la diversidad microbiológica, añade fertilidad al suelo, retiene agua y tiene una gran influencia sobre el crecimiento de la vegetación. Las cantidades más bajas de materia orgánica se encontraron en BP, los residuos vegetales del pinar se caracterizan por la presencia de polifenoles y taninos que inhiben la mineralización y consecuentemente están inversamente asociados con los índices de fertilidad (Kraus *et al.*, 2004).

La CIC es claramente superior en el BMM seguido BP, lo cual está directamente influenciado por la arcilla y el % de materia orgánica, el contenido de arcilla es ligeramente superior en el BP, sin embargo aquí la CIC no es la más alta debido a que el contenido de materia orgánica es bajo y el proceso de mineralización es más lento de acuerdo con lo señalado por Raulund-Rasmussen y Vejre (1995) quienes indican que la acumulación de hojarasca bajo ciertas especies está relacionada negativamente con la fertilidad del sitio. En este caso, la cobertura de pinar tiene una correlación negativa con la fertilidad del suelo, lo que no sucede en las otras dos coberturas vegetales. La baja CIC en los pinares también se debe al pH ácido, condiciones bajo las cuales la carga variable hace disminuir los sitios de intercambio (Bohn, 1993).

8.3 Relación propiedades del suelo-raíz

El análisis de correlación entre los parámetros del suelo para el BTSC (Figura 5), confirman la relación que se presenta entre el contenido de materia orgánica y retención de humedad, DA y espacio poroso. Estas propiedades son fundamentales para condicionar un ambiente radical favorable tanto para la absorción de nutrimentos y agua, como para que la raíz cuente con intercambio gaseoso que le permita cumplir eficientemente con su función. Por otra parte, de manera más limitante para la vegetación, se encontró al pH, contenido de arcilla y CIC, sin embargo, estas propiedades no representan una desventaja significativa debido a las tasas de aporte y mineralización del mantillo que mantienen la dinámica nutrimental entre el suelo y la vegetación, en donde los dominantes ecológicos juegan un papel importante.

Diversos trabajos han demostrado que el crecimiento de las raíces finas y su distribución en el perfil del suelo se correlacionan positivamente con el contenido de agua (Powers et al., 2005), lo cual apoya los resultados obtenidos en este trabajo, pues la retención de humedad en la BTSC se correlaciona positivamente con la longitud y superficie (Cuadro 24), tanto de las raíces finas como de las muy finas. De acuerdo al trabajo realizado por Zhou & Shangguan (2007), el agua juega un papel preponderante en el crecimiento y distribución de las raíces finas, esto no sucede con la longitud y superficie en las raíces en las otras coberturas vegetales, esto es consistente con los resultados obtenidos por López *et al.* (2001), Davis *et al.* (2004), Chen *et al.* (2005), en diferentes comunidades de plantas. También se encontró que el número, la superficie y longitud de las raíces muy finas y finas se incrementó con el porcentaje de materia orgánica en las tres coberturas vegetales, esto es consistente con lo obtenido por Sands y Mulligan (1990), quienes indican que la densidad de raíces es mayor cerca de la superficie del suelo donde la disponibilidad de nutrimentos, resistencia mecánica, aireación y temperatura son más favorables que en la profundidad.

Una alta densidad de raíces puede proporcionar una interfase/atmósfera que incrementa la difusión de oxígeno en el suelo (Mainiero y Kazda, 2004) de acuerdo con este autor en este estudio se encontró una mayor densidad de raíces en los suelos del BMM, también en estos suelos, la profundidad a la que penetran un mayor número de raíces es superior a un metro, la distribución estacional de la humedad en el suelo debido a causas termo-puviómetricas, topográficas y edáficas provoca la muerte de muchas raíces finas (noviembre a mayo) y su descomposición, incrementa la porosidad de la zona radical en una relación directamente proporcional a su densidad en el suelo, lo cual conduce a un incremento en el transporte de oxígeno y consecuentemente se satisfacen los requerimientos del metabolismo fisiológico, de la alta densidad de las raíces, esto concuerda con lo reportado por Colmer (2003) y Xie *et al.* (2008). Desde luego, cuanto más se incrementa la densidad, la masa por unidad de volumen de suelo ó el diámetro de las raíces, con mayor facilidad ocurrirá el intercambio gaseoso O₂ del aire, por CO₂ producto de la respiración de la biota que habita en el suelo para el sistema de raíces fisiológicamente activo, lo cual mejorará las condiciones físicas y químicas y facilitará la exploración más profunda del sistema radical en el suelo.

En el presente estudio, se encontraron mejores condiciones edáficas para el sistema radical en el BMM que en BTSC y en este mejores que en BP. La profundidad del

sistema radical, su crecimiento y arquitectura, está influenciado por la disponibilidad de oxígeno en el suelo para las raíces (Sorell *et al.*, 2000). Entre los factores que restringen la disponibilidad de oxígeno en el suelo están la inundación (Clevering *et al.*, 1996), compactación, alta densidad del suelo y drenaje deficiente (Schenk, 2005). El único tipo de vegetación en donde se encontró que la difusión del O₂ para el sistema radical es limitante por la más alta densidad y compactación es el BP, esto explica la más baja longitud radical en estos bosques (Figura 10), donde predominan las raíces gruesas (83%) respecto a las raíces finas.

Una disminución en la humedad del suelo impide la producción de raíces principalmente a través del cambio en las propiedades físicas (Bengough *et al.*, 2006; Zhou & Shangguan 2007). En el BP se registraron las más bajas retenciones de humedad (Cuadro 20) y las menores coberturas de la vegetación, favoreciendo la evaporación, redundando en la muerte del sistema radical fino y favoreciendo un sistema radical pivotante. Ante las condiciones estresantes las plantas tienen estrategias para absorber agua y nutrientes, una de ellas es la producción de raíces finas con mayor longitud y área superficial por unidad de masa, sobre todo, donde la competencia subterránea es alta (Hauggaard-Nielsen, 2001) como en el BMM, donde la estacionalidad influye la dinámica de nutrientes a través de procesos ecosistemas como mineralización de mantillo, tasa de inmovilización del N y de otros nutrientes, o bien, mediante la regulación de las poblaciones microbianas. Con el declive de la humedad y disponibilidad de nutrientes durante la estación seca, parte del sistema radical fino muere, la caída del follaje tiene lugar y el metabolismo de la planta se reduce para activarse cíclicamente año con año.

Las plantas pueden también responder aprovechando la plasticidad en la arquitectura de la raíz (Whal *et al.*, 2001), de este modo, en este estudio se encontró que cuando la competencia por los recursos es fuerte algunas especies como *Zinowiewia concinna*, *Saurauia scabida*, *Roupala montana*, del BMM, la evitan a través de un sistema radical pivotante donde la raíz primaria es profunda y el número de raíces laterales es escaso y poco ramificado.

Una estrategia más consiste en que las distintas especies arbóreas dominantes, ajustan el crecimiento de diferentes órganos para maximizar la absorción de recursos, por ejemplo, cambio en la asignación de fotosintatos hacia la biomasa de la raíz para incrementar la masa de la misma de acuerdo a la disminución de la humedad del suelo, esta estrategia es particularmente válida en BP donde las raíces gruesas dominan y la disponibilidad del agua se reduce gradualmente por la estacionalidad. En este mismo tipo de vegetación la planta puede cerrar sus estomas y reducir la conductancia estomatal (Williams *et al.*, 1998) para evitar la transpiración y difusión de CO₂, el resultado es una menor cantidad de C lábil disponible para la planta que reduce la producción de raíces a medida que la humedad disminuye.

En este estudio se ha observado que el sistema radical se comporta de manera distinta en cada cobertura vegetal, por otra parte, es bien conocido que las condiciones del suelo afectan los parámetros de longitud/diámetro de un sistema radical, lo cual es claro para este trabajo pues en el BMM las raíces finas del sistema radical se distribuyen el suelo más profundamente (Figuras 12, 13), seguido por el BTSC, donde también las raíces finas son las que distribuyen más profundamente el suelo (Figura 8, 9), aunque también están presentes las gruesas. A diferencia de las

coberturas vegetales anteriores, en el BP el suelo es explorado en menor profundidad tanto por las raíces finas como por las gruesas (Figura 10, 11) (Nye y Tinker, 1977).

8.4 Nutrientes en el suelo

En congruencia con los niveles de SO_4^{2-} en los suelos de BMM, se encontraron los de Ca y Mg de acuerdo con el análisis de correlación ($r= 0.49$ $p= 0.0223$), confirmando la presencia de CaSO_4 como parte de la composición del material geológico, este mineral juega un importante papel en la composición iónica de la solución del suelo del bosque mesófilo de montaña, lo cual tiene implicaciones directas en la disponibilidad de los nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} , para la vegetación, en la regulación del pH ligeramente ácido y con ello incidiendo en la disponibilidad de nutrientes como $\text{NO}_3\text{-N}$, en $\text{NH}_4\text{-N}$ y H_2PO_4 , promoviendo los procesos de mineralización del mantillo e inmovilización del N y C, incrementando su almacenamiento en el suelo, bien sea como biomasa microbiana o como MOS, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo, como estructura, drenaje interno, CIC e intercambio gaseoso entre otras (Xie *et al.*, 2008).

De acuerdo con Madritch y Hunter (2002) e Yi *et al.* (2007), estos efectos reguladores son más claros en las comunidades vegetales, ya que las especies individuales en función de su forma de vida, biomasa y composición química de sus tejidos influyen significativamente procesos ecosistémicos como: tasas de mineralización y formación del suelo, llegando a inducir cambios persistentes y determinantes en la estructura y funcionamiento del ecosistema, de este modo, es claro en este sentido, que los dominantes ecológicos *Quercus*, *Ostrya virginiana*, *Liquidambar styraciflua*, *Conostegia arborea*, *Oreopanax sanderianus*, *Cyathea divergens* var. *tuerckheimii*, *Quercus*, *Alnus acuminata*, *Quercus aristata*, *Zinowiewia concinna*, *Saurauia scrobata*, *Eugenia capuli*, *Rogiera amaena*, *Roupala montana*, juegan un papel determinante en los BMM de Putla. Estas especies influyen y regulan las propiedades del suelo y la estructura y el funcionamiento del ecosistema.

Por otro lado, en las comunidades de pino las especies, *Pinus oocarpa*, *Byrsonima crassifolia*, *Curatella americana*, *Pinus teocote*, *Clethra mexicana*, *Quercus crassifolia*, *Clethra hartwegii*, *Pinus maximinoi*, *Quercus glaucioides* y *Pinus pseudoestobus*, cumplen con esta función y en la BTSC lo hacen las especies *Homalium senarium*, *Calophyllum brasiliense*, *Dendropanax arboreus*, *Ficus obtusifolia*, *Bursera simaruba*, *Saurauia aspera*, *Cupania glabra*, *Hymenaea courbaril* y *Guarea glabra*.

La relación Ca:Mg para que ambos nutrientes sean absorbidos por la planta varía entre 1:1 a 4:1, los resultados que se muestran en el Cuadro 25 indican una buena relación para la disponibilidad de ambos nutrientes, excepto para los suelos de BTSC, donde la relación oscila de 0.03-0.13, sobre todo, en la profundidad, quizá esto actúe como un regulador de la productividad en las coberturas vegetales de este tipo de vegetación (Gaucher, 1971).

La solubilidad del CaCO_3 es de 0.013g L^{-1} , la del CaSO_4 2.04 L^{-1} , por su solubilidad debe quedar claro que los materiales calcáreos, tienen entre sus componentes a estos minerales. Así, el S tiene en la naturaleza una moderada movilidad sobre todo en suelos derivados de rocas sedimentarias de alta susceptibilidad al intemperismo,

como los materiales geológicos del BMM del municipio de Putla. Las mayores concentraciones de S en los suelos del BTSC se deben a que estos son sitios receptores de este nutrimento, que es lixiviado de las partes altas que ocupan el BMM y el BP. Los suelos de BP al tener los materiales más intemperizados y lixiviados, (más ácidos), son los que tienen menor concentración de este elemento, mientras que, la roca calcárea presente en los suelos del BMM, por su origen tiene una mayor cantidad de S y dada su solubilidad, este nutrimento se está liberando permanentemente por intemperismo, equilibrando las pérdidas de este nutrimento por lixiviación, sobre todo, en la profundidad de 0.7-1.4 metros. La mayor concentración que se mantiene en los primeros 20 cm del espesor del suelo, se deben a la acción que tiene la vegetación, y en particular los dominantes ecológicos al actuar como bombas absorbiendo este nutrimento de la profundidad, incorporándolo a su biomasa y retornándolo a la superficie para ser liberado durante la mineralización del mantillo (Madritch y Cardinale, 2007).

Bajos contenidos de los nutrimentos N, P, K, Ca, M, y S se registraron en todos los suelos, indistintamente del tipo de vegetación, esta baja cantidad se debe en primera instancia al pH ácido de los suelos de la zona, por ejemplo la nitrificación se reduce marcadamente al disminuir el pH por debajo de 6 (Alexander, 1977), de este modo, en los suelos del BP con un pH de 4.69-4.79, tiene 0.065% de N, en BTSC de 5.04 a 5.67 con un porcentaje de N =0.045 y en el BMM la cantidad de N es de 0.066, con un pH= 5.92-6.17, es decir, en todas las coberturas vegetales, la fijación de N se ve limitada por el pH, en el BTSC donde se cuenta con leguminosas como *Hymenaea courbaril*, *Acacia cornígera* en mayor densidad y se podría pensar que la fijación sea más alta, sin embargo, el alto metabolismo microbiano y alta productividad primaria que demanda el nutrimento, este se encuentra inmovilizado esencialmente en la biomasa de los productores primarios (Murphy et al., 2007).

En el BMM se encontró el porcentaje más alto de N, ya que en estas comunidades se presentan especies como *Alnus* spp. (Miegroet et al., 2009) y leguminosas como *Calliandra houstoniana* que son las encargadas de la incorporación del N al suelo sin embargo, en este tipo de vegetación se encuentra una fuerte competencia por este nutrimento pues existe una alta e intrincada red del sistema radical que intercepta el nutrimento tan pronto queda libre producto de la mineralización, esto sugiere una fuerte dinámica en la utilización y reutilización no sólo del nitrógeno, sino de todos los nutrimentos. Un comportamiento similar al del nitrógeno se encontró para todos los nutrimentos analizados, es decir bajos porcentajes, esto se explica igual que para el nitrógeno pues todos se encuentran principalmente en la biomasa de la vegetación, dada la alta competencia, pues al tratarse de comunidades con el mayor grado de conservación, se tiene las más altas densidades de los productores primarios y con ellos las más altas demandas nutrimentales, debe quedar claro que una estrategia funcional de los ecosistemas contra las pérdidas de nutrimentos es la creación de almacenes de nutrimentos evitando de este modo las pérdidas y eficientizando la relación suelo-vegetación, suelo-planta (Odum 1969).

8.5 Relación nutrimentos del suelo-raíz

En muchos suelos ácidos, la materia orgánica es el principal recurso de N, P y S, y la mineralización de la materia orgánica es afectada por la acidez, la liberación de estos nutrimentos para la absorción por las plantas pueden disminuir al incrementar la acidez (Bolan *et al.*, 2008). Asimismo, en los suelos ácidos, los iones como PO_4^{2-} y SO_4^{2-} son adsorbidos por la superficie de sesquióxidos y precipitando con el Fe y el Al (Mora *et al.*, 1999.) Además el pH bajo da como resultado la baja disponibilidad de cationes básicos esenciales como Ca, y Mg (Summer *et al.*, 1991).

El Ca es particularmente importante en las síntesis de la pared celular (Rending, 1989), por esta razón se le encuentra moderadamente correlacionado con las raíces finas y fuertemente correlacionado con las raíces gruesas, estas últimas se caracterizan por tener una pared celular fuertemente lignificada, donde la celulosa y lignina son los componentes principales de la pared celular, en donde el Ca se encuentra formando parte de los pectatos de Ca (Paredes *et al.*, 2001). Este nutrimento también juega un papel importante en la construcción del sistema radical fino, por ejemplo, Park (2008) encontró para bosques de coníferas que el número de raíces finas se incrementa con los contenidos de Ca en el suelo. En los BP de Putla, las bajas cantidades de Ca se correlacionan con las bajas cantidades de raíces finas en este tipo de vegetación.

La presencia de K en el sistema radical fino sobre todo del BMM, responde a que en este tipo de vegetación el sistema radical fino es particularmente abundante, las raíces finas son las encargadas de la absorción de recursos (Hsiao *et al.*, 1986), función que realizan gracias a su alta permeabilidad y baja lignificación de sus paredes celulares, por el contrario el K está prácticamente ausente en el sistema radical fino de BP, debe recordarse que el BP, tiene un sistema radical pivotante caracterizado porque su raíz central es profunda, con pocas raíces secundarias laterales, poco ramificadas y más bien lignificadas, con una relación biomasa seca/biomasa fresca alta, lo cual indica que en éste sistema radical, la biomasa del tejido radical tiene poca agua por unidad de masa.

Para el Mg se encontró poca relación con el sistema radical, este nutrimento tiene su principal función en la captura de energía durante la fotosíntesis, razón por la cual, en las raíces finas se encuentra una relación moderada, desde luego, la presencia de este nutrimento en la raíz se debe a que esta actúa como órgano de almacén, o bien, el nutrimento ha sido absorbido del suelo y está siendo translocado al tejido foliar. Mención aparte merece el P que sólo se le encontró fuertemente correlacionado con las raíces gruesas del BP, en este caso el nutrimento se está almacenado en el sistema radical grueso para contribuir en la elongación del sistema radical fino existente, pues en concentraciones bajas el P no puede inducir la ramificación de la raíz (Borch *et al.*, 1999) pero sí al crecimiento secundario (Eshel *et al.*, 1995)

De acuerdo con Robinsón (1994,) la proliferación de las raíces tiende a ser mayor en aquellas porciones del suelo que contienen los nutrimentos que más limitan al crecimiento de las plantas, como nitrógeno y fósforo, sin embargo, en los suelos estudiados la presencia de ambos nutrimentos está limitada por las formas químicas dado el pH (AlPO_4 , FePO_4), con lo cual las cantidades que se registraron en cada tipo de vegetación son muy bajas (NOM-021-SEMARNAT-2000), cabe señalar

que de acuerdo con Olander y Vitousek (2005), los ecosistemas forestales maduros son generalmente productivos y sin entradas sustanciales de P. Sin embargo, en BTSC y BMM existe un horizonte de acumulación de N, pero estas cantidades no son importantes y la planta no invierte en la construcción de un sistema radical para aprovechar estos nutrimentos dada su baja concentración (Moar *et al.*, 2006), ya que la distribución y configuración del sistema radical es particularmente importante para la absorción de nutrimentos poco móviles como el P y K (Barley 1970). Se encontró correlación positiva de las raíces de 3 mm con el K y Ca en las tres coberturas vegetales y con P en BP, pues todo el sistema radical puede absorber nutrimentos aunque se reduce dependiendo de su grado de lignificación (Wells *et al.*, 2003). Sin embargo, cada especie vegetal difiere en su respuesta de construcción de un sistema radical para la absorción de recursos dependiendo del patrón de liberación de éstos (Wijesinghe *et al.*, 2001).

8.6 Nutrimentos en suelo y tejido vegetal.

El alto contenido del nitrógeno (94.5 %) está inmovilizado en los tejidos de los productores primarios, especialmente en la hojas, esto para las tres coberturas vegetales, la acumulación se producirá cuando la fuente de energía para las necesidades metabólicas de la síntesis de enzimas y otros es limitada, o por la falta de molibdeno, ya que este nutrimento cumple con funciones fisiológicas en los sistemas de reducción del nitrógeno (Wright y Davidson, 1964) y la disponibilidad de éste disminuye con la acidez (Rending, 1989), o cuando los niveles de los nutrimentos minerales es baja (Oaks y Hirel, 1985), esta es una evidencia clara de que este nutrimento se encuentra limitando la productividad primaria en la zona, desde luego la fijación biológica está condicionada por la acidez del suelo (Holub, 1993). En la zona la disponibilidad de este nutrimento en mucho se debe a la dinámica que se presenta al recircular en el propio ecosistema, es decir, la utilización y reutilización por la vegetación, donde, por un lado ésta aporta el nutrimento a través de la hojarasca para renovar el mantillo, mientras que, éste es mineralizado por los organismos para liberar el N y los demás nutrimentos para su reutilización por la cubierta vegetal, de este modo, las tasas de mineralización influyen de manera activa la productividad primaria, dado que poco es el N que se incorpora vía fijación biológica (Alexander, 1997).

Por otra parte, el P es otro nutrimento que limita la producción de fotosintatos, lo cual esencialmente se debe a las condiciones de acidez que prevalecen en los suelos de la zona, principalmente en los BP, pues se encuentra fijo o precipitado formando compuestos principalmente con el Al y el Fe (Rending, 1989), de este modo, una cantidad no mayor al 0.7 % se encuentra en los tejidos vegetales (Figura 18), encontrándolo dentro del rango para P en el tejido vegetal de acuerdo con Champman y Pratt (1973), el cual es de 0.03-3 %. Para el caso del K se observa que existe una mayor disponibilidad, de hecho en BP y BMM, aproximadamente el 50 % se encontró en el suelo y el otro formando parte de los tejidos vegetales, se observó un mejor equilibrio de este nutrimento, pues se presenta en cantidades suficientemente disponibles para abastecer las demandas de los productores primarios, por otra parte en el BTSC, aun cuando las cantidades en el suelo son superiores a las encontradas en el tejido vegetal, este nutrimento no limita la productividad en este ecosistema, por el contrario, confirma que la vegetación fisiológicamente no demanda más de 2% para mantener su fisiología y sostener la productividad, si comparamos estas cantidades con las que se presentan en BP y

BMM en tejido vegetal, por lo tanto, en ninguna de las tres coberturas vegetales es un factor limitante.

En resumen, de los tres macronutrientos primarios, el N y P limitan la productividad primaria, lo mismo en BTSC, BMM, o bien en los pinares del municipio. Se recomienda su aplicación en los agrosistemas para incrementar la producción o bien a través de un programa de encalado de los suelos que permita incrementar el pH de preferencia por arriba de 6.5 y hasta 7.5, esto permitirá un cambio de las formas químicas del P favoreciendo su disponibilidad y para el caso del N se favorecerán las poblaciones fijadoras de N y el establecimiento de leguminosas lo cual incrementará la fijación biológica de este nutriente con lo cual se satisfaría los requerimientos de la planta.

Con relación a los macronutrientos secundarios se encontró que el S esta presente en el suelo en cantidades suficientes para satisfacer las demandas de la vegetación, sin embargo, en el tejido vegetal esta muy por debajo del rango establecido por Champman y Pratt (1973) que es de 0.1-1.0%, no obstante, no es absorbido por las especies vegetales al depender de la productividad primaria que determinan el N y P (Orwin y Wardale, 2005).

Un comportamiento similar se observa para el Mg, es decir, el suelo tiene reserva suficiente de Mg disponible, sin embargo, su absorción por la planta no es directamente proporcional a dichas reservas. De acuerdo con Johnson (1989,) el contenido de Mg en el tejido vegetal oscila entre 0.05-0.07 %, los resultados de este estudio señalan contenidos que van desde 0.4-0.7 % en los tejidos vegetales, es decir, este nutriente no es deficiente. En una situación opuesta al Mg, se encuentra el Ca, es decir, su disponibilidad en el suelo es baja pues las concentraciones más altas se encuentran en BTSC y no son mayores a 0.12 %, en las otros dos coberturas vegetales, la concentración es menor, sin embargo, más del 90 % se encontró en el tejido vegetal. Al igual que el N, el Ca tiene una fuerte dinámica sobre todo en BTSC y BMM, donde su utilización y reutilización por los productores primarios es cíclica año con año y podría ser limitante de la productividad primaria, en BP este nutriente en definitiva limita la productividad primaria, la hoja demanda a este nutriente y la raíz queda empobrecida al translocarlo a este órgano. La baja cantidad de Ca disponible en el suelo esta determinada por su lixiviación y por el pH ácido (Summer *et al.*, 1991).

El análisis de correlación para los nutrientes en suelo, hojas y raíz correspondiente a las especies *Byrsonima crassifolia*, *Clethra mexicana*, *Hymenaea courbaril*, pone de manifiesto las funciones de los nutrientes en la planta mencionados con anterioridad, por ejemplo, la correlación positiva del K contenido en el suelo con el S en la hoja de *Byrsonima crassifolia*, muestra la función de este nutriente para mantener el equilibrio iónico, ya que equilibra la carga iónica del SO_4^{-2} , y el NO_3^- (Rending, 1989) contenido en la hoja de esta especie, o la del Mg en el suelo y el nitrógeno en la raíz de la misma especie, pues el Mg tiene funciones similares a las de K, además la correlación del K con el Mg en la raíz muestra la intervención del K, en la permeabilidad de la raíz, lo que influirá en la absorción del Mg por este órgano. En la relación positiva que se observa del P contenido en la hojas de *Clethra mexicana* y el K contenido en el suelo, se debe a que el primero influencia la conformación de

proteínas y así contribuye a la eficacia de algunas enzimas catalizadoras en reacciones metabólicas (Peoples y Koch, 1979).

La correlación positiva que se observa entre el Ca en la raíz de *Hymenaea courbarily* el P en el suelo, producirá un aumento de carboxilatos y fosfatos presentes en las membranas y paredes celulares de la raíz. A través de la influencia positiva del N en el suelo hacia el Mg en la hoja de esta especie, se muestra la relación del Mg y el N en los grupos porfirina presentes en la clorofila de las hojas entre otras (Rending, 1989).

En general no se presenta un patrón de correlación entre los nutrientes del suelo, los de la raíz y las hojas de cada especie, ni por estar presentes en el mismo tipo de vegetación, por lo cual se confirma que, la persistencia a largo plazo de una especie dentro de condiciones particulares de suelo, conlleva un rango de características, así, cada especie tiene diferente influencia y se impone en función de su importancia ecológica en la comunidad vegetal (Johnson *et al.*, 2003).

IX CONCLUSIONES

En el municipio de Putla Villa de Guerrero Oaxaca, se encontró que el grado de conservación de los tres coberturas vegetales estudiadas es BMM>BTSC>BP.

La mayor riqueza de especies se tiene en BTSC, la menor en el BP, sin embargo en el BMM se tiene el mayor número de géneros y familias.

Los dominantes ecológicos de cada sitio muestreado son distintos en el BMM, mientras que en BTSC se comparten al menos una especie entre sitios, esto mismo sucede para el BP.

El BTSC se distribuye en Regosoles háplicos, Luvisoles háplicos y Luvisoles úmbricos con perfil dominante OAC.

El suelo dominante en el que se encuentra el BMM es Cambisol háplico, el Luvisol que puede ser háplico o lamélico ocupa el resto del área, el perfil típico es OA₁A₂BC₁C₂.

En BP se encontraron Regosol taptovítrico y Luvisol háplico, sin embargo, está presente también el Luvisol lamélico, el perfil típico es OA C₁C₂.

El Luvisol es el suelo dominante en el municipio de Putla Villa de Guerrero y se presentan tres tipos a saber: háplico, lamélico y úmbrico.

Las propiedades físicas y químicas más favorables para el desarrollo del sistema radical se encontraron en el BMM, seguido por BTSC.

El número de raíces finas es mayor y más profundo en el BMM que en BTSC y este mayor que en BP.

El contenido de MO, retención de humedad, DA y el porcentaje de espacio poroso condicionan un ambiente edáfico más favorable para el desarrollo de las raíces y absorción de nutrimentos en el orden BMM>BTSC>BP.

La raíz pivotante de especies dominantes como *Quercus aristata*, *Alnus acuminata* y *Roupala montana* en el BMM incrementan la diversidad de especies vegetales del ecosistema al evitar la competencia por los recursos con especies cuyo sistema radical es fibroso como *Cyathea divergens* var. *tuerckheimii* y *Oreopanax sanderianus*.

Los pinos presenta raíces pivotantes en respuesta a las condiciones edáficas como pH ácido, alta DA, baja retención de humedad y la escasez de nutrimentos en la superficie del suelo.

Las condiciones termo-puviómetricas, topográficas y edáficas influyen la dinámica de nutrimentos, ante estas condiciones, en el BMM la estrategia de las plantas involucra la pérdida del sistema radical fino, caída del follaje y reducción del metabolismo, mientras que, en el BP la planta ajusta el crecimiento del sistema radical en función de la disminución en la humedad en el suelo, los componentes en BTSC donde el contenido de humedad está más asegurado, la planta

mantiene su sistema radical fino y transloca fotosintatos para incrementar la biomasa del sistema radical grueso, de ese modo mantienen su follaje y metabolismo normal casi todo el año.

Cuando la competencia por los nutrimentos es fuerte la plasticidad de la arquitectura radical adquiere un papel relevante y las especies la evitan mediante una distribución más marcada del sistema radical en el perfil.

El ciclo de nutrimentos y las tasas de mineralización de la MO y N en el BTSC son aproximadamente 2/3 más rápidas que en BMM. Estos procesos ecosistémicos son aún más lentos en BP. El incremento en la velocidad de los ciclos de nutrimentos en el BTSC están fuertemente influenciados por las leguminosas *Hymenaea courbaril*, *Acacia cornigera* e *Inga vera* que al aportar nitrógeno al sistema reducen la relación C/N en el mantillo.

En el BMM el pH ligeramente ácido esta determinado por la liberación de cationes por interperismo de la roca caliza y por la mineralización del mantillo aportado por la vegetación en donde los dominantes ecológicos tienen particular relevancia por las cantidades de mantillo aportadas.

Los suelos del municipio son ácidos y por su grado de acidez limitan la fijación biológica del N, siendo éste nutrimento un factor limitante de la productividad primaria en los ecosistemas.

Indistintamente de la cobertura vegetal en los suelos se encontraron bajos contenidos de los nutrimentos analizados.

Los nutrimentos N, P y Ca limitan la productividad primaria de los ecosistemas naturales e inducidos en la zona.

X RECOMENDACIONES

Al ser el P y el N los más demandados por las plantas dadas sus bajas concentraciones son los que determinan la productividad primaria de las diferentes coberturas vegetales en el municipio, de aquí que su adición como fertilizante indudablemente incremente la productividad primaria en las áreas naturales y agrosistemas, otra vía sería la aplicación de enmiendas que eleven el pH y cambien las formas químicas y la fijación biológica y por lo tanto se eleven las cantidades disponible de estos nutrimentos.

XI REFERENCIAS

- Aguilera, H. N. 1989. Tratado de edafología de México. Tomo 1 Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. Ed. John Wiley & Sons, New York.
- Anderson, J. M. y Ingram, J. S. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods. CAB International, Oxford.
- APHA-AWWA-WPCE. 1989. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Díaz de Santos S. Madrid, España.
- Aphalo, P. J.; Ballare, C. L. y Scopel, A. L. 1999. Plant-plant signaling, the shade-avoidance response and competition. *Journal Experimental Botany* **50**:1629-1634.
- Arriaga, L.; Espinoza, J. M.; Aguilar, C.; Martínez, E.; Gómez, L. y Loa, E. (Coordinadores). 2000. Regiones Terrestres Prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- Azcón-Aguilar, C.; Palenzuela, J.; Roldán, A.; Bautista, S.; Vallejo, V. R. y Barea, J. M. 2003. Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology* **22**:29-37.
- Badalucco, L. y Kuikman, P. J. 2002. Mineralization and immobilization in the rhizosphere. In: The Rhizosphere-Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. Marcel Dekker, Inc. New York y Basel.
- Bais, H. P.; Park, S. W.; Weir, T. L.; Callaway, R. M. y Vivanco, J. M. 2004. How plants communicate using the underground information superhighway. *Trends in Plant Science*. **9**:26-32.
- Baker, T. T.; Conner, W. H.; Lockaby, B. G.; Stanturf, J. A. y Burke, M. K. 2001. Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in south Carolina. *Soil Science Society of American Journal* **65**:545-556.
- Barrett, J. E.; Virginia, R. A.; Wall, D. H.; Parsons, A. H.; Powers, L. E. y Burkins, M. B. 2004. Variation in biogeochemistry and soil biodiversity across spatial scales in a polar desert ecosystem. *Ecology* **85**:3105-3118.
- Beare, M. H. 1997. Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soil. In: Brussaard L and Ferrera-Cerrato R (eds) Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems, pp 37-70. Lewis Publishers, Boca Raton, LA.
- Bell, D. L. y Sultan, S. E. 1999. Dynamic phenotypic plasticity for root growth in *Polygonum*: a comparative study. *American Journal of Botany* **86**:807-819.

- Bever, J. D. 2003. Soil community feedback and the coexistence of competitors: conceptual frameworks and empirical tests. *New Phytologist* **157**:465–473.
- Bingham, I. J. y Bengough, A. G. 2003. Morphological plasticity of wheat and barley roots in response to spatial variation in soil strength. *Plant and Soil* **250**:273–282.
- Blanco, H. y Lal, R. 2008. Soil erosion under forests. p 321-344. In: Principles of soil conservation and management. Springer Science+Business Media B.V. Ohio.
- Bohn, L. H.; McNeal, L. B.; O'Connor, A. G. 1993. Química del suelo. Limusa. México.
- Böhm, W. 1979. Methods of Studying Root Systems (Ecological Studies; v 33). Springer-Verlag. New York, USA.
- Bollag, J. M.; Myers, C. J. y Minard, R. D. 1992. Biological and chemical interactions of pesticides with soil organic matter. *Science Total Environment* **123/124**:205–217
- Bonanomi, G.; Sicurezza, M. G.; Caporaso, S.; Esposito, A. y Mazzoleni, S. 2006a. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. *New Phytologist* **169**:571–578.
- Borch, K.; Bouma, T. J.; Lynch, J. P. y Brown, K. M. 1999. Ethylene: a regulator of root architectural responses to soil phosphorus availability. *Plant, Cell & Environment* **22**:425–431.
- Cain, M. L.; Subler, S.; Evans, J. P. y Fortin, M. 1999. Sampling spatial and temporal variation in soil nitrogen availability. *Oecologia* **118**:397-404.
- Callaway, R. M. 1995. Positive interaction among plants. *The botanical review* **61**:306–349.
- Campbell, B. D.; Grime, J. P. y Mackey, J. M. L. 1991. A trade-off between scale and precision in resource foraging. *Oecologia* **87**:532–538.
- Chapman, H. D. y Pratt, F. P. 1973. Métodos de análisis para suelos plantas y aguas. Ed. Trillas, México, D. F.
- Clevering, O. A.; Blom, C. W. P. M. y van Vierssen, W. 1996. Growth and morphology of *Scirpus lacustris* and *S. maritimus* as affected by water level and light availability. *Functional Ecology* **10**:289–296.
- Colmer, T. D. 2003. Long-distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. *Plant, Cell & Environment*. **26**:17–36.
- Chen, Y. H.; Han, Y. Z.; Wang, Q. C. y Wang, Z. Q. 2005. Seasonal dynamics of fine root biomass, root length density, specific root length and soil resource availability in a *Larix gmelini* plantation. In Zhou, Z. y Shangguan, Z. 2007. Vertical distribution of fine roots in relation to soil factors in *Pinus tabulaeformis* Carr. forest of the Loess Plateau of China. *Plant and Soil* **291**:119–129

- Cortina, J. y Maestre, T. F. 2005. Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change. D. Binkley and O. Menyailo (eds). Netherlands.
- Cox, G. W. 2002. Laboratory Manual of General Ecology. Mc Graw Hill. New York USA.
- Cross, A. F. y Schlesinger, W. H. 1999. Plant regulation of soil nutrient distribution in the northern Chihuahuan Desert. *Plant Ecology* **145**:11–25
- Curl, E. A. y Truelove, B. 1986. The Rhizosphere. Springer-Verlag, New York, NY.
- Cuanalo de la, C. H. 1975. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Colegio de Posgraduados. ENACH. Chapingo, México.
- Cuevas, P. J. y Olvera, E. T. 1991. Métodos de análisis químico de suelos y plantas: Muestreo preparación de muestras, digestiones y extracciones (Rev. Bibliográfica). Tesis Profesional de Agrónomo con especialidad en suelos, Departamento de suelos, UACH. Pp 55-66.
- Currie, S. W. 1999. The responsive C and N biogeochemistry of the temperate forest floor. *Trends in Ecology & Evolution*. **14**:316-320.
- Da Silva, A. P. y Kay, B. D. 1997. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society of America Journal*. **61**:877–883.
- Davies, K. F. ; Chesson, P. ; Harrison, S. ; Inouye, B. D. ; Melbourne, B. A. y Rice, K. J. 2005. Spatial heterogeneity explains the scale dependence of the native-exotic diversity relationship. *Ecology* **86**:1602–1610.
- Davis, J. P.; Haines, B.; Coleman, D. y Hendrick, R. 2004. Fine root dynamics along an elevational gradient in the southern Appalachian Mountains, USA. *Forest Ecology and Management* **187**:19–34.
- Dawson, M. I. A. y Atkinson, D. 1991. Methodology for the study of roots in field experiments and the interpretation of results. Plant Root Growth, an Ecological Perspective, Blackwell, Oxford, p. 25–47.
- Day, K. J.; Hutchings, M. J. y John, E. A. 2003a. The effects of spatial pattern of nutrient supply on the early stages of growth in plant populations. *Journal of Ecology* **91**:305–315.
- Day, K. J.; John, E. A. y Hutchings, M. J. 2003b. The effects of spatially heterogeneous nutrient supply on yield, intensity of competition and root placement patterns in *Briza media* and *Festuca ovina*. *Functional Ecology* **17**:454–463.
- Ehrenfeld, J. G.; Ravit, B. y Elgersma, K. 2005. Feedback in the plant–soil system. *Annual Review of Environment and Resources* **30**:75–115
- Einsmann, J. C.; Jones, R. H.; Pu, M. y Mitchell, R. J. 1999. Nutrient foraging traits in ten co-occurring plant species of contrasting life forms. *Journal of Ecology* **87**:609–619.

Eissenstat, D. M.; Wells, C. E; Yanai, R. D. y Whitbeck, J. L. 2000. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytologist* **147**:33–42.

Ekdahl, I. 1977. The growth of root hairs and roots in nutrient media an distilled water and the effects of oxylate. In: Rending V.V., Howard M. T. 1989. Principles of soil-plant interrelationships. Mc Graw New York.

Escamilla, B. J. A.; Quintal, F. T.; Medina, F. L.; Guzmán, A.; Pérez, E. y Calvo, L. M. I. 2005. Relaciones suelo-planta en ecosistemas naturales de la península de Yucatán: comunidades dominadas por palmas p. 159-172. En: F. Bautista y Palacio (Eds) caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología.

Escamilla, J. A. 1999. Estudio de suelos y de ecosistemas vegetales. En: Orellana, R, Escamilla, J. A. y Larqué-Saavedra A. (eds.) Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos Ed. Impresiones Profesionales del Sureste, S. A. de C. V. Mérida, Yucatán, México.

Eshel, A.; Nielsen, K. y Lynch, J. 1995. Response of bean root systems to low level of P. In: Plant Roots - From Cells to Systems. 14th Long Ashton International Symposium. IACR-LongAshton Research Station, Bristol, UK.

Ettema, C. H. y Wardle, D. A. 2002. Spatial soil ecology. *Trends in Ecology & Evolution* **17**:177–83.

FAO. 2000. Global Forest Resources Assessment. Main report. Forestry Paper 140. Rome, Italy.

FAO. 2005. Global Forest Resources Assessment. Progress towards sustainable forest management. Forestry Paper 147. Rome, Italy.

Farley, R. A. y Fitter, A. H. 1999. The responses of seven co-occurring woodland herbaceous perennials to localized nutrient-rich patches. *Journal of Ecology* **87**:849–859.

Fitter, A. H.; Gilligan, C. A.; Hollingworth, K.; Kleczkowski, A.; Twyman, R. M.; Pitchford, J. W. 2005. Biodiversity and ecosystem function in soil. *Functional Ecology* **19**:369–377.

Fitter, A. y Strickland, T. 1991. Architectural anaysis of plant root systems. 2. Influence of nutrient supply on architecture in contrasting plant species. *New Phytologist* **118**:383–389

Fitter, A. 2002. Characteristic and functions of roots systems. p. 15-32. In: Waisel, Y, Eshel, A, Kafkafi, U (Eds.). Plant Roots. The Hidden Half, Marcel Dekker, New York.

Fitter, A. H. 1982. Influence of soil heterogeneity on the coexistence of grassland species. *Journal of Ecology* **70**:139–148.

Fowler, J.; Cohen, L. y Jarvis, P. 1998. Practical statistics for field biology. John Wiley & Sons, Chichester.

Fransen, B.; de Kroon, H.; de Kovel, C. G. F. y van den Bosch, F. 1999. Disentangling the effects of root foraging and inherent growth rates on plant biomass accumulation in heterogeneous environments. *Annals of Botany* **84**:305–311.

Fu, B. J.; Chen, L. D.; Ma, K. M.; Zhou, H. F. y Wang, J. 2000. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. *Catena* **39**:69–78.

Fu, B. J.; Liu, S. L.; Ma, K. M. y Zhu, Y. G. 2004. Relationships between soil characteristics, topography and plant diversity in a heterogeneous deciduous broad-leaved forest near Beijing, China. *Plant and Soil* **261**:47–54.

Gaitan, J. J.; Peñón, E. A. y Costa, M. C. 2005. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus ssp. Maidenii* y su relación con algunas propiedades en el suelo. *Ciencia forestal* **15**:33-41

Gaucher, G. 1971. Tratado de pedología agrícola. El suelo y sus características agronómicas. Ed. Omega. Barcelona.

García-Moya, E. y McKell, C. M. 1970. Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology* **51**:81–88.

Gersani, M.; Brown, J. S.; O'brien, E. E.; Maina, G. M. y Abramsky, Z. 2001. Tragedy of the commons as a result of root competition. *Journal of Ecology* **89**:660–669.

Greene, R. S. B.; Valentin, C. y Esteves, M. 2001. Runoff and erosion processes. In: Banded Vegetation Patterning in Arid and Semiarid Environments. Eds. D. J. Tongway, C. Valentin y J. Seghieri. pp. 52-76. Springer Verlag, New York.

Grieve, I. C.; Proctor, J. y Cousins, S. A. 1990. Soil variation with altitude on Volcan Barba, Costa Rica. *Catena* **17**:525-534.

Griffin, D. M. 1981. Water potential as a selective factor in the microbial ecology of soils. In: Parr JF, Gardner WR and Elliott LF (eds) Water Potential Relations in Soil Microbiology, pp 141–151. Soil Science Society of America, Special Publication No. 9, Madison, Wisconsin.

Griffiths, B. S. 1994. Soil nutrient flow. In: Darbyshire J (ed) Soil Protozoa, pp 65–91. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Gross, K. L.; Pregitzer, K. S. y Burton, A. J. 1995. Spatial variation in nitrogen availability in three successional plant communities. *Journal of Ecology* **83**:357–67.

Härdtle, W.; von Oheimb, G. y Westphal, C. 2005. Relationships between the vegetation and soil conditions in beech and beech-oak forests of northern Germany. *Plant Ecology* **177**:113–124.

Hauggaard-Nielsen, H.; Ambus, P. y Jensen, E. S. 2001. Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops—a field study employing ^{32}P technique. *Plant and Soil* **236**:63–74.

Hawkins, B. A.; Field, R.; Cornell, H. V.; Currie, D. J.; Guegan, J. F.; Kaufman, D. M.; Kerr, J. T.; Mittelbach, G. G.; Oberdorff, T.; O'Brien, E. M.; Porter, E. E. y Turner, J. R. G. 2003. Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology* **84**:3105–3117.

He, Z. L.; Yao, H.; Chen, G.; Zhu, J. y Huang, C. 1997. Relationship of crop yield to microbial biomass in highly weathered soil of China. In: Ando T. et al. eds, *Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, p. 751–752.

Hsiao, T. C. y Läuchli. 1986. Role of potassium in plant-water relation. In: Rending V.V., Howard M. T. 1989. *Pinciples of soil-plant interrelationships*. Mc Graw Hill. New York.

Hodge, A. 2004. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New Phytologist* **162**:9–24.

Hodgson, J. M. 1987. *Muestreo y Descripción de Suelos*. Reverte. México D. F.

Hooper, D. U. y Vitousek, P. M. 1998. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological monographs* **68**:121-149.

Hooper, D. U.; Chapin, F. S.; Ewel, J. J.; Hector, A.; Inchausti, P.; Lavorel, S.; Lawton, J. H.; Lodge, D. M.; Loreau, M.; Naeem, S.; Schmid, B.; Setälä, H.; Symstad, A. J.; Vandermeer, J. y Wardle, D. A. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus or current knowledge. *Ecological Monographs* **75**:3–35.

Holub, Z. Simonovicova,; Banasova, V. 1993. The influence of acidification on some chemical and microbiological properties of soil, tose determining plant viability. *Biologia*. **48**:671-675.

Huang, P. M. 2008. *Soil Physical-Chemical-Biological Interfacial Interactions: An Overview*. Department of Soil Science, University of Saskatchewan, Saskatoon SK, Canada p. 3-37

Hutchings, M. y Wijesinghe, D. 1997. Patchy habitats, division of labour and growth dividends in clonal plants. *Trends in Ecology and Evolution* **12**:390–394.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, gobierno del Estado de Oaxaca. 2005. Encapacidad de intercambio cationicolopedia de los Municipios de México Estado de Oaxaca Putla Villa de Guerrero. México D. F.

IRENAT. 1993. *Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas de laboratorio de fertilidad de suelos*. IRENAT-Colegio de Postgraduados., Sociedad mexicana de la ciencia del suelo, A.C., ISP Programa de intercalibración de análisis de suelos y plantas. 37 pp.

Jackson, L. M. 1970. *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega. Barcelona.

James, J. J., Mangold, J. M., Sheley, R. L. y Svejcar, T. 2008. Root plasticity of native and invasive Great Basin species in response to soil nitrogen heterogeneity. *Plant Ecology* **202**:211–220

Jaramillo, J. V.; Kauffman, V. J.; Rentería-Rodríguez, L.; Dian, L.; Cummings, L. D. y Ellingson, J. L. 2003. Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems* **6**:609–629.

Jeltsch, F.; Milton, S. J.; Dean, W. R. J.; Van Rooyen, N. y Moloney, K. A. 1998. Modelling the impact of small-scale heterogeneities on tree–grass coexistence in semi-arid savannas. *Journal of Ecology* **86**:780–93.

Johnson, D.; Booth, R.; Whiteley, A.; Bailey, M.; Read, D.; Grime, J. y Leake, J. 2003. Plant community composition effects the biomass, activity and diversity of microorganisms in limestone grassland soil. *European Journal of Soil Science* **54**:671–677.

Jones, T. H. y Bradford, M. A. 2001. Assessing the functional implications of soil biodiversity in ecosystems. *Ecological Research* **16**:845–858.

Jungk, O. A. 2002. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. p.587-615 In: Waisel, Y, Eshel, A, Kafkafi, U (Eds.). *Plant Roots. The Hidden Half*, Marcel Dekker, New York.

Kenrick, P. 2002. The origin of root. p.1-13. In: Waisel, Y, Eshel, A, Kafkafi, U (Eds.). *Plant Roots. The Hidden Half*, Marcel Dekker, New York.

Kumar, S.; Stohlgern, T. J. y Chong, G. W. 2006. Spatial heterogeneity influences native and nonnative species richness. *Ecology* **87**:3186–3199.

Kraus, T. E. C.; Zasoski, R. J. y Dahlgren, R. A. 2004. Fertility and pH effects on polyphenol and condensed tannin concentrations in foliage and roots. In: Catherine, S. M., Paré, D., Gagno D. 2007. *The Contrasting Effects of Aspen and Jack Pine on Soil Nutritional Properties Depend on Parent Material*. *Ecosystems* **10**:1299–1310

Ladd, J. N. y Foster, R. C. 1988. Role of soil microflora in nitrogen turnover. In: Wilson J.R. (ed.), *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems*. CAB International, Wallingford, UK.

Larson, W. E. y Pierce, F. J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In: IBSRAM Proceedings 12 (2). *Evaluation for Sustainable Land Management in the Development World. Volume 2*. Bangkok, Thailand. International Board for Soil Research and Management

Lavelle, P. y Spain, A. V. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London.

Lee, K. E. 1991. The diversity of soil organisms. In: *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. (ed. D. L. Hawksworth) CAB International, Wallingford 73–88 pp.

- Levin, S. A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* **73**:1943-1967
- López, B.; Sabate, S. y García, C. A. 2001. Fine-root longevity of *Quercus ilex*. *New Phytologist* **151**:437-441.
- López, B.; Sabaté, S. y Gracia, C. A. 2001. Vertical distribution of fine root density, length density, area index and mean diameter in a *Quercus ilex* forest. *Tree Physiology* **21**:555-560.
- Lynch, P. J. y Brown, M. K. 2008. Root strategies for phosphorus Acquisition. P. J. White, J. P. Hammond (eds.) *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*, Springer Science + Business Media B.V.
- Ma, O. y Rengel, Z. 2008. Phosphorus acquisition and wheat growth are influenced by shoot phosphorus status and soil phosphorus distribution in a split-root system. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **171**:266-271.
- Madritch, M. D. y Cardinale, B. J. 2007. Impacts of tree species diversity on litter decomposition in northern temperate forests of Wisconsin, USA: a multi-site experiment along a latitudinal gradient. *Plant and Soil* **292**:147-159.
- Madritch, M. D. y Hunter, M. D. 2002. Phenotypic diversity influences ecosystem functioning in an oak sandhills community. *Ecology* **83**:2084-2090.
- Maestre, F. T. y Cortina, J. 2003. Small-scale spatial variation in soil CO₂ efflux in a Mediterranean semiarid steppe. *Applied Soil Ecology* **23**:199-209.
- Mainiero, R. y Kazda, M. 2004. Effects of *Carex restrata* on soil oxygen in relation to soil moisture. *Plant Soil* **270**:311-320.
- Manlay, R. J.; Feller, C. y Swift, M. J. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **119**:217-233.
- Marrs, R. H.; Proctor, J.; Heaney, A. y Mountford, M. D. 1988. Changes in soil nitrogen-mineralization and nitrification along an altitudinal transect in tropical rain forest in Costa Rica. *Journal of Ecology* **76**:466-482.
- Mayer, R. 2005. Soil resources and SEA. In: *Implementing Strategic Environmental Assessment*. Edited by Michael Schmidt, Elsa João and Eike Albrecht. Springer-Verlag p. 474-493.
- Miegroet, V. H. y Johnson D. W. 2009. Feedbacks and synergism among biogeochemistry, basic ecology and forest soil science. *Forest Ecology and Management*. doi:10.1016/j.foreco.2009.02.007.
- Moore, J. C.; Walter, D. E. y Hunt, H. W. 1988. Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Annual Review of Entomology* **33**:419-439

Mora, M. L.; Shene, C.; Violante, A.; Demanet, R. y Bolan, N. S. 2005. The effect of organic matter and soil chemical properties on sulfate sorption in Chilean volcanic soil In: Huang PM, Violante A, Bollag JM, Vityakon P (eds) Soil abiotic and biotic interactions and the impact on the ecosystem and human welfare. ISBN 1-57808-344-3; C. 444, Chapter 13. Science Publishers, Inc., New Hampshire, USA, pp 223–244

Morehead, D. L.; Westerfield, M. M. y Zak, J. C. 1998. Plant retards litter decay in a nutrientlimited soil: a case of exploitative competition. *Oecologia* **113**:530-536.

Morras, J. M. H. 2008. El suelo, la delgada piel del planeta. *Ciencia Hoy* **103**:22-27.

Murphy, D. V.; Stockdale, E. A.; Brookes, P. C. y Goulding, K. W. T. 2007. Impact of Microorganisms on Chemical Transformations in Soil. In: L.K. Abbott & D.V. Murphy (eds) Soil Biological Fertility - A Key to Sustainable Land Use in Agriculture pp. 37-59. Springer

Musila, W.; Todt, H.; Uster, D. y Dalitz, H. 2005. Is geodiversity correlated to biodiversity? a case study of the relationship between spatial heterogeneity of soil resources and tree diversity in a western Kenyan rainforest. B.A. Huber et al. (eds.), Springer. Printed in the Netherlands. African Biodiversity 405–414.

Nambiar, E. K. 1990. Interplay between nutrients, water, root growth and productivity in young plantations. *Forest Ecology and Management* **30**:213-232.

Nannipieri, P.; Ascher, J.; Ceccherini, M.T.; Landi, L.; Pietramellara, G. y Renella, G. 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* **54**:655–670.

Nicotra, A. B.; Babicka, N. y Westoby, M. 2001. Seedling root anatomy and morphology: an examination of ecological differentiation with rainfall using phylogenetically independent contrasts. *Oecologia* **130**:136–145.

Novoplansky, A. y Goldberg, D. E. 2001. Effects of water pulsing on individual performance and competitive hierarchies in plants. *Journal of Vegetation Science* **12**:199–208.

Nye, P. H. y Tinker P. B. 1977. Solute movement in the soil-root system. University of California press, Berkeley, California, USA. 342 pp.

Oaks, A., Hirel B. Nitrogen metabolism in roots. *Annual Review of Plant Physiology*. **36**:345-365.

Olsen, S. R. y Sommers, L. E. 1982. Phosphorus. In: Page AL, Miller R.H. and Keeney D. R. (Eds.) Methods of soil analysis Part 2. Madison: American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. p 401–430.

Orwin, K. H. y Wardle, D. A. 2005. Plant species composition effects on belowground properties and the resistance and resilience of the soil microflora to a drying disturbance. *Plant and Soil* **278**:205–221.

- Orgeas, J.; Ourcival Jean-Marc.; Bonin G. 2002. Seasonal and spatial patterns of foliar nutrients in cork oak (*Quercus suber* L.) growing on siliceous soils in Provence (France). *Plant Ecology* **164**:201–211.
- Park, B. B. ; Yanai, D.R.; Fahey, J. T.; Bailey, W. S.; Siccama, G. T.; Shanley, B. J. y Cleavitt, L. N. 2008. Fine root dynamics and forest production across a calcium gradient in Northern Hardwood and conifer ecosystems. *Ecosystems* **11**:325–341.
- Paredes, C.; Quintanar, A.; Acosta S.; Orozco, G.; Perez de la P.C.; Torre-Blanco, A. 2001. Histoquímica de la corteza de cinco angiospermas de una selva baja de Oaxaca. *Madera y Bosques*. **7**:49-61.
- Parker, R. 2000. La ciencia de las plantas. Ed. Paraninfo Thomson Learning. Madrid, España.
- Peoples, T. R.; Koch, D.W. 1979. Role of potassium in carbon dioxide assimilation in *Medicago sativa* L. *Plant Physiology* **63**:878-881.
- Pinton, R.; Varanini, Z. y Nannipieri, P. (eds). 2001. The rhizosphere as a site of biochemical interactions among soil components, plants and microorganisms. In: The Rhizosphere-Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. Marcel Dekker, Inc. New York y Basel. 424 pp
- Powers, J. S.; Treseder, K. K. y Lerdau, M. T. 2005. Fine root, arbuscular mycorrhizal hyphae and soil nutrients in four neotropical rain forests: patterns across large geographic distances. In: Zhou, Z. y Shangguan, Z. 2007. Vertical distribution of fine roots in relation to soil factors in *Pinus tabulaeformis* Carr. forest of the Loess Plateau of China. *Plant and Soil* **291**:119–129.
- Ramírez, G. A. 2006. Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Raulund-Rasmussen, K. y Vejre, H. 1995. Effect of tree species and soil properties on nutrient immobilization in the forest floor. *Plant and Soil* **168–169**:345–352
- Rending V.V., Howard M. T. 1989. Principles of soil-plant interrelationships. Mc Graw Hill New York.
- Reyes, J. I. 1996. Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo. Parte 1. UAM. México, D. F.
- Reynolds, H. L.; Mittelbach, G. G.; Darcy-Hall, T. L.; Houseman, R. H. y Gross, K. L. 2007. No effect of varying soil resource heterogeneity on plant species richness in a low fertility grassland. *Journal of Ecology* **95**:723–733
- Rietkerk, M.; Dekker, S. C.; de Ruiter, P. C. y van de Koppel, J. 2004. Self-organized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems. *Science* **305**:1926–1929
- Robinson, D. 1994. Tansley Review, 73. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist* **127**: 635–674

Robinson, D.; Hodge, A.; Griffiths, B. S. y Fitter, A. H. 1999. Plant root proliferation in nitrogen-rich patches confers competitive advantage. *Proceedings of the Royal Society of London* **266**:431–435

Salgado-Ugarte, I. H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos fundamentos y aplicaciones. ENEP Zaragoza UNAM & Marc ediciones. México.

Stata Corp. 2005. Stata Statistical Software: Release 9. Collage Station, Tx: stata corp LP.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Publicada en el Diario Oficial de la Federación, México D. F.

Scheu, S. 2005. Linkages Between Tree Diversity, Soil Fauna and Ecosystem Processes. *Ecological Studies*, Vol. 176. p. 211-233. In: M. Scherer-Lorenzen, Ch.Körner, and E.-D. Schulze (Eds.). *Forest Diversity and Function: Temperate and Boreal Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Schlesinger, W. H.; Raikes, J. A.; Hartley, A. E. y Cross, A. F. 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology* **77**:364–374

Schlesinger, W. H.; Reynolds, J. F.; Cunningham, G. L.; Huenneke, L. F.; Jarrell, W. M.; Virginia, R. A. y Whitford, W. G. 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science* **247**:1043–1048

Schenk, J. H. 2005. Vertical Vegetation Structure Below Ground: Scaling from Root to Globe. (*Ecological Studies*; v 66). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Schrumpf, M.; Guggenberger, G.; Schubert, C.; Valarezo, C.; y Zench, W. 2001. Tropical montane rain forest soils: development and nutrients status along an altitudinal gradient in the south Ecuadorian Andes. *Die Erde*. **132**:43-59.

Smolander, A. y Kitunen, V. 2002. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species. *Soil Biology & Biochemistry* **34**:651-660

Sommers, L. E.; Gilmour, C. M.; Wildung, R. E. y Beck, S. M. 1981. In: Parr J.F., Gardner W. R. and Elliott L. F. (eds) *Water Potential Relations in Soil Microbiology*, pp 97–117. Soil Science Society of America, Special Publication No. 9, Madison, Wisconsin

Solano, C. E. 1990. Flora e Historia Fitogeográfica de las Selvas Subcaducifolias del Valle de Putla, Oaxaca. Tesis de Maestría de ciencias. Colegio de Posgraduados.

Sorrell, B. K.; Mendelssohn, I. A.; Mackee, K. L. y Wood, R. A. 2000. Ecophysiology of wetland plant roots: a modeling comparison of aeration in relation to species distribution. *Annals of Botany* **86**:675–685.

- Summer, M. E.; Fey, M. V. y Noble, A. D. 1991. Nutrients status and toxicity problems in acid soil. In: Ulrich B., Summer (Eds.), *Soil acidity*. Marcel Dekker, New York. 149-182 p.
- Sutton, R. F. 1991. Soil properties and root development in forest trees. In: Gaitan, J. J.; Peñón, E. A. y Costa, M. C. 2005. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. Maidenii y su relación con algunas propiedades en el suelo. *Ciencia Florestal* **15**:33-41.
- Torres-Colín, R. 2004. Coberturas vegetales. En: García, A. J., Ordoñez, M. J., y Salas, B. M., (eds), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la naturaleza-World Wildlife Fund, México. 105-117 pp.
- Vinton, M. A. y Burke, I. C. 1995. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in short grass steppe. *Ecology* **76**:116-1133.
- Vinton, M. A. y Burke, I. C. 1997. Plant effects on soil nutrient dynamics along a precipitation gradient in Great Plains grasslands. *Oecologia* **110**:393-402.
- Wagner, H. H. y Fortin, M. J. 2005. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics. *Ecology* **86**:1975-1987
- Wahl, S.; Ryser, P. y Edwards, P. J. 2001. Phenotypic plasticity of grass root anatomy in response to light intensity and nutrient supply. *Annals of Botany* **88**:1071-1078.
- Waisel, Y. y Eshel A. 2002. Functional diversity of various constituents of a single root system. In: Waisel, Y, Eshel, A, Kafkafi, U Eds., *Plant Roots: The Hidden Half*, 3rd ed., Marcel Dekker, New York, p. 157-174.
- Wang, F. E.; Chen, Y. X.; Tian, G. M.; Kumar, S.; He, Y. F.; Fu, Q. L. y Lin, Q. 2004. Microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in the soil profiles of different vegetation covers established for soil rehabilitation in a red soil region of southeastern China. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **68**:181-189. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands
- Wang, J.; Yu, D. y Wang, Q. 2008. Growth, biomass allocation, and autotranslocation responses to root and shoot competition in *Myriophyllum spicatum* as a function of sediment nutrient supply. *Aquatic Botany* **88**:357-364.
- Warren-Rhodes, K. A.; Rhodes, K. L.; Pointing, S. B.; Ewing, S. A.; Lacap, D. C.; Gomez-Silva, B.; Amundson, R.; Friedmann, E. I y McKay, C. P. 2006. Hypolithic cyanobacteria, dry limit of photosynthesis, and microbial ecology in the hyperarid Atacama Desert. *Microbial ecology* **52**:389-398.
- Wells E. C. y Eissenstat, D. M. 2003. Beyond the roots of young seedlings: The influence of age and order on Fine root physiology. *Journal of Plant Growth Regulation* **21**:324-334.
- Whitford, W. G. 2002. *Ecology of Desert Systems*. Academic Press, London. 343 pp.

- Wied, A. y Galen, C. 1997. Plant parent care: conspecific nurse effects in *Frasera speciosa* and *Cirsium scopulorum*. *Ecology* **79**:1657–1668.
- Wijesinghe, D. K.; John, E. A.; Beurskens, S. y Hutchings, M. J. 2001. Root system size and precision in nutrient foraging: responses to spatial pattern of nutrient supply in six herbaceous species. *Journal of Ecology* **89**:972–983.
- Wilson, S. D. 2000. Heterogeneity, diversity and scale in plant communities. The Ecological Consequences of Environmental Heterogeneity (eds M. J. Hutchings, E. A. John y A. J. A. Stewart), p. 53–69. Blackwell Science, Oxford
- Wright, M.J.; Davidson K. L. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Agronomy for Sustainable Development, Agronomy*. **16**:197-247.
- Wolters, V. 1997. The good, the bad and the ugly: Is there more to say about soil biodiversity. In: Functional Implications of Biodiversity in Soil. (ed. V. Wolters) pp. 3–9. European Commission, Brussels
- Xie, Y.; Luo, W.; Wang, K. y Ren, B. 2008. Root growth dynamics of *Deyeuxia angustifolia* seedlings in response to water level. *Aquatic Botany* **89**:292–296.
- Yeates, G. W. y Wardle, D. A. 1996. Nematodes as predators and prey: relationships to biological control and soil processes. *Pedobiologia* **40**:43–50.
- Yi, L., Jian, M. y Li, Y. 2007. Soil salt and nutrient concentration in the rhizosphere of desert halophytes. *Acta Ecologica Sinica* **27**:3565-357.
- Zhou, Z. y Shangguan, Z. 2007. Vertical distribution of fine roots in relation to soil factors in *Pinus tabulaeformis* Carr. forest of the Loess Plateau of China. *Plant and Soil* **291**:119–129.

ANEXO A

Cuadro A. Especies registradas en cada sitio de muestreo en bosque tropical subcaducifolio ordenadas por su valor de importancia.

Sitio	Especies de BTSC	VI	Sitio	Especies de BTSC	VI
1	<i>Homalium senarium</i> Sessé & Mociño.	118.96	3	<i>Inga vera</i> Willd.	3.31
	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	46.38		<i>Bixa orellana</i> L.	3.31
	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	45.64		<i>Conostegia xalapensis</i> D. Don	3.15
	<i>Saurauia radlkoferi</i> Buscal.	23.89		<i>Coccoloba barbadensis</i> Jacq.	3.05
	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	18.43		<i>Ctenitis subincisa</i> (Willd.) Ching	2.84
	<i>Guarea glabra</i> Vahl	17.02		<i>Costus scaber</i> Ruiz & Pav.	2.48
	<i>Renealmia aromatica</i> Griseb.	16.77		<i>Hymenaea courbaril</i> L.	104.50
	<i>Xylosma intermedia</i> Triana & Planch.	15.47		<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	46.14
	<i>Lacistema aggregatum</i> (Berg.) Rusby	14.20		<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	43.88
	<i>Conostegia xalapensis</i> D. Don	14.01		<i>Lacistema aggregatum</i> (Berg.) Rusby	27.14
2	<i>Ficus obtusifolia</i> Roxb.	64.46	4	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	24.43
	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	61.22		<i>Cupania glabra</i> Sw.	15.50
	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	42.22		<i>Nectandra globosa</i> Mez	11.88
	<i>Chiococca alba</i> (L.) Hitchc.	40.28		<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	10.15
	<i>Acacia cornigera</i> Willd.	24.48		<i>Icacorea compressa</i> Standl.	9.08
	<i>Oreopanax obtusifolius</i> L.O. Williams	16.28		<i>Eugenia jambos</i> L.	7.30
	<i>Costus scaber</i> Ruiz & Pav.	13.10		<i>Guarea glabra</i> Vahl	37.00
	<i>Lacistema aggregatum</i> (Berg.) Rusby	12.85		<i>Hymenaea courbaril</i> L.	34.50
	<i>Xylosma intermedia</i> Triana & Planch.	12.65		<i>Cupania glabra</i> Sw.	32.23
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	12.46		<i>Miconia glabrata</i> Cogn.	27.97
3	<i>Cupania glabra</i> Sw.	49.15	5	<i>Serjania cardiospermoides</i> Schlttdl. & Cham.	20.21
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	32.05		<i>Miconia borealis</i> Gleason	17.17
	<i>Saurauia aspera</i> Turcz.	30.73		<i>Acacia cornigera</i> Willd.	17.12
	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	20.03		<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	16.50
	<i>Clethra mexicana</i> DC.	18.28		<i>Lacistema aggregatum</i> (Berg.) Rusby	12.58
	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	10.72		<i>Mangifera indica</i> L.	10.68
	<i>Calyptanthes megistophylla</i> Standl.	4.61		<i>Clethra mexicana</i> DC.	6.56
	<i>Icacorea compressa</i> Standl.	4.09		<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	6.30
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	3.83		<i>Nectandra reticulata</i> Britton & P. Wilson	5.03
	<i>Sommeria grandis</i> Standl.	3.53		<i>Miconia purpusii</i> Brandege	5.01
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	4.90	<i>Nectandra globosa</i> Mez	4.76		

Continuación. Cuadro A. Especies registradas en cada sitio de muestreo en bosque tropical subcaducifolio ordenadas por su valor de importancia.

Sitio	Especies de BTSC	VI
5	<i>Xylosma intermedia</i> Triana & Planch.	4.19
	<i>Byrsonima crassifolia</i> Kunth	3.98
	<i>Saurauia nelsonii</i> Rose	3.82
	<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	3.74
	<i>Bixa orellana</i> L.	3.66
	<i>Parathesis brevipes</i> Lundell.	3.62
	<i>Saurauia radlkoferi</i> Buscal.	3.62
	<i>Ctenitis subincisa</i> (Willd.) Ching	3.49
	<i>Inga vera</i> Willd.	3.49
<i>Tectaria mexicana</i> (Fée) C. V. Morton	3.49	

Cuadro A. Especies registradas en cada sitio de muestreo en bosque de pino ordenadas por su valor de importancia.

sitio	Especies BP	VI	sitio	Especies BP	VI
1	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schtdl.	100.40	4	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	15.32
	<i>Byrsonima crassifolia</i> Kunth	36.26		<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch	11.47
	<i>Curatella americana</i> L.	36.23		<i>Saurauia aspera</i> Turcz.	11.19
	<i>Miconia</i> sp	31.90		<i>Mappia longipes</i> Lundell	8.92
	<i>Bessera elegans</i> Schult.f	30.29		<i>Drymonia serrulata</i> Jacq.	8.07
	<i>Acacia cornigera</i> Willd.	28.22		<i>Maytenus staminosa</i> Lundell	7.23
	<i>Clethra mexicana</i> DC.	27.82		<i>Tradescantia zanonii</i> (L.) Sw.	6.14
	<i>Bixa orellana</i> L.	8.89		<i>Oreopanax xalapense</i> Decne. & Planch.	6.02
2	<i>Pinus teocote</i> var. <i>quinquefoliata</i> Cham. & Schtdl.	142.78	<i>Clidemia octona</i> (Bonpl.) L.O.Williams	5.86	
	<i>Clethra mexicana</i> DC.	48.35	<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	5.80	
	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	46.58	<i>Pinus pseudoestrobis</i> Lindl.	82.34	
	<i>Genipa americana</i> L.	15.32	<i>Clethra mexicana</i> DC.	48.94	
	<i>Tibouchina bourgaeana</i> Cog.	14.63	<i>Eupatorium collinum</i> DC.	37.80	
	<i>Clidemia octona</i> (Bonpl.) L.O.Williams	11.32	<i>Byrsonima crassifolia</i> Kunth	30.16	
	<i>Vernonia deppeana</i> Less.	10.65	<i>Clidemia rubra</i> (Aubl.) G.Don f	26.68	
	<i>Byrsonima crassifolia</i> Steud.	9.51	<i>Lasiacis procerrima</i> Hitchc.	21.77	
3	<i>Clethra hartwegii</i> Britton.	53.50	5	<i>Leandra cornoides</i> Cogn. in Mart.	16.81
	<i>Pinus teocote</i> var. <i>quinquefoliata</i> Cham. & Schtdl.	52.77		<i>Miconia albicans</i> Steud.	6.28
	<i>Byrsonima crassifolia</i> Kunth.	35.51		<i>Miconia borealis</i> Gleason	5.68
	<i>Tibouchina bourgaeana</i> Cog.	34.30		<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	5.53
	<i>Clidemia rubra</i> (Aubl.) Mart.	30.79		<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.	4.78
	<i>Leandra cornoides</i> Cogn. in Mart.	21.10		<i>Miconia purpusii</i> Brandegees	4.48
	<i>Eupatorium collinum</i> DC.	16.02		<i>Icacorea compresa</i> Standl	4.44
	<i>Icacorea compresa</i> Standl.	11.66		<i>Curatella americana</i> L.	4.33
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	9.88			
	<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.	9.36			
	<i>Miconia glabrata</i> Cogn.	8.71			
	<i>Drymonia serrulata</i> Jacq.	7.61			
	<i>Miconia albicans</i> Steud.	4.93			
	<i>Parathesis brevipes</i> Lundell	3.80			
4	<i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore	59.62			
	<i>Clethra mexicana</i> DC.	36.24			
	<i>Quercus glaucoides</i> M.Martens & Galeotti	34.31			
	<i>Icacorea compresa</i> Standl.	29.89			
	<i>Clusia salvini</i> Beauv.	18.99			
	<i>Sommeria arborescens</i> Schtdl	17.76			
	<i>Oreopanax langlassei</i> Standl.	17.17			

Cuadro A. Especies registradas en cada sitio de muestreo en bosque mesófilo ordenadas por su valor de importancia.

sitios	Especies de BMM	VI	sitios	Especies de BMM	VI
1	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	79.61	4	<i>Rapanea myricoides</i> (Schltdl.) Lundell	21.57
	<i>Quercus</i> sp.	73.76		<i>Roupala montana</i> Willd.	17.56
	<i>Ostrya virginiana</i> K.Koch	63.62		<i>Myrciaria floribunda</i> O.Berg	14.46
	<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl	30.17		<i>Fraxinus dubia</i> (ex Schult. & Schult.f.) P.S.Green & M.Nee	11.13
	<i>Meliosma dentata</i> Urb.	27.92		<i>Oreopanax langlassei</i> Standl.	10.93
	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	24.90		<i>Clusia salvini</i> Beauv.	10.90
2	<i>Conostegia arborea</i> (Schlecht)Sehaver Linnaea	68.61	<i>Garrya laurifolia</i> Benth.	10.73	
	<i>Oreopanax sanderianus</i> Hemsl.	55.17	<i>Quercus</i> sp.	10.49	
	<i>Cyathea divergens</i> Kunze var. <i>tuerckheimii</i> (Maxon) R. Tryan	43.34	<i>Parathesis rekoii</i> Standl.	10.00	
	<i>Solanum erianthum</i> D.Don	34.77	<i>Moussonia deppeana</i> Klotzsch ex Hanst.	7.74	
	<i>Senecio sanguisorbae</i> DC.	21.00	<i>Roupala montana</i> Aubl	53.33	
	<i>Somera arborescens</i> Schltdl.	18.51	<i>Eugenia capuli</i> Schltdl.	46.56	
	<i>Nectandra globosa</i> Mez	16.92	<i>Rogiera amoena</i> Planch.	36.42	
	<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav.	10.76	<i>Mappia aff longipes</i> Lundell	31.04	
	<i>Saurauia aspera</i> Turcz.	10.53	<i>Senecio angulifolius</i> DC.	20.06	
	<i>Deppea pubescens</i> Hemsl.	10.23	<i>Rhadia</i> sp.	18.43	
<i>Deppea cornifolia</i> Beanth.	10.16	<i>Triumfetta speciosa</i> Seem.	13.57		
3	<i>Alnus arguta</i> var. <i>Acuminata</i> Kunt	61.17	5	<i>Oreopanax langlassei</i> Standl.	12.32
	<i>Fraxinus dubia</i> (ex Schult. & Schult.f.) P.S.Green & M.Nee	58.43		<i>Maytenus staminosa</i> Lundell	11.95
	<i>Rapanea myricoides</i> (Schltdl.) Lundell	26.82		<i>Eupatorium</i> sp.	7.61
	<i>Calliandra houstoniana</i> Standl.	25.47		<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.	7.32
	<i>Triumfetta speciosa</i> Seem.	25.13		<i>Parathesis rekoii</i> Standl.	6.82
	<i>Eugenia capuli</i> Schltdl.	23.26		<i>Clusia salvini</i> Beauv.	5.77
	<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.	14.82		<i>Garrya laurifolia</i> Benth.	5.61
	<i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon	11.56		<i>Moussonia deppeana</i> Klotzsch ex Hanst.	5.40
	<i>Brahea moorei</i> L.H.Bailey in H.E.Moore	10.12		<i>Meliosma dentata</i> Urb.	4.83
	<i>Quercus aristata</i> Hook. & Arn.	7.61		<i>Malvaviscus konzattii</i> Greenm.	4.42
	<i>Prunus</i> sp.	7.34		<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	4.29
	<i>Cedrela odorata</i> L.	7.01		<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav. var. <i>brihondus</i> Schery	4.26
	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	6.13			
	<i>Roupala montana</i> Willd.	5.21			
	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	5.06			
<i>Miconia heterothrix</i> Gleason & Wurdack	4.87				
4	<i>Zinowiewia concinna</i> Lundell	109.47			
	<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.	65.04			

ANEXO B
Análisis estadístico de los parámetros de la raíz

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Bartlett Levene</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>		<i>Bartlett Leven</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>
Longitud					Superficie			
Bosque Tropical Subcaducifolio	0-10		$X^2_3 = 5.38$ $p = 0.14$	1#3	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la clase diámetrica 3.	$X^2 = 3.0111$ $p = 0.390$		No existen diferencias significativas
	10-20	$F_{(3,14)} = 2.51$ $p = 0.10$		1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diámetricas.	$X^2 = 1.0196$ $p = 0.797$		No existen diferencias significativas
	20-30	$F_{(3,14)} = 0.80$ $p = 0.51$		1#2, 1#3, 1#4 2#3, 2#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diámetricas, al igual que la 2 de la 3 y 4.	$F_{(3,14)} = 1.1162$ $p = 0.37$		No existen diferencias significativas
	30-40	$F_{(3,14)} = 2.24$ $p = 0.12$			La longitud correspondiente clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diámetricas	$X^2 = 2.3812$ $p = 0.497$	1#2, 1#3, 1#4	No existen diferencias significativas
	40-50		$X^2_3 = 4.96$ $p = 0.17$		No existen diferencias significativas	$F_{(3,14)} = 3.26$ $p = 0.053$		No existen diferencias significativas
	50-60	$X^2 = 2.0903$ $p = 0.352$	$F_{(3,14)} = 1.13$ $p = 0.40$		No existen diferencias significativas	$X^2 = 0.66$ $p = 0.71$		No existen diferencias significativas
	60-70		$X^2_3 = 10.00$ $p = 0.01$	1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la clase diámetrica 3.	$X^2 = 6.10$ $p = 0.10$	1#2, 1#3, 1#4	No existen diferencias significativas
	70-80	$F_{(3,12)} = 1.38$ $p = 0.29$		1#2, 1#3, 1#4 2#3, 2#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diámetricas, al igual que la 2 de la 3 y 4.	$X^2 = 4.7691$ $p = 0.19$		No existen diferencias significativas

Continuación: Análisis estadístico de los parámetros de la raíz

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>prof undi dad</i>	<i>Bartlett Levene</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>		<i>Bartlett Leven</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>	
Bosque Tropical Subcaducifolio	80-90	$F_{(3,10)}=1.61$ $p=0.24$	Longitud	1≠2, 1≠3, 1≠4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas	$X^2=4.25$ $p=0.23$	Superficie	1≠2, 1≠3, 1≠4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas
	90-100		$X^2_3=6.96$ $p=0.07$	1≠4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 4	$F_{(3,10)}=1.57$ $p=0.25$		1≠2, 1≠3, 1≠4	No existen diferencias significativas
	100-110	$X^2=3.12$ $p=0.07$			No existen diferencias significativas	$X^2=2.13$ $p=0.14$			No existen diferencias significativas
	110-120	$X^2=1.32$ $p=0.51$			No existen diferencias significativas	$X^2=0.35$ $p=0.83$			No existen diferencias significativas
	120-130	$X^2=3.73$ $p=0.05$			No existen diferencias significativas	$X^2=0.03$ $p=0.85$			No existen diferencias significativas
	130-140	$X^2=2.21$ $p=0.13$			No existen diferencias significativas	$X^2=0.22$ $p=0.63$			No existen diferencias significativas
	140-150	$F_{(1,3)}=2.23$ $p=0.23$			No existen diferencias significativas	$X^2=2.81$ $p=0.09$			No existen diferencias significativas

Continuación: Análisis estadístico de los parámetros de la raíz

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>prof undi dad</i>	<i>Bartlett Levene</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>	<i>Bartlett Leven</i>	<i>ANDEV A ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>	
		Longitud			Superficie			
Bosque de Pino	0-10	$X^2= 6.03$ $p= 0.11$			No existen diferencias significativas	$X^2=0.045$ $p= 0.531$		No existen diferencias significativas
	10-20		$F_{(3,1)}= 72.59$ $p=0.0860$		No existen diferencias significativas		$F_{(3,1)}= 12.28$ $p=0.20$	No existen diferencias significativas
	20-30	$X^2= 4.9971$ $p= 0.172$			No existen diferencias significativas	$X^2= 0.85$ $p= 0.83$		2#4, 3#4 La clase diamétrica 2 y 3 son diferentes a la 4
	30-40		$F_{(3,1)}= 11.53$ $p=0.2124$		No existen diferencias significativas		$F_{(3,1)}= 3.86$ $p= 0.35$	No existen diferencias significativas
	40-50	$X^2= 6.89$ $p= 0.07$		1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diamétrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas	$X^2= 5.5800$ $p= 0.134$		No existen diferencias significativas
	50-60		$X^2_3=0.64$ $p= 0.88$		No existen diferencias significativas	$X^2= 3.59$ $p= 0.30$		No existen diferencias significativas
	60-70	$X^2= 6.10$ $p= 0.10$		1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diamétrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas		$F_{(3,2)}= 8.61$ $p= 0.10$	No existen diferencias significativas
	70-80	$F_{(3,6)}= 2.17$ $p= 0.19$			No existen diferencias significativas	$X^2= 4.14$ $p= 0.24$		No existen diferencias significativas

Continuación: Análisis estadístico de los parámetros de la raíz

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>profundidad</i>	<i>Bartlett Levene</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>		<i>Bartlett Leven</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>
Bosque de Pino			Longitud				Superficie	
	80-90	$\chi^2= 7.44$ $p= 0.059$			No existen diferencias significativas	$\chi^2= 6.11$ $p= 0.10$		No existen diferencias significativas
	90-100	$F_{(3,6)}= 8.06$ $p= 0.04$		1≠3	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 3.	$\chi^2= 5.12$ $p= 0.163$		No existen diferencias significativas
	100-110		$F_{(3,1)}= 2.54$ $p=0.42$	1≠2, 1≠3, 1≠4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diámétricas		$F_{(3,1)}= 4.06$ $p= 0.3461$	No existen diferencias significativas
	120-130		$F_{(3,1)}= 8.67$ $p= 0.24$		No existen diferencias significativas		$F_{(3,1)}= 12.60$ $p= 0.20$	No existen diferencias significativas
	130-140		$F_{(3,1)}= 11.05$ $p= 0.21$		No existen diferencias significativas		$F_{(3,1)}= 4.10$ $p= 0.34$	No existen diferencias significativas
	140-150				No existen diferencias significativas			No existen diferencias significativas
150-160			$F_{(3,1)}= 0.20$ $p= 0.88$		No existen diferencias significativas		$F_{(3,1)}= 0.18$ $p= 0.90$	No existen diferencias significativas

Continuación: Análisis estadístico de los parámetros de la raíz

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>prof undi dad</i>	<i>Bartlett Levene</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>		<i>Bartlett Leven</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>	
		Longitud				Superficie			
Bosque Mesófilo	0-10		$X^2_3 = 3.73$ $p = 0.29$		No existen diferencias significativas	$X^2 = 3.07$ $p = 0.38$			No existen diferencias significativas
	10-20	$X^2 = 3.93$ $p = 0.269$		1#3	La longitud correspondiente a la raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 3.	$X^2 = 1.24$ $p = 0.74$			No existen diferencias significativas
	20-30	$X^2 = 7.22$ $p = 0.06$		1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas	$X^2 = 0.39$ $p = 0.94$		1#4	La superficie correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 4.
	30-40	$F_{(3,14)} = 2.04$ $p = 0.15$		1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas	$X^2 = 2.15$ $p = 0.54$			No existen diferencias significativas
	40-50	$F_{(3,14)} = 4.43$ $p = 0.02$		1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas		$X^2_3 = 9.23$ $p = 0.02$	1#2, 1#3, 1#4	La superficie correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto.
	50-60		$X^2_3 = 9.42$ $p = 0.02$	1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 4	$X^2 = 6.52$ $p = 0.08$		1#4	La superficie correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 4
	60-70		$X^2_3 = 8.41$ $p = 0.03$	1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 3 y 4	$X^2 = 7.41$ $p = 0.06$			No existen diferencias significativas

Continuación: Análisis estadístico de los parámetros de la raíz

<i>Cobertura vegetal</i>	<i>profundidad</i>	<i>Bartlett Levene</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>		<i>Bartlett Leven</i>	<i>ANDEVA ó Kw</i>	<i>Bonferroni ó Z</i>	
			Longitud				Superficie		
Bosque Mesófilo	70-80	$F_{(3,11)}=2.33$ $p=0.13$		1#2, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 3 y 4	$X^2=5.80$ $p=0.12$		No existen diferencias significativas	
	80-90	$F_{(3,13)}=1.84$ $p=0.18$			No existen diferencias significativas	$F_{(3,13)}=1.25$ $p=0.33$		No existen diferencias significativas	
	90-100		$X^2_3=2.90$ $p=0.040$		No existen diferencias significativas	$X^2=5.99$ $p=0.11$		No existen diferencias significativas	
	100-110	$X^2=2.43$ $p=0.29$			No existen diferencias significativas	$X^2=0.18$ $p=0.91$		No existen diferencias significativas	
	110-120	$X^2=2.94$ $p=0.08$			No existen diferencias significativas	$X^2=0.20$ $p=0.65$		No existen diferencias significativas	
	120-130	$X^2=0.88$ $p=0.64$		1#2, 1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente al resto de las clases diamétricas	$X^2=1.57$ $p=0.45$		1#2 La superficie correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 2	
	130-140		$X^2_3=5.96$ $p=0.11$	1#3, 1#4	La longitud correspondiente a las raíces de la clase diámetrica 1 es diferente a la 3 y 4	$X^2=1.54$ $p=0.35$		No existen diferencias significativas	
	140-150		$X^2_3=4.53$ $p=0.20$		No existen diferencias significativas	$X^2=1.34$ $p=0.54$		No existen diferencias significativas	
	150-160		$F_{(3,11)}=11.97$ $p=0.20$		No existen diferencias significativas	$X^2=4.54$ $p=0.10$		No existen diferencias significativas	

ANEXO C.
Fórmulas para calcular el índice de valor de importancia (Cox, 2002)

Densidad= Número de individuos de la especie / área muestreada

Densidad relativa= (Densidad de todas las especies / densidad para todas las especies) X 100

Dominancia= Diámetro a la altura del pecho de la especie / área muestreada

Dominancia relativa= (Dominancia de todas las especies / dominancia para todas las especies) X 100

Frecuencia = Número de cuadrantes en los que aparece la especie / número total de cuadrantes

Frecuencia relativa= (Frecuencia de la especie/ frecuencia de todas las especies) X 100

Índice de valor de importancia= densidad relativa + dominancia relativa + frecuencia relativa