



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

## Relación suelo-vegetación en un gradiente altitudinal en el municipio de Putla Villa de Guerrero Oaxaca

Tesis que para obtener el título de Biólogo

P R E S E N T A N:

AGÜERO PLIEGO ROBERTO

Y

ROMERO TIRADO NÉSTOR ADRIÁN

Director de tesis: M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN SISTEMÁTICA VEGETAL Y  
SUELO

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LO HUMANO EJE  
DE NUESTRA REFLEXIÓN

Proyecto apoyado por DGAPA-PAPIIT IN 219907

México D.F. Noviembre 2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

*Especial Agradecimiento a:*

*A nuestra alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México con emoción y agradecimiento por habernos recibido en su generoso regazo, por la oportunidad de ensanchar nuestros horizontes, de ampliar nuestro estrecho marco conceptual y comenzar a nombrar nuevas realidades nunca percibidas.*

*La Dirección General de Apoyo al Personal Académico, DGAPA, por su apoyo a través del proyecto PAPIIT número IN 219907.*

*A nuestro estimado director de tesis M. en C. Ramiro Ríos Gómez, por su paciencia, compromiso, dedicación, y sobre todo por sus enseñanzas durante estos años.*

*A los sinodales miembros del jurado Biol. Elvira García Santos, M. en C Ma. De Jesús Sánchez Colín, M. en C. Faustino López Barrera, y al Dr. Eloy Solano Camacho, por sus inestimables revisiones y sugerencias sobre el contenido de este escrito.*

*A la Unidad de Investigación en Sistemática Vegetal y Suelo por la ayuda en la revisión e identificación de los ejemplares de especies vegetales en especial al Dr. Eloy Solano Camacho, Dr. Carlos Castillejos Cruz, Biol. Rocío Verónica González Vázquez, P de B. Ana Margarita Pichardo Ramírez.*

*Al M. en C. Ezequiel Hernández Pérez por el apoyo técnico en el uso de los SIG.*

*Al M. en C. Armando Cervantes Fuentes por su asesoría en el análisis estadístico de los datos.*

## *Dedicatoria Roberth para...*

*Mis padres Lucina y Tomas, a quienes agradezco su confianza, cariño y comprensión de alguna manera esto también es suyo.*

*Mi hermana Liliana y mi sobrina Elu, quien muy probablemente no tiene la mínima idea de que es esto, pero a su debido tiempo la tendrá, esperando sirva de inspiración para realice todo lo que se proponga.*

*Mis primos Alfredo, Eric y Javier.*

*Mago, Armando, Cande, Pibe, David, Gus, Kikin, Mario, Harry, Juan, Toño, Matrix, Joshi, Wuero, y Tona, mis amigos con los que viví muy buenos momentos en la facultad todos estos años, gracias "Pranga".*

*Karlita, Oli, Brendita, Lai, Cinthia, Lore, Isa y Clau, gracias por su amistad y hacer más placentera la vida dentro y fuera de Universum.*

*Mis compañeros durante la carrera Lalo B, Claudia, Nallely, Concepción, Avilene, Beresota, Erika, Ramón, Liz, Tania entre otros tantos.*

*Mis compañeros y amigos con los que disfrute y sufrí en campo, en el herbario y el laboratorio de suelos aunque la aventura no la terminamos juntos pero en el camino seguimos, Viri, Jaramillo, Roció, Giovanna, Ana y Chay.*

*A Carlos Castillejos, por los consejos dados en los momentos difíciles gracias.*

*A todos mis profesores que tuve durante la carrera.*

*Y muy en especial a Ilse gracias por todo, por fin lo logre.*

*El individuo ha luchado siempre para no ser absorbido por la tribu. Si lo intentas, a menudo estarás solo, y a veces asustado. Pero ningún precio es demasiado alto por el privilegio de ser uno mismo. Friedrich Nietzsche*

*Dedicatorias Néstor Adrián para:*

*A mis papás, María Guadalupe y Vicente, por su admirable entrega en la formación de sus hijos, que con gran esfuerzo me dieron buena educación, sostén económico, amor y han sido mis guías en toda mi trayectoria escolar.*

*A mis tías, Leo y Lindi, por su invaluable apoyo durante toda mi carrera, sobresaliendo en los momentos de crisis económicos y de salud.*

*A mi querida novia Ana Margarita, por su amor, ayuda, compañía, y por todas sus lecciones que han servido en la superación de periodos difíciles y en la conclusión de metas.*

*A mis hermanos, Rodrigo y Esteban, por sus enseñanzas, consejos y vivencias, siendo ejemplos en mi superación personal.*

*A mi suegra Beatriz, por todo el soporte y cariño brindado para el término de los estudios universitarios.*

*A mis compañeros y amigos, Líder, Ruso, Paty, Yuts, Sache, Eder, Memo, Sauza, Shack, Fercho, que a través de las incontables anécdotas y experiencias me han dado lecciones de vida.*

*A mis demás familiares y compañeros quienes me han auxiliado en algún momento de mi formación académica.*

## CONTENIDO

RESUMEN	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
El suelo en el ecosistema	3
Importancia ecológica del suelo	4
Diversidad vegetal y sus funciones en el ecosistema	7
Interacción diversidad vegetal y propiedades del suelo	9
El suelo como controlador de la biodiversidad	15
Geoestadística y distribución espacial	16
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
Ubicación geográfica	19
OBJETIVO GENERAL	22
OBJETIVOS PARTICULARES	22
HIPÓTESIS	22
JUSTIFICACIÓN	22
METODOLOGÍA	23
Trabajo de campo	23
Trabajo de laboratorio	24
Identificación taxonómica de los especímenes vegetales	24
Análisis de suelos	24
Análisis estadístico	25
Cálculo de Similitud	26
Mapa de suelo y variables ambientales	26
Mapa de Vegetación	26
Valor de Importancia	27
Diversidad de especies	27

RESULTADOS	28
Sitios de muestreo	28
Descripción morfológica de perfiles de suelo	31
Identificación de los suelos muestreados con base en la WRB	47
Distribución de horizontes a lo largo del perfil	47
Integración Florística	58
Valor de Importancia de las especies	59
Dominantes ecológicos por cobertura vegetal	59
Índices de diversidad de especies	61
Descripción de las coberturas vegetales	62
Distribución radical	69
Correspondencia entre suelo y vegetación	72
Análisis estadístico	76
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
CONCLUSIONES	107
LITERATURA CITADA	109
ANEXO I. Propiedades físico-químicas de los perfiles muestreados en BTSC, BP y BMM	125
ANEXO II. Listado de especies de los BTSC, BP y BMM	128
ANEXO III. Especies vegetales y sus atributos ecológicos por tipo de vegetación	131

## CUADROS

Núm.		Pág.
1.	Propiedades del suelo y métodos utilizados	24
2.	Localidades de muestreo de los tres bosques estudiados	28
3.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil uno de suelo	32
4.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil dos de suelo	33
5.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil tres de suelo	34
6.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil cuatro de suelo	35
7.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil cinco de suelo	36
8.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil seis de suelo	37
9.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil siete de suelo	38
10.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil ocho de suelo	39
11.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil nueve de suelo	40
12.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil diez de suelo	41
13.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil once de suelo	42
14.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil doce de suelo	43
15.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil trece de suelo	44
16.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil catorce de suelo	45
17.	Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil quince de suelo	46
18.	Grupos de suelos de Referencia (GSR)	50
19.	Promedios de las propiedades edáficas por localidad del Bosque Tropical Subcaducifolio	52
20.	Promedio de las propiedades edáficas por localidad en las coberturas del Bosque de Pino	53
21.	Promedios de las propiedades edáficas por localidad bosque mesófilo de montaña.	54
22.	Promedios de las propiedades edáficas por vegetación	55
23.	Integración florística de las localidades por sitio de muestreo	58
24.	Diversidad de especies bosque tropical subcaducifolio	61
25.	Diversidad de especies bosque de pino	62
26.	Diversidad de especies bosque mesófilo de montaña	62
27.	Áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación presentes en el municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca	73
28.	Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces del Bosque Tropical Subcaducifolio	77
29.	Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces del bosque de pino	78
30.	Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces del bosque mesófilo de montaña	79
31.	Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces de los bosques estudiados	80



## FIGURAS

Núm.		Pág.
1	Municipio Putla Villa de Guerrero	19
2	Localización de los sitios de muestreo	29
3	Temperatura máxima promedio anual	29
4	Temperatura mínima promedio anual	30
5	Precipitación media anual	30
6	Distribución del horizonte orgánico en cada uno de los quince sitios de muestreo	47
7	Distribución de los horizontes a lo largo del perfil realizado en cada uno de los quince sitios de muestreo	48
8	Suelos (%) en los que está establecido el bosque tropical subcaducifolio	48
9	Suelos (%) en los que está establecido el bosque de pino	49
10	Suelos (%) en los que está establecido el bosque mesófilo de montaña	49
11	Dominantes ecológicos bosque tropical subcaducifolio	59
12	Dominantes ecológicos bosque de pino	60
13	Dominantes ecológicos bosque mesófilo de montaña	61
14	Dendograma de similitud Bosque Tropical Subcaducifolio	64
15	Dendograma de similitud bosque de pino	66
16	Dendograma de similitud BMM	69
17	Distribución del sistema radical muy fino a lo largo del perfil del suelo de los tres bosques	71
18	Distribución del sistema radical fino a grueso a lo largo del perfil del suelo de los tres bosques	71
19	Distribución espacial de los suelos en el municipio de Putla Villa de Guerrero Oaxaca	72
20	Porcentaje de suelos en el municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca	73
21	Mapa de uso del suelo del Municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca.	74
22	Porcentajes de vegetación y uso del suelo	75
23	Mapa de altitud del municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca	75
24	Diagramas de dispersión del análisis de correlación de raíces del bosque tropical subcaducifolio	77
25	Diagramas de dispersión del análisis de correlación de raíces del bosque de pino.	78
26	Diagramas de dispersión del análisis de correlación de raíces del bosque mesófilo de montaña	79
27	Diagramas de dispersión del análisis de correlación entre raíces de los bosques tropical subcaducifolio, de pino y mesófilo de montaña y las propiedades físicas y químicas de los suelos muestreados.	81

## RESUMEN

En el presente trabajo, se describe la relación que existe entre el conjunto suelo-vegetación en los bosques, tropical subcaducifolio (BTSC), de Pino (BP) y Mesófilo de Montaña (BMM), localizados a diferentes altitudes. El municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca está caracterizado por un fuerte gradiente altitudinal que va de 670 m a 2300 m en su cumbre. En él se distribuyen tres coberturas vegetales, de rasgos y requerimientos ecológicos muy distintos. Se muestrearon cinco sitios de aproximadamente 400 m<sup>2</sup> por tipo de vegetación, se registró de cada individuo vegetal, la especie, diámetro a la altura del pecho, para posteriormente calcular las variables de densidad, frecuencia, dominancia, así como, sus valores relativos, también se recolectaron, prensaron, determinaron y cotejaron especímenes de los componentes de la vegetación. Se obtuvieron los índices de diversidad de Shannon y Simpson mediante el programa EstimateS 6.0. En el caso del suelo, se realizó la apertura de un perfil en cada sitio de muestreo, de aproximadamente 2 m de largo, 1 m de ancho, y profundidad hasta donde se distribuía el 95% del sistema radical, posteriormente se describieron morfológicamente. De cada horizonte se tomaron muestras para sus análisis físicos y químico correspondiente. Por otro lado, se extrajo un monolito de 20 x 20 cm de lado, se tomó una muestra cada 10 cm de espesor con el fin de estudiar la distribución del sistema radical. Se analizaron datos cuantitativos obtenidos en las distintas variables edáficas como densidad real y aparente, espacio poroso, pH, textura, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, fósforo y nitrógeno; en las biológicas se midió, la distribución de las raíces a lo largo del perfil, fueron evaluadas con el programa de cómputo STATGRAPHICS Plus 5.0, mediante un análisis de correlación. Se realizó la cartografía de vegetación, variables físicas y químicas del suelo, con el programa ArcGis 9.2. Se encontró que el BMM tiene la más alta diversidad de especies, seguido por el BTSC y el BP presentó el menor número de estas pero el mayor número de individuos. Los suelos del BMM tienen las condiciones más favorables para el desarrollo del sistema radical, son el resultado de la influencia de la vegetación a través de su sistema radical, junto con el mantillo aportado principalmente por los dominantes ecológicos. Es evidente que la distribución de la vegetación está condicionada por la altitud, dado que los BMM se asocian con las mayores altitudes 1200–2200 m, los BTSC se distribuyen en las altitudes más bajas 650–900 m y los Bosques de Pino están en altitudes de 800-1850 m. La variabilidad ambiental que determina los patrones de distribución-abundancia tiene dos grandes componentes: altitud y topografía, las cuales determinan el clima, que conjuntamente con propiedades como: humedad, materia orgánica, pH, DA, ciclaje de nutrientes P y N, permiten una mejor distribución radical en el suelo determinando la presencia de las coberturas vegetales. El Luvisol es el suelo más ampliamente distribuido dentro del municipio, en él se desarrollan las tres coberturas vegetales estudiadas, sin embargo, el Cambisol está exclusivamente en los Bosques Mesófilos de Montaña, el Luvisol háplico es dominante en BP y el Regosol háplico lo es en BTSC.

## INTRODUCCIÓN

La vegetación, comprendida como la expresión evolutiva de aglomerados de especies en un lugar y un tiempo determinado, ha sido objeto de estudio de múltiples disciplinas. De manera paralela, el análisis del suelo, es un tema que difícilmente puede ser abordado de manera independiente al estudio de la vegetación, ya que en conjunto, es lo más adecuado para los programas de conservación, ordenamiento, planeación del uso del suelo y la vegetación.

México junto con Brasil, Colombia, China, Costa Rica, Ecuador, India, Indonesia, Kenia, Perú, Sudáfrica y Venezuela, son los 12 países biológicamente más ricos del planeta, poseen entre 70 y 75% de las especies de flora y fauna conocidas (Mittermeier *et al.*, 1997). De estos, China, India y México son los 3 países con mayor biodiversidad en su cubierta vegetal a nivel mundial (Dinerstein *et al.*, 1995). La megadiversidad en nuestro país se debe a que convergen los reinos biogeográficos Neártico y Neotropical, además de su intrincada historia geológica, su compleja y variada topografía junto con los cambios altitudinales que traen consigo tanto variedad de climas como de microclimas (Flores y Gerez, 1994), entre ellos, intensidad de la radiación, insolación, humedad atmosférica relativa, oscilación diurna de la temperatura y la cantidad de oxígeno disponible (Cordero y Morales, 1998).

La influencia de los vientos provenientes tanto del Golfo de México como del Océano Pacífico, conjuntamente con la fisiografía del país, determinan la existencia de bosques mesófilos. Así mismo, los gradientes altitudinales por la intrincada fisiografía influyen en la presencia de los bosques de coníferas y de fagáceas. Esta variedad de ecosistemas genera una alta diversidad de especies. En este contexto, Rzedowski (1991), señaló que la flora fanerogámica mexicana está conformada por 22 000 especies, con un nivel de endemismo superior al 40%.

Según García-Mendoza (2004), Oaxaca está considerado como uno de los estados más biodiversos del país, en él se describen 26 tipos de vegetación (Torres-Colín, 2004), destacan los pinares, selvas bajas caducifolias, pastizales, selvas altas perennifolias, encinares, bosques caducifolios y 16 unidades de suelo (INEGI 1982-1988), de éstas, los Acrisoles, Regosoles y Luvisoles cubren cerca del 60% del territorio oaxaqueño. Alfaro-Sánchez (2004) mencionó que, además de estas unidades, igualmente están bien representados los Cambisoles, Litosoles, Fluvisoles y Arenosoles.

Debido a los procesos complejos que han intervenido en la formación de los suelos oaxaqueños, no existe una correspondencia directa entre los tipos de suelos y vegetación actual. La mayoría de ellos refleja las condiciones ambientales del pasado así como los procesos geomorfológicos actuales. En este contexto, la vegetación está directamente relacionada con el suelo; la explotación irracional de ambos recursos, se refleja en el aumento de las áreas erosionadas (Alfaro-Sánchez, 2004). Escamilla (1999) mencionó que el clima, la topografía, el drenaje, el material parental y otros factores, influyen en el desarrollo de las comunidades vegetales y que estos factores intervienen profundamente en el desarrollo del suelo. Por tanto, los suelos pueden poseer ciertas propiedades químicas o físicas que se asocian con ciertos ecosistemas, exceptuando cambios temporales o locales, las propiedades del suelo se corresponden con el tipo de vegetación.

El municipio Putla, el cual forma parte de la Región Terrestre Prioritaria número 126 está caracterizado por un fuerte gradiente altitudinal que va de 670 m a 2300 m, con variaciones climáticas que tienen un claro reflejo en las distintas comunidades vegetales. Estas condiciones motivaron su elección para estudiar el comportamiento, distribución de los tres bosques, con rasgos y requerimientos ecológicos muy distintos. De este modo, en el presente trabajo, se describe la relación que existe entre el suelo y la vegetación en los bosques tropical subcaducifolio (BTSC), de pino (BP) y mesófilo de montaña (BMM), a lo largo del gradiente altitudinal que presenta el municipio.

# ANTECEDENTES

## EL SUELO EN EL ECOSISTEMA

Un ecosistema es un conjunto que forman la biocenosis, su substrato y su medio, considerados sobre todo desde el punto de vista del flujo de materia y energía (Rzedowski, 1978), incluye todos los organismos que funcionan juntos como una comunidad de seres vivos en un área determinada, en interacción con el medio ambiente, en este caso, el medio es la atmósfera, el clima y el suelo. Este último provee alojamiento a millones de microorganismos, tales como hongos, algas, bacterias, protozoarios y vertebrados, entre los cuales se incluyen ácaros, lapas, caracoles, centípedos, arañas, nemátodos, gusanos y hormigas. Todos ellos llevan a cabo procesos físicos y biológicos necesarios para un ecosistema saludable, tales como el reciclaje de nutrientes, remoción de desperdicios, aireación, estructura del suelo y retención de humedad (Manlay *et al.* 2007).

El suelo es un recurso natural importante para el desarrollo sostenible de los ecosistemas naturales y antropogénicos (Dumanski *et al.*, 1998); una mezcla compleja de agua, aire, partículas orgánicas y fragmentos de materiales minerales de diversos tamaños, derivados de la alteración física, química y biológica de los materiales geológicos y residuos orgánicos en un tiempo determinado (Buol, 1985), un cuerpo natural dinámico, vital para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, compuesto por horizontes edáficos con propiedades distintas, cambia con el tiempo y en el espacio, contiene material mineral y orgánico no consolidado que ha estado sujeto a factores formadores y muestra efectos de procesos pedogenéticos. El suelo es un sistema abierto que presenta intercambios de materia y energía con el medio, en él, se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de su morfología (forma), características y propiedades (Arnold, 1990).

La formación de un suelo depende de la interacción del clima, topografía, biota y material parental, durante un largo proceso y puede formarse a una tasa de 1 cm por cada 100 a 400 años (Porta *et al.*, 1994). Sin embargo, difiere del material del cual se ha generado en características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (SSSA, 1997). Los diversos factores y procesos que promueven la distribución de los componentes, propician la formación de horizontes (Soil Survey Staff, 1999) que son aproximadamente paralelos a la superficie y cuyas características se derivan de los procesos pedogénicos o edafogénicos (Foth, 1980) y pueden dar origen a combinaciones únicas en

zonas fisiográficas (Buol, 1985). El estudio de los suelos se enfoca en los perfiles, que son cortes verticales del espesor de los materiales sueltos que cubren la superficie terrestre donde se puede observar la influencia de los factores y procesos.

Las dos características que se miden con mayor frecuencia en el clima que se han correlacionado con las propiedades de los suelos son: precipitación pluvial y temperatura. El clima no solo da muestras de su influencia sobre la formación del suelo, sino también por su control del factor orgánico, hasta cierto punto del relieve y el tiempo (Aguilera, 1989).

El factor biológico tiene una influencia y versatilidad tal que ni siquiera las reacciones del suelo son criterios dignos de confianza en la teoría edáfica por la movilidad de los nutrientes a través del ecosistema. Las adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones son los procesos principales, éstos se consideran irregulares en su funcionamiento, a su vez, cada uno está conformado por procesos específicos que actúan sobre el material suelto en el suelo de manera significativa al formar horizontes definidos dando origen al perfil edáfico (Jenny, 1961).

Las propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos influyen en el fenotipo de las plantas, germinación de las semillas, desarrollo de las plántulas, en su densidad, distribución, viabilidad de partes vegetativas y reproductivas, consistencia, profundidad y distribución de la raíz, resistencia a la sequía o heladas, en el ciclo vegetativo, contenido de nutrientes y en la palatabilidad para el hombre, ganado y fauna silvestre (Brady, 1990). Al presentar los suelos estas propiedades, asociarlas 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).

## **IMPORTANCIA ECOLÓGICA DEL SUELO**

El suelo es un recurso natural no renovable receptor de las actividades humanas, resultando un componente crítico de la biosfera de tal manera que la vida en el planeta depende en gran medida de sus funciones que este realiza, entre ellas: producción de biomasa, filtro de fluidos y regulación de los ciclos biogeoquímicos. La principal causa de degradación de un ecosistema es la rotura del balance de energía y nutrientes (Doran y Parkin, 1996). Constanza *et al.*, (1992), indicaron que un ecosistema se encuentra en buen estado si es activo, mantiene su organización, autonomía a lo

largo del tiempo y es resiliente al estrés, por tanto, cualquier actividad debe realizarse de forma que posibilite su funcionalidad (Bakkes *et al.*, 1994), ya que su degradación es un proceso que empieza con pérdida de biodiversidad, cobertura vegetal y termina afectando al suelo.

El ciclo de nutrientes consta de la entrada de éstos al ecosistema (meteorización de la roca madre, fijación biológica de nitrógeno, aportes atmosféricos, transferencias por biota), su flujo entre las plantas y el suelo (absorción radicular, retranslocación, desfronde, descomposición y otros procesos edáficos) y la pérdida de ellos (lixiviación, escorrentía, emisión de gases y aerosoles, transferencias por biota y explotación de recursos). Las entradas y salidas del ecosistema se conocen como el ciclo externo de nutrientes, por otra parte, los flujos entre las plantas y el suelo como el ciclo interno. En ecosistemas naturales o seminaturales, las entradas y salidas de los nutrientes son una pequeña fracción de la cantidad que circula internamente, produciendo sistemas relativamente cerrados, con ciclos conservadores (Chapin *et al.*, 2002).

El suelo es capaz de soportar plantas en forma natural, dado que en él se realizan procesos ecosistémicos como: tasas de mineralización de nitrógeno, desnitrificación, inmovilización de nutrientes, transferencia de energía a través de la cadena alimentaria, mineralización del carbono, productividad primaria, mineralización de la materia orgánica, regulan los flujos de energía, circulación de agua, almacenes de nutrientes, tasas de desnitrificación, inmovilización y respiración (Mayer, 2005).

Los flujos anuales de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y de la mayoría de los nutrientes esenciales, tienen lugar gracias al papel funcional de los microorganismos en los primeros 10 cm del perfil de suelo, entre las principales funciones que realizan estos microorganismos en el ciclo de nutrientes están: por un lado, el suministro de estos a través de la mineralización de la materia orgánica, solubilización de minerales, fósforo, hierro, transformación de nutrientes por la oxidación del metano, nitrificación, fijación simbiótica y no simbiótica del N<sub>2</sub> y oxidación del azufre. Por otro lado, pérdida de nutrientes por la generación de CO<sub>2</sub>, producción de metano, desnitrificación y reducción de sulfatos (Kuhad *et al.*, 2004)

Neher (1999) menciona las siguientes funciones ecológicas del suelo como las más importantes: promueve el crecimiento de las plantas; recibe, almacena y libera agua (regulando su calidad), aire ya que funciona como un reactor, filtrando, amortiguando, transformando muchos compuestos, entre ellos los contaminantes; recicla carbohidratos y nutrientes a través de la mineralización; transfiere energía en la cadena alimenticia de detritus, actuando como un buffer ambiental. Por otro lado, también se reconoce que el suelo refleja la información de los procesos que ocurren en el paisaje y guarda rasgos de las condiciones ambientales del pasado, lo que se denomina "Memoria de la biosfera".

En general, este recurso es importante porque soporta plantas que proporcionan alimento, fibras, drogas y otros requerimientos humanos (Soil Survey Staff, 1999). Según Clements (1916), cada planta es una medida de las condiciones bajo las que crece, ya que son organismos que están anclados o enraizados en el suelo, reciben agua y nutrientes para procesarlos en moléculas ricas en energía.

Como reservorio de nutrientes, la microflora y microfauna influyen indirectamente en su mineralización (Trofymow y Coleman, 1982). La biota del suelo contribuye directamente en las formas de nitrógeno mineralizado por excreción de amonio (protozoarios y nemátodos) o nitrato (Griffiths, 1994). En adición a esto, se estima que los protozoarios, bacterias y nemátodos contribuyen (directa e indirectamente) con alrededor de 8 a 19 % en la mineralización del nitrógeno en sistemas agrícolas convencionales e integrados. La fauna del suelo además de estimular la mineralización neta de nutrientes, promueve su inmovilización (Beare, 1997).

Bacterias (incluidos los actinomicetos), hongos, algas y protozoarios son los descomponedores primarios de la materia orgánica. Nemátodos, grandes protozoarios, colémbolos y ácaros se alimentan de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica (Seastedt, 1984). Quizá el funcionamiento del ecosistema depende más de la presencia y abundancia de grupos funcionales particulares que de la compleja red de alimento o de la misma biodiversidad (Andrén *et al.*, 1995).



## DIVERSIDAD VEGETAL Y SUS FUNCIONES EN EL ECOSISTEMA

Cuando un ecosistema se encuentra en estado estable, alcanza su máxima diversidad; ésta puede variar dependiendo de la región biogeográfica donde se encuentre (Noss, 1990). Los procesos ecológicos que operan en un ecosistema son, en gran medida, consecuencia de los organismos que lo habitan, sin embargo, muchos son difícilmente asignables a una especie particular y a menudo no es posible determinar la contribución relativa de cada especie. Durante décadas la aproximación más común ha sido relacionar el funcionamiento de los ecosistemas con la riqueza de especies, que es el componente de la biodiversidad más fácil de medir en la mayoría de las situaciones (Hooper *et al.*, 2005 y Díaz *et al.*, 2005). En este contexto, las relaciones entre funcionamiento ecológico y biodiversidad han sido abordadas desde distintas aproximaciones, si bien todas ellas coinciden en estudiar el papel funcional de los organismos en un ecosistema. En algunos casos, la atención ha recaído directamente sobre especies individuales – especies *clave* (Paine, 1969) o especies *ingenieras* (Jones *et al.*, 1994), y en otros casos sobre *grupos funcionales*, que se definen como grupos de especies que tienen un papel semejante en el funcionamiento del ecosistema o respuestas similares a factores ambientales (Gitay y Noble, 1997).

Aunque cada especie contribuye al funcionamiento del ecosistema, la naturaleza y magnitud de sus contribuciones individuales varían considerablemente en función del ecosistema o del proceso al que se haga referencia. En este sentido, los mecanismos a través de los cuales la biodiversidad puede influir en el funcionamiento de los ecosistemas están más relacionados con algunos caracteres funcionales de las especies, que con la riqueza específica (Díaz y Cabido, 2001). Por tanto, el conjunto total de caracteres funcionales, así como su abundancia en una comunidad, es uno de los principales determinantes del funcionamiento de los ecosistemas (Chapin *et al.*, 2002, Díaz *et al.*, 2006). La persistencia a largo plazo de una especie dentro de condiciones particulares del suelo, conlleva un intervalo de características, así, cada especie vegetal 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).

La resiliencia ha sido definida como la capacidad de un ecosistema para absorber perturbaciones y reorganizarse mientras está experimentando cambios, de forma tal que pueda mantener básicamente la misma estructura, funcionamiento y mecanismos de auto-regulación (Walker *et al.*, 2004). En este sentido, la presencia de diferentes grupos funcionales y las interacciones entre ellos son consideradas como una de las posibles fuentes de resiliencia ecológica (Peterson *et al.*, 1998). Por definición, al perderse un grupo funcional, necesariamente deberían ocurrir cambios en las propiedades de los ecosistemas.

Desde un punto de vista teórico, la presencia de múltiples especies dominantes dentro de cada grupo funcional incrementa la redundancia, por tanto la capacidad de adaptación ante cambios ambientales (Walker *et al.*, 1999; Hooper *et al.*, 2005). A mayor número de especies similares (es decir a mayor riqueza específica dentro de un grupo funcional), mayor es la probabilidad de que al menos una especie sobreviva ante posibles perturbaciones (Walker, 1992). Si no hay redundancia, entonces la disminución de una sola especie puede resultar en la pérdida completa de un grupo funcional (Díaz *et al.*, 2005), y por tanto, en la carencia de los servicios que es capaz de proveer.

Cuando una comunidad vegetal se encuentra en estado estable con el suelo y el clima, ha llegado a la fase de sucesión más avanzada que el medio le permite, a esta comunidad se le denomina clímax y se aprecia una diversidad alta. La diversidad suele ser mayor en comunidades maduras y bajas en poco desarrolladas (Marrugan, 1988). Sin embargo, estudios recientes han abordado cómo la diversidad de especies de plantas (Tilman *et al.*, 1997), hongos micorrízicos (Van der Heijden *et al.*, 1998), herbívoros (Mulder *et al.*, 1999), lombrices de tierra y microbios (McGrady-Steed *et al.*, 1997) influyen el funcionamiento del ecosistema, ya que han documentado que la productividad de la diversidad biológica, la disponibilidad de nutrientes del suelo (Symstad *et al.*, 1998), la resistencia a la invasión (Knops *et al.*, 1999), la estabilidad del sistema (Frank y McNaughton, 1991), son efectos directos de la diversidad biológica en el suelo. Las plantas también tienen un importante efecto después de muertas sobre los suelos, dada la descomposición de la hojarasca mediada por microorganismos que determinan la inmovilización y la mineralización de nutrientes, lo que a su vez actúa como retroalimentación para determinar la productividad primaria neta. Algunos estudios han demostrado una relación entre la biodiversidad con la disponibilidad de nutrientes y la mineralización (Hooper y Vitousek, 1998; Symstad *et al.*, 1998; Tilman *et al.*, 1997).

La reducción del número de árboles en un bosque o plantación disminuye la competencia resultando en una mayor disponibilidad de luz, agua y nutrimentos para los árboles que quedan en pie. Generalmente, como consecuencia de estos cambios, los árboles restantes aumentan su diámetro más rápidamente, producen más frutos y semillas, muestran mayor resistencia al ataque de plagas, tienen mayor concentración de N y P en las hojas, exhiben un aumento o disminución del área foliar y mayores tasas de fotosíntesis. Las respuestas al aclareo dependen mucho de la clase de copa, la especie y el genotipo, la edad del árbol, la duración de la supresión y la localidad (Scowcroft, 1997).

Los bosques son importantes por conservar el suelo y el agua, secuestrar carbono y mitigar las emisiones netas de gases invernadero al tiempo que proporcionan madera, combustible, alimento, forraje, medicinas y entre otros productos: 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, influyendo de este modo en el clima global, conservación de la biodiversidad y mejoramiento de la calidad de vida. Los bosques son los ecosistemas biológicamente más diversos y constituyen una reserva natural de diversidad genética de flora y fauna.

Con la obtención del índice de valor de importancia, a través de la integración de los valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia para cada especie arbórea, es posible inferir el desarrollo, la ecología y adaptación de una especie dentro de una comunidad determinada (Lozada y Arends, 2000; Ramírez, 2006). El valor de importancia es un estimativo de la dominancia de cada especie con respecto al total de las registradas en el muestreo (Villarreal *et al.*, 2006). El efecto de sumar las tres variables se traduce en un incremento de las diferencias de una especie entre muestras cuya composición florística es semejante.

## **INTERACCIÓN DIVERSIDAD VEGETAL Y PROPIEDADES DEL SUELO**

Se ha hipotetizado que las relaciones suelo-vegetación son determinantes en el análisis de la dinámica de ecosistemas, ya que la vegetación y los suelos son elementos estructurales que están en función de la acción de factores formadores comunes, lo cual se puede expresar a través de la

ecuación de estado formulada por Jenny (1995). Estas relaciones se han expresado desde los primeros estudios ecológicos en ecosistemas tropicales; Beard (1955) enfatiza el origen edáfico de las sabanas neotropicales, mientras que Sarmiento (1992) relaciona la distribución de los tipos de vegetación con características del suelo.

El arreglo en espacio y tiempo de los nutrientes del suelo afecta la estructura de las comunidades vegetales, incluyendo composición y diversidad de especies (Wijesinghe *et al.*, 2005). El nitrógeno es el elemento que más frecuentemente limita la producción primaria en ecosistemas terrestres, se presenta en el suelo en forma de iones de amonio y nitrato; sus concentraciones varían en diferentes ecosistemas y frecuentemente las plantas muestran preferencias por una u otra forma del nitrógeno, así, las diferencias en el origen y comportamiento del nitrógeno repercuten en la distribución espacial de las comunidades vegetales (Haynes y Goh, 1978).

En general, se ha registrado que cuando se incrementa el suministro de nitrógeno, el peso seco de las hojas aumenta más rápido que el de la raíz, ya que acrecienta el nivel de citoquininas lo que promueve el crecimiento (Flores-Vindas, 1999), esto se ha observado en hierbas perennes (Wilson y Tilman, 1993). Sin embargo, para maximizar el crecimiento, la planta tiene que destinar más biomasa a la parte de esta que está absorbiendo el recurso más limitante (Shipley y Peters, 1990).

El pH es otra propiedad importante en la diversidad y distribución de especies vegetales, ya que la acidez del suelo afecta reduciendo el desarrollo de las plantas (Bloom, 2000), la diversidad y la actividad de microorganismos, que a su vez influye en el porcentaje de descomposición de la materia orgánica (Holub *et al.*, 1993), y la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas. Por otro lado, en condiciones de suelos salinos la diversidad vegetal también se ve reducida a lo largo del gradiente de concentración (Balsa *et al.*, 1996).

Por su parte, el agua disuelve los materiales solubles y propicia el crecimiento de plantas y de otros organismos que contribuyen con sus aportes de materia orgánica al enriquecimiento del suelo; transporta materiales de una parte del suelo a otro. El tipo y rapidez de las reacciones en que participa el agua son relacionados a otros factores entre ellos: temperatura, pH y potencial redox. También depende de la cantidad de agua que se encuentre disponible en el suelo y a su vez del

relieve, el cual regula el hecho de que el agua entre o escurra, además también participa la textura y la porosidad (Ranger *et al.*, 2001). El lavado intenso de los suelos provoca un aumento de la concentración del ion hidrógeno en él y por tanto el pH disminuye al aumentar las precipitaciones. También el contenido en arcilla de los suelos aumenta conforme lo hacen las lluvias ya que el agua cargada de sustancias químicas ataca y altera sus minerales primarios, transformándolos (Barrios 1984).

El color refleja las propiedades físicas y químicas de la relación suelo-planta; indica las proporciones y clases de minerales, la condición de drenaje, aireación y porosidad (Garrido *et al.*, 2005). Las piedras incorporadas al suelo hacen un efecto de cubierta superficial para almacenar calor y conservar la humedad, que es aprovechado por los cultivos (Garrido *et al.*, 2005). Una textura adecuada contiene cantidades iguales de partículas (Flamand, 1995). Cuando el contenido de arenas es mayor, hay erosión eólica, disminuye la disponibilidad de agua y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), hay poca retención de nutrientes; si dominan los limos es inestable la estructura. La Profundidad del suelo es el espesor de material edáfico favorable para la penetración de las raíces de las plantas, disponibilidad de agua y nutrientes (Garrido *et al.*, 2005). Los suelos profundos con buen drenaje, textura y estructuras deseables son adecuados para la producción de cultivos.

El suelo es el medio de desarrollo de la raíz de las plantas del cual obtienen agua y nutrientes (Manlay *et al.*, 2007). La interacción entre el crecimiento de las plantas y la absorción de dichos recursos repercute en la diversidad vegetal; de este modo el suelo es indicador del tipo y distribución de los componentes de la comunidad. La vegetación a partir de cada especie influye al suelo en su formación y en el aporte de nitrógeno, fósforo y calcio entre otros nutrientes, a través de la descomposición del mantillo (Smolander y Kitunen, 2002). La diversidad de los suelos afecta la diversidad de la vegetación, especialmente en los ecosistemas forestales.

Para el estudio de productividad de ecosistemas vegetales y su relación con los recursos del suelo, la interfase más importante es el sistema radical, como órgano que mantiene el crecimiento foliar. Sin embargo, su estudio es una de las vías importantes para entender la relación suelo-planta en un ecosistema (Caldwell, 1987). Las raíces tienen como función proporcionar agua, nutrientes, anclaje

y soporte a la parte aérea de la planta. El vástago es el encargado de producir fotosintatos a partir de dióxido de carbono y luz, transportarlos a las diferentes áreas de consumo de la planta y de respirar (Flores-Vindas, 1999).

Existe una fuerte relación en la forma como las especies de plantas usan los nutrientes y su ciclaje en los ecosistemas terrestres (Binkley y Valentine, 1991). Sin embargo, el efecto de cada especie vegetal en la dinámica de nutrientes depende de las características del suelo y del nutriente que se trate (Døckersmith *et al.*, 1999). La influencia de diferentes tipos de plantas sobre tales procesos edáficos ha sido examinada en ecosistemas áridos (Burke *et al.*, 1989), sabanas tropicales (García-Miragaya *et al.*, 1994) y selvas bajas caducifolias (Døckersmith *et al.*, 1999), en los que se ha demostrado la fuerte influencia de las especies vegetales en la dinámica de los nutrientes del suelo.

La eficiencia de uso de nutrientes afecta la composición química de las hojas, cuando dominan las moléculas más recalcitrantes, disminuye la tasa de liberación de nutrientes al suelo (Hobbie, 1992). Así mismo, se ha reconocido a los polifenoles como compuestos que pueden limitar la actividad microbiana, principalmente en especies tropicales de la familia Fabáceae (Palm y Sánchez, 1990). La influencia que el suelo tiene en el establecimiento y crecimiento de distintas especies vegetales se debe tanto a sus propiedades abióticas, físicas y químicas, como a la biota edáfica residente (De la Peña 2009).

Las plantas modifican el suelo en el que se instalan desde un punto de vista físico y químico, pero también a través de los exudados de la raíz, que son la fuente primaria de energía para las redes tróficas edáficas (Bever 2003). Por ejemplo, la mejora de las condiciones microclimáticas bajo la copa de matorrales de zonas alpinas y árticas permite una aceleración de los procesos biogeoquímicos microbianos, que benefician directamente a esos matorrales (Ehrenfeld *et al.*, 2005). En el mismo sentido, en bosques y brezales, dominados por especies ectomicorrícicas que acumulan compuestos polifenólicos bajo su copa, desaceleran la descomposición de materia orgánica y el reciclado de nitrógeno favoreciendo a las especies ectomicorrícicas (Ehrenfeld *et al.*, 2005).

La riqueza de especies de plantas tiene un efecto negativo en la calidad de la biomasa y niveles de nitrógeno disponible en el suelo. Comunidades vegetales naturales de alta diversidad conlleva a una descomposición de hojarasca más lenta. Esto apoya la hipótesis de que el aumento de la productividad en correspondencia con los resultados de una mayor riqueza de especies y producción de hojarasca, cúmulos de desechos más altos de pie y la retroalimentación negativa en la productividad, debido a un aumento de reserva permanente de nitrógeno en la hojarasca (Gallardo-Cruz, 2006).

La tasa de descomposición de la materia orgánica y la estructura de la comunidad de microorganismos del suelo varían con la diversidad, así como, en la composición de plantas. Por ejemplo, las leguminosas, plantas fijadoras de nitrógeno, favorecen el desarrollo de organismos fijadores de este elemento (Salamon *et al.*, 2003), así mismo, la acidez del suelo puede ser afectada por especies arbóreas y repercutir en la comunidad animal subterránea (Ponge *et al.*, 1997). Árboles de coníferas, como los pinos, pueden acidificar fuertemente el suelo (Ellenberg *et al.*, 1986). 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, 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).

Según Escamilla *et al.* (2005), cada planta es una medida de las condiciones bajo las que crece, ya que son organismos que están anclados o enraizados en el suelo, reciben agua y nutrientes para procesarlos en energía. En los ecosistemas naturales no alterados la fertilidad del suelo depende de diferentes almacenes de nutrientes, a través de la materia orgánica aportada y de la biomasa microbiana que los componen (Fu *et al.*, 2004).

A pesar de la variabilidad intrínseca en las propiedades del suelo y de la complejidad de los efectos de las plantas sobre los suelos juega un importante papel en la dinámica de las poblaciones, comunidades y ecosistemas (Maestre, 2003). 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, 1995). Cabe señalar que la alteración de las

plantas, condiciones microclimáticas y suelo, pueden afectar otros organismos al grado de controlar la composición así como la función del ecosistema entero.

La descomposición consiste en una serie de procesos físicos y químicos por medio de los cuales la hojarasca se reduce a sus constituyentes químicos elementales (Aerts, 1997). Constituye éste uno de los procesos más importantes en los ecosistemas por su aporte de nutrimentos al suelo (Aber y Melillo, 1991), por su repercusión en el presupuesto global de carbono debido a la cantidad de este elemento que es regresada a la atmósfera (como consecuencia de la respiración de los desintegradores, Aerts, 1997), y porque a través de la propia cadena de desintegradores fluye una cantidad importante de energía que, dependiendo del estado sucesional del sistema, puede acumularse en mayor o menor medida en el suelo como mantillo y humus.

Ya en el suelo, dos terceras partes de la materia se descompone por lo general en un año, después de lo cual el proceso se hace más lento debido a que algunos componentes de los residuos son descompuestos más lentamente que otros, y debido también a que se forman sustancias estables que previenen subsecuentes ataques de los microbios del suelo (Killham, 1994). Las celulosas (que representan más de la mitad de los residuos de C), las hemicelulosas (que representan una tercera parte) y la lignina, son los componentes más abundantes de dichos residuos vegetales (Mason, 1976).

La descomposición de la hojarasca consta de cuatro etapas (Singh y Gupta, 1977): trituración, que es el fraccionamiento de los tejidos. Lixiviación, que se refiere a la pérdida de los compuestos más solubles por medio de corrientes de agua. Catabolismo (incluye a la mineralización y a la humificación), que es la transformación que realiza la microflora de los compuestos orgánicos a su forma orgánica. De ésta forma, los nutrimentos pueden ser utilizados nuevamente por las plantas y completarse así, el ciclo de nutrimentos (Swift *et al.*, 1979) y humificación, es decir, la neo formación de materia orgánica por los microorganismos. Estas fases se presentan simultáneamente, y al final del proceso los microorganismos usan compuestos de carbono tanto para biosíntesis como para abastecimiento de energía (Paul y Clark, 1996). Así, el último producto del rompimiento de la materia orgánica del suelo, si este está lo suficientemente aireado, es el dióxido de carbono, de este modo,



la producción de dióxido de carbono se puede utilizar como indicador de las tasas de descomposición (Killham, 1994).

## **EL SUELO COMO CONTROLADOR DE LA BIODIVERSIDAD**

La distribución de las plantas está controlada primariamente por factores ecológicos tales como la humedad, temperatura, precipitación, entre otros y su variación con la altitud (Raven, 1975). El suelo es un indicador de las diferencias en el tipo y distribución de la vegetación en un ecosistema dado. Algunas propiedades químicas o físicas de los suelos se asocian con ciertos tipos de vegetación. Sin embargo, la persistencia a largo plazo de una especie vegetal dentro de condiciones particulares de suelo, conlleva un rango de características como plasticidad morfológica y fisiológica, que dependen más de la especie, que del propio suelo (Escamilla, 1999).

El suelo es la interfase en el ecosistema, es el organizador central del ecosistema terrestre en sus procesos físicos, químicos y biológicos, mismos que tienen fuerte impacto sobre la productividad del ecosistema, servicios, integridad y bienestar humano (Huang, 2008). La biomasa microbiana se incrementa con el aumento de la concentración del carbono orgánico del suelo. Hay una estrecha relación entre las concentraciones de nitrógeno y carbono orgánico del suelo con la diversidad de especies y población total de la biota (Lal, 2006).

La regulación del pH incide en la disponibilidad de nutrientes como el  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , a su vez, promueve los procesos ecosistémicos, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo, como estructura, drenaje interno, CIC e intercambio gaseoso entre otras (Xie *et al.*, 2008). De este modo, es claro en este sentido, que los dominantes ecológicos tienen un papel determinante en las comunidades vegetales. Estas especies influyen y regulan las propiedades del suelo y la estructura y el funcionamiento del ecosistema (Madriht y Hunter, 2002 e Yi *et al.*, 2007).

Los recursos del suelo se encuentran distribuidos heterogéneamente en las comunidades terrestres (Robertson *et al.*, 1994), en muchos casos por la propia presencia de las plantas. Perturbaciones intensas sobre la interacción planta-suelo pueden influir en la magnitud y escala de la heterogeneidad del suelo (Hirobe *et al.*, 2003). Dicha heterogeneidad en la disponibilidad de los recursos influye sobre procesos a nivel de individuos, poblaciones y comunidades (Hutchings *et al.*,

2003). Un mejor entendimiento de la heterogeneidad de recursos edáficos y de los factores que le afectan podría mejorar de forma significativa nuestros conocimientos de control de la comunidad y procesos a nivel ecosistema (Robertson *et al.*, 1994).

Para conocer estas relaciones son importantes los estudios de distribución espacial, así como conocer las correlaciones espaciales de variables físico-naturales de los recursos, como el suelo y la vegetación. Los avances realizados por la ciencia del suelo consideran la importancia de la geoestadística en temas ambientales, contaminación, organización territorial, desarrollo económico sustentable, producción de alimentos y productos industriales, fijación de carbono, entre otros (Dutilleul, 1993). En una selva subtropical en Brasil, Sparovek y Camargo (1997) encontraron que la geoestadística, es la técnica que mejor determinó la variabilidad de parámetros con el fin de evaluar los ciclos de nutrientes: Representó mejor a la naturaleza del suelo y proporcionó información sobre los puntos del terreno que no fueron considerados en el muestreo.

### **GEOESTADÍSTICA Y DISTRIBUCION ESPACIAL**

El suelo es más heterogéneo que el agua o el aire, tiende a cambiar mucho más lentamente y por lo tanto a preservar su estado por más tiempo, es por ello que, los estudios de suelo son más intensivos en espacio, el tamaño de muestra generalmente será menor que el estadísticamente deseado. Los resultados obtenidos del análisis de muestras de suelo se podrán tomar como una descripción exacta de la propiedad del suelo, sólo sí, la muestra representa a la población. Los resultados deben, idealmente, ser reproducibles y no tener sesgo (Schulin *et al.*, 1994).

Por lo tanto, conforme aumenta la heterogeneidad del suelo, la precisión con que pueden conocerse sus propiedades y el comportamiento del mismo tiende a decrecer. Por otra parte, el número de observaciones que se puede efectuar en el área de muestreo es limitado, por lo que frecuentemente es necesario extrapolar las propiedades de puntos conocidos a otros que se desconocen y ello está críticamente condicionado por la variabilidad en la unidad representativa (Ulloa *et al.*, 2003). Inicialmente la geoestadística se aplicó en Física de suelos, en donde se conocían bien los problemas planteados por la variabilidad espacial (el ejemplo más conspicuo es la circulación de agua), así como la influencia del denominado efecto de escala sobre la determinación de diversos

parámetros. Con posterioridad la geoestadística se aplicó a la evaluación de suelos y más tarde a la fertilidad y al análisis de problemas de contaminación (Ulloa *et al.*, 2003).

La variabilidad de las propiedades del suelo de un punto a otro del paisaje tiene orígenes diversos, pudiendo provenir de las características inherentes a los procesos de formación predominantes, o de los factores de formación, es decir, la litología, el clima, la topografía, la actividad biológica y la acción humana. Aunque la formación del suelo pueda ser descrita en términos deterministas, no obstante, los modelos operativos que desde el punto de vista de la Geoestadística se usan para describir las propiedades del mismo, se basan en la aparente aleatoriedad de la variabilidad espacial (Webster, 2000).

El conocimiento de la variabilidad de las propiedades de los suelos es esencial para hacer una interpretación y predicción correcta del funcionamiento de éstas (Acuña *et al.*, 2001). Además de la necesidad de esta información para fines taxonómicos, cartográficos y distintas actividades humanas, ya sean productivas, vivienda o infraestructura de desarrollo (Forman y Godron, 1995). El patrón de usos del suelo responde a causas socioeconómicas y ecológicas, además tiene importantes consecuencias sobre el paisaje regional, modificando los procesos ecológicos y los patrones de biodiversidad (Matteucci *et al.*, 1999).

La geoestadística y a veces las imágenes satelitales, constituyen una herramienta adecuada para efectuar el análisis espacial de la información (Isaaks y Srivastava, 1989). La geoestadística permite el estudio de los fenómenos naturales, considerando la dependencia espacial que se presenta entre observaciones. Las técnicas de interpolación se basan en que los valores de puntos más cercanos sean más similares entre sí, que con los valores de puntos más distantes, este principio es usado para predecir valores en áreas no muestreadas (Rodríguez *et al.*, 2005).

Recientemente las imágenes de satélite se han utilizado en estudios ecológicos, para evaluación de recursos naturales (Goovaerts, 1997), clasificación de los tipos de cobertura vegetal, en mapeo de ecosistemas (Atkinson y Lewis, 2000) o para caracterizar patrones espaciales tanto de paisajes como de comunidades vegetales (Wallace *et al.*, 2000).

Los métodos geoestadísticos permiten estudiar la variabilidad y la estructura de las propiedades físicas, químicas y morfológicas de los suelos (Lark, 2002). También permite conocer la forma en que cambia una variable continua en el espacio (patrón espacial), a una o varias escalas seleccionadas, con un nivel de detalle que permite cuantificar dicha variación en distintas direcciones del espacio, mediante la interpolación (Sun *et al.*, 2003).

Esta interpolación (conocida como "Kriging"), es muy robusta, ya que se basa en una función continua que explica el comportamiento de la variable en el espacio y permite asociar una medida de la variabilidad de estimación conocida como grado de incertidumbre. La descripción de la estructura espacial de una variable se realiza por medio de la función semivariograma (Menezes *et al.*, 2004). Que permite una cartografía automática de los parámetros estudiados (Porta *et al.*, 1999).

Los sistemas de información geográfica integran herramientas que permiten llevar a cabo estudios de distribución espacial de las características del suelo y del medio (Peña, 2006), En el presente trabajo la geoestadística fue utilizada para interpretar de una mejor manera, la relación de los diferentes tipos de coberturas vegetales del suelo junto con la representación espacial de variables climáticas, tales como precipitación y temperatura.

## DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### Ubicación geográfica

El área de estudio se localiza en el municipio de Putla Villa de Guerrero, en la parte suroeste del estado de Oaxaca, en las coordenadas geográficas 17°01'33" latitud norte, 97°55'45" longitud oeste, con una altitud que varía desde los 670-2300 m (INEGI, 1990). Limita al norte con Santiago Juchtlahuaca, San Martín Itunyoso, Tlaxiaco; al sur con San Andrés Cabecera Nueva; al oriente con Santa Lucía Monte Verde y San Andrés Cabecera Nueva; al poniente con Constanza del Rosario, el estado de Guerrero, Santa María Zacatepec y Mesones Hidalgo. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 374 kilómetros. La superficie total del municipio es de 884.15 km<sup>2</sup> y forma parte de la región económica Sierra Sur (Solano 1990, García-Mendoza *et al.*, 2004). En su orografía destacan los cerros de la Campana 960 m, Tinaja 920 m, Pájaro 2,300 m y el Cerro del Castillo a 785 m de altitud.

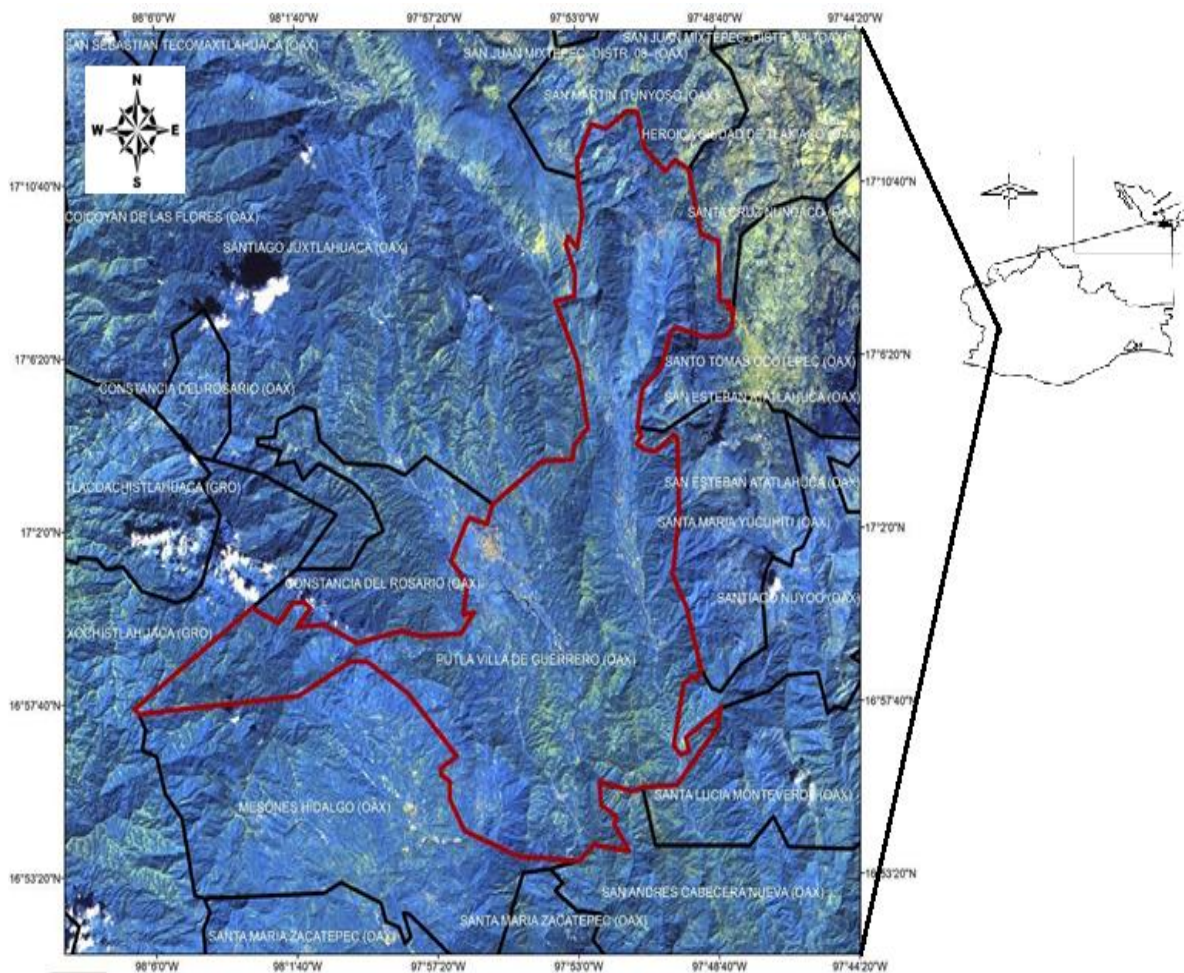


Fig 1.- Municipio Putla Villa de Guerrero

Todo parece indicar que a finales de la era Paleozoica y hasta finalizar el Jurásico de la era Mesozoica, la región era continental. A finales de esta era, durante el Cretácico inferior o quizá durante el Jurásico tardío, vuelve nuevamente el mar a esta parte del continente pre mesozoico. A principios de Terciario de la era Cenozoica cesa la sedimentación marina por completo y a partir de este hecho la región vuelve a ser continental y así ha permanecido hasta el presente. Las serranías del Valle de Putla pertenecientes a la orogénica Sierra Madre del Sur, inician su formación a finales del Cretácico Superior por efectos de plegamientos y a principios de la era Cenozoica toman su forma actual. Desde entonces los fenómenos geológicos que han experimentado éstas serranías han sido principalmente fracturas, erosión y actividad magmática (López, 1981; Tamayo, 1980; Villa, 1953; Martínez, 1957, citados por Solano, 1990).

En su geología actual predominan rocas metamórficas, principalmente gneis y esquistos pertenecientes al Precámbrico, con una porción en los límites con el estado de Guerrero de rocas ígneas intrusivas ácidas de la era Paleozoica (INEGI, 1980). Al situarse el área de estudio en un valle con lomeríos altos y rodeados por sierras escarpadas, se forman una serie de pequeñas cuencas que dan origen a tres ríos permanentes, además de numerosos arroyos intermitentes. Estos ríos son el Río de la Cuchara o Zapote que recorre la cabecera del Distrito con una dirección noreste-sureste, y los Ríos de Copala y la Purificación que la recorren con una dirección noroeste-sureste. Los tres ríos se unen en un gran cañón rodeado por sierras escarpadas para formar el río localmente conocido como Río Grande, el cual posteriormente se une al Río Sordo, principal tributario del Río Verde que desemboca en la vertiente del Océano Pacífico al Noroeste de la Bahía de Chacahua (Solano 1990). El clima de la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano, se presenta un periodo de sequía que va de finales de octubre a principios de abril. La temperatura y precipitación medias anuales (Fig. 3, 4 y 5) oscila de 24.3°C y 2475.6mm respectivamente (Alfaro-Sánchez 2004).

Los suelos principales son Fluvisol eútrico formado por depósitos aluviales recientes, constituidos por material suelto; además, Luvisol crómico, suelo bien desarrollado con textura arcillosa, típicos de la zonas tropicales lluviosas, de color rojo claro, moderadamente ácidos, muy susceptibles a la erosión, con textura arcillosa; Cambisol crómico y eútrico moderadamente desarrollados, con una susceptibilidad a la erosión moderada a alta, de textura limosa. La distribución porcentual de las

ocho unidades de suelo registradas en el municipio son: Cambisol 50 %, Regosol, 16 %, Litosol 12 %, Luvisol 12 %, Acrisol 5 %, Rendzina 3 %, Feozem 1 % y Gleysol 1 % (INEGI; 1982-1988).

En el municipio se distribuyen tres tipos de vegetación principales, entre ellos el bosque mesófilo de montaña, el cual se establece entre los 1000 a 2000 m de altitud, en donde predominan climas semicálidos, templados húmedos con neblina y frecuentes lloviznas, fisonómicamente forman bosques densos, con una rica composición florística (Arellanes, 2000). En el estrato principal podemos encontrar árboles de 7 a 20 m de altura de *Quercus candicans*, *Pinus patula*, *Liquidambar styraciflua*, *Weinmannia pinnata*, *Styrax glabrescens*, *Ternstroemia sylvatica*, *Ilex discolor*, *Dendropanax populifolius*, *Ocotea helicterifolia*, *Persea americana*, *Podocarpus matudae*, *Symplococarpus purpusii*, *Cyathea sp*; *Clethra sp*, *Saurauia spp* (Solano, 1990).

Bosque tropical subcaducifolio se distribuye entre los rangos de altitud de 650 a 1200 m de altitud, está constituido principalmente de dos estratos arbóreos, uno que va de 5 a 15 m de alto y el otro de 10 a 30 m. Un cierto número de los grandes árboles que la conforman pierden su follaje durante la época de sequía que se extiende desde finales de octubre a principios de abril; entre estos pueden mencionarse: *Bursera simaruba*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Lafoensia puniceifolia*, *Tabebuia rosea*, *Nectandra sinuata*, *Ceiba pentandra*, *Dendropanax arboreus*, *Hymenaea courbaril*, *Saponaria sp.* y algunas especies del género *Ficus*. Entre los árboles de menor altura (5 a 15 m) que también pierden su follaje en lo más acentuado de la época seca, se encuentran *Godmania esculifolia*, *Cochlospermum vitifolium*, *Genipa americana*, *Spondias mombin*, *Coccoloba barbadensis*, *Trichospermum mexicanum*. Sin embargo, un buen número de estas especies cuando tienen agua disponible o crecen a la vega de los ríos y arroyos, tienen a permanecer siempre verdes o a perder sus hojas por períodos muy cortos (Solano, 1990).

Bosque de Pino se desarrolla en un gran número de ambientes en elevaciones entre los 700 y 2300 m, en un clima generalmente templado subhúmedo, aunque algunas de estas comunidades pueden desarrollarse en climas semicálidos o cálidos húmedos, pueden estar compuestos exclusivamente por especies del género *Pinus* o compartir hábitats con especies de otros géneros como *Quercus*, *Liquidambar* y *Alnus* (Solano, 1990).

## **OBJETIVO GENERAL**

Establecer la relación entre el suelo y los bosques de pino, mesófilo de montaña y tropical subcaducifolio, localizados a diferentes altitudes.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

Describir morfológicamente los perfiles de suelo e identificarlos con base en la WRB en cada punto de muestreo.

Calcular el valor de importancia de las especies y conocer los dominantes ecológicos de las comunidades.

Conocer la composición florística y describir la vegetación de cada sitio de muestreo.

Estudiar la distribución radical a lo largo del perfil del suelo.

Establecer la correspondencia entre los suelos y los tipos de vegetación estudiados.

## **HIPÓTESIS**

Las propiedades del suelo están estrechamente relacionadas con los tipos de vegetación que sustentan, además de factores del clima; independientemente de la altitud.

## **JUSTIFICACIÓN**

El municipio de Putla forma parte de la Región Terrestre Prioritaria 126, (parte norte) denominada Sierras Triquí-Mixteca. Esta área se caracteriza por la gran diversidad de ecosistemas, su riqueza de especies y endemismos, además en ella se desarrollan tipos de vegetación con importancia biogeográfica como bosques de liquidámbar y mesófilo de montaña; éstos han sido fragmentados debido al asentamiento de núcleos de población indígena y mestiza. La deforestación ha ampliado las fronteras agrícolas y ganaderas, que han traído como consecuencia además de la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo. Ante esta situación, es necesario estudiar la cubierta vegetal y su relación con el suelo localizada a diferentes altitudes dado que en el municipio se presentan cambios muy marcados en la vegetación a través de distancias relativamente cortas. Esto contribuirá en la elaboración de planes de manejo de dichos recursos.



## **METODOLOGÍA**

### **Trabajo de campo**

En el área que cubre el Municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca, se realizaron recorridos a partir del 2 marzo 2007 a 29 marzo 2008, tomando como referencia, las cartas topográficas del INEGI (1988). Se establecieron quince sitios de muestreo, cinco por cada tipo de vegetación, elegidos con base en el menor grado de perturbación antropogénica de la cubierta vegetal; integridad del perfil edáfico, indicado por la presencia del horizonte orgánico superficial típico (mantillo). Los quince sitios fueron georeferenciados, posteriormente se realizaron mapas con Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGis 9.2 (ESRI, 2006). En cada sitio se caracterizó al suelo y la vegetación.

Para determinar el tipo de vegetación se aplicó un criterio fisonómico-florístico (Rzedowski, 1978). Se realizó un muestreo con la técnica de parcelas anidadas para establecer el área mínima (Cox, 2002), aproximadamente 400 m<sup>2</sup> en cada sitio. Para la caracterización, se registró de cada individuo vegetal, la especie, el diámetro a la altura del pecho (DAP), para posteriormente calcular las variables densidad, frecuencia, dominancia. La suma de los valores relativos de estos atributos da como resultado el valor de importancia (VI), el cual es una medida de cuantificación de cada especie (Curtis y McIntosh, 1951 y Cox, 2002). Por otro lado, se recolectaron y prensaron especímenes vegetales tanto del estrato arbóreo como del arbustivo para su posterior determinación taxonómica.

En el caso del suelo, se realizó la apertura de un perfil en cada sitio de muestro, de aproximadamente 2 m de largo, 1 m de ancho y la profundidad dependió de la proximidad del material geológico no intemperizado (roca continua). Posteriormente, se describió morfológicamente con base en Cuanalo de la Cerda (1981). De cada horizonte, se tomaron muestras de dos kilogramos aproximadamente, las cuales se colocaron y etiquetaron en bolsas de plástico, después fueron transportadas al laboratorio para sus análisis físicos y químicos correspondientes. Por otro lado, se extrajo un monolito de 20 x 20 cm de lado (Dawson y Atkinson, 1991), se tomó una muestra cada 10 cm de espesor con el fin de estudiar la distribución del sistema radical, para ello las raíces se separaron del suelo por lavado en un flujo continuo de agua utilizando un tamiz con malla de 0.5 mm de diámetro, las muestras de raíces se trasladaron a laboratorio donde se clasificaron en muy finas (2 mm o menos de diámetro) y finas (mayores de 2 mm). De cada grupo se midió la biomasa seca de raíces.

## Trabajo de laboratorio

### Identificación taxonómica de los especímenes vegetales

Los especímenes vegetales recolectadas en cada sitio de muestreo se identificaron utilizando claves especializadas, descripciones de floras regionales, así como, revisiones y monografías de grupos taxonómicos. De manera complementaria, se solicitó la revisión de especialistas en algunas familias para la determinación de los materiales con taxonomía difícil. Los ejemplares identificados se cotejaron con los depositados en el herbario de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FEZA), así como, en el herbario del Instituto de Biología (MEXU) de la Universidad Nacional Autónoma de México. La correcta escritura de los nombres científicos se corroboró con el Índice Internacional de Nombres de Plantas (IPNI por sus siglas en inglés).

### Análisis de suelos

Las muestras de suelo fueron secadas, tamizadas, pesadas y almacenadas de acuerdo con Valencia y Hernández (2002). A cada una de las 62 muestras se les analizó química y físicamente. Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Restauración de Suelos de la FES Zaragoza. La identificación de los suelos se realizó con base en el sistema WRB (World Reference Base) versión 2007 (IUSS Working Group WRB, 2006). Los análisis de las muestras de suelo consistieron en los siguientes métodos:

**Cuadro 1.** Propiedades del suelo y métodos utilizados

<b>Propiedad del suelo</b>	<b>Método utilizado</b>
<b>Textura</b>	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.
<b>Conductividad Eléctrica (C.E.)</b>	Se realizó una pasta de saturación, se midió la conductividad eléctrica del sobrenadante mediante un conductímetro (Anderson y Ingram, 1993).
<b>Retención de humedad del suelo</b>	40g 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 para registrar su peso seco (Anderson y Ingram, 1993).
<b>Color en seco y húmedo</b>	Por comparación con las cartas Munsell (Hodgson, 1987).
<b>Densidad Aparente (DA)</b>	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).
<b>Densidad Real (DR),</b>	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 (Anderson y Ingram, 1993).
<b>Espacio Poroso (E.P.)</b>	Propiedad que no se mide directamente en el laboratorio, pero se calcula a partir de los valores obtenidos en DA y DR, cuya expresión algebraica es: % EP = 100 (1 - DA/DR) (Porta-Casanellas <i>et al.</i> , 1999).
<b>pH (en H<sub>2</sub>O y KCl)</b>	Se midió en 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 H <sub>2</sub> O destilada para determinar el pH en agua y una solución KCl 1M para el pH en KCl (Van Reeuwijk, 2006).
<b>Materia Orgánica (M.O)</b>	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 alcanza a 150°C durante 30 min (Anderson y Ingram, 1993).
<b>Capacidad de Intercambio Catiónico Total (C.I.C.T.)</b>	Se utilizó suelo seco al aire, el complejo de cambio del suelo fue saturando con CaCl <sub>2</sub> 1N, pH=7.0. El Ca <sup>2+</sup> retenido fue cuantificado por titulación del extracto con Ácido etilendiaminotetra acético disódico [CH <sub>2</sub> N(CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> , 0.02 N (Van Reeuwijk, 2006).
<b>Nitrógeno total (N),</b>	Método semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos. Suelo seco al aire fue sometido a digestión con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> y cuantificado por titulación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (IRENAT, 1993).
<b>Fósforo disponible, (P)</b>	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.

---

### **Análisis estadístico.**

Con el fin de determinar la relación entre dos variables, se analizaron datos cuantitativos obtenidos en las distintas variables edáficas y biológicas evaluadas con el programa de cómputo STATGRAPHICS Plus 5.0, mediante un análisis de correlación, graficando la relación entre dos variables (diagrama de dispersión). El coeficiente de correlación toma valores desde menos uno hasta uno, indicando que mientras más cercano a uno sea el valor del coeficiente de correlación, en cualquier dirección, más fuerte será la asociación lineal entre las dos variables (Fowler *et al.*, 1998.)

Mientras más cercano a cero sea el coeficiente de correlación, indicará que más débil es la asociación entre ambas variables. Si es igual a cero se concluirá que no existe relación alguna entre variables (Statgraphics 2000).

### **Cálculo de Similitud**

Con la finalidad de conocer la similitud florística entre los sitios de muestreo se compararon los listados de las especies de los BMM, BTSC, BP, primeramente se construyó una matriz básica de datos presencia-ausencia, en la cual las localidades se interpretaron como OTU's y las especies como estados de carácter. Esta matriz fue analizada mediante el programa Numerical Taxonomic System (NTSYS-pc 2.1 por sus siglas en inglés) por medio de éste, se obtuvo una matriz de correlación y otra de similitud mediante el índice de Jaccard, finalmente se procedió al agrupamiento de las localidades por el método de UPGMA (Rohlf, 1998). El índice de Jaccard (Magurran, 1988), es igual a 100 cuando los sitios comparados comparten las mismas especies y toma el valor 0 si no presentan ninguna en común.

### **Mapa de suelo y variables ambientales**

Se elaboró la cartografía del suelo con, base en la información de la matriz de datos de los quince puntos analizados, por medio de técnicas de interpolación geostatística *kriging*, el cual a partir de una muestra de puntos de un área geográfica generó mapas de contornos que describen el comportamiento de la variable en el espacio. El análisis espacial se realizó con el programa Arc Gis 9.2 con la extensión *Spatial Analyst* que contiene el interpolador *kriging* en la opción lineal con cuadrículas de 30x30 m (ESRI, 2006).

### **Mapa de Vegetación**

El mapa de vegetación se obtuvo con un SIG, trazando polígonos que correspondieron a los diferentes tipos de vegetación y usos de suelo mediante una interpretación de una imagen de satélite, obtenida a partir del servidor Google Earth 2005. Los polígonos fueron trazados con métodos de tipo visual, basados en la aplicación de técnicas directas, asociativas y deductivas para interpretar los "rasgos" (textura, tamaño, sombra, nitidez, densidad, patrón, ubicación y elementos asociados) o características observables de un material o condición que permiten diferenciarlo de otros. Se realizaron observaciones en campo para corroborar y ajustar las líneas de interpretación de los sitios representativos de las diferentes clases de cobertura vegetal presentes (ESRI, 2006).

### **Valor de Importancia**

Se calcularon los Índice de Valor de Importancia (VI) sugerida por Curtis y McIntosh, (1951) y Cox, (2002), los cuales de obtuvieron al sumar los valores relativos de Densidad (Den. R.), Frecuencia (F. R.) y Dominancia (Dom. R.).

Densidad= Número de individuos de la especie / área muestreada

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

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

Dominancia relativa= (Dominancia de la especie / 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

### **Diversidad de Especies**

Se calculó mediante el programa Estimate S 6.0 (Colwell, 2000) este programa fue utilizado para calcular los índices de diversidad de especies de Shannon-Wiener ( $H'$ ) base logaritmo natural, el inverso del índice de Simpson ( $\lambda=D^{-1}$ ) y el índice  $\alpha$  de Fisher (Fisher *et al.*, 1943).

El índice de Shannon-Wiener (1949), mide el contenido de información (por individuo) en muestras obtenidas al azar provenientes de una comunidad, de la que se conoce el número total de especies. También considera a la diversidad como una medida de la incertidumbre para predecir a qué especie pertenecerá un individuo elegido al azar de una muestra de  $S$  especies y  $N$  individuos, ya que refleja la heterogeneidad de un ecosistema, basándose en la combinación de riqueza y equitatividad de especies. Por lo tanto,  $H' = 0$  cuando la muestra contenga solo una especie, y  $H'$  será máxima cuando todas las especies  $S$  estén representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988), es decir, que la comunidad tenga una distribución de abundancias perfectamente equitativa su valor incide específicamente en la diversidad de especies (Neuman y Starlinger 2001).

El Índice de Simpson(1949), se basa en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie ya que toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia, sin evaluar la contribución del resto de las especies (Moreno, 2001). Este valor incide en la dominancia de especies. Este índice tiene la tendencia de ser más pequeño cuando la comunidad es más “diversa”. Si la dominancia es grande esa probabilidad será baja y máxima si las abundancias relativas de las especies son iguales (Marrugan 1988, Neuman y Starlinger 2001).

## RESULTADOS

### Sitios de muestreo

La ubicación de los sitios de muestreo se observan en el cuadro 2 y su localización dentro del municipio (Fig.2). En algunos casos el sitio quedo ubicado en el municipio de colindante pero muy cerca del límite del municipio de Putla, se decidió ubicarlo fuera del límite, con el fin de tener representadas las tres coberturas en diferentes en altitudes.

**Cuadro 2.** Localidades de muestreo de los tres bosques estudiados en Putla Villa de Guerrero, Oaxaca. bosque tropical subcaducifolio (BTSC), bosque de pino (BP), bosque mesófilo de montaña (BMM).

Vegetación	Sitio No.	Coordenadas		Altitud (m)	Localidad
		Latitud N	Longitud W		
BTSC	1	16°56'21"	97° 17' 33"	830	Carrizal
	2	16°52'14"	97° 53' 36"	819	La Cotorra
	3	16°59'36"	97° 55' 11"	750	Santiago Lagunas y Charloco
	4	16°59'10"	97° 54' 06"	733	Unión Nacional
	5	17°00'53"	97° 50' 51"	823	San Miguel Reyes
BP	1	16°53'14"	97° 53' 67"	965	Carrizal
	2	16°59'18"	97° 57' 10"	1093	Charloco
	3	17°04'00"	97° 51' 59"	986	Nueva Tenochtitlán
	4	17°07'52"	97° 52' 18"	1808	Cerro Pájaro
	5	17°01'29"	97° 57' 11"	817	Tierra colorada
BMM	1	17°04'19"	97° 50' 01"	1510	San Isidro Paz y Progreso
	2	17°07'31"	97° 52' 12"	1708	Cerro Pájaro (1)
	3	17°02'24"	97° 48' 05"	1970	Guadalupe Buenavista
	4	17°07'37"	97° 52' 6.5"	1210	Cerro Pájaro (2)
	5	17°07'37"	97° 52' 0.6"	1513	Cerro Pájaro (3)

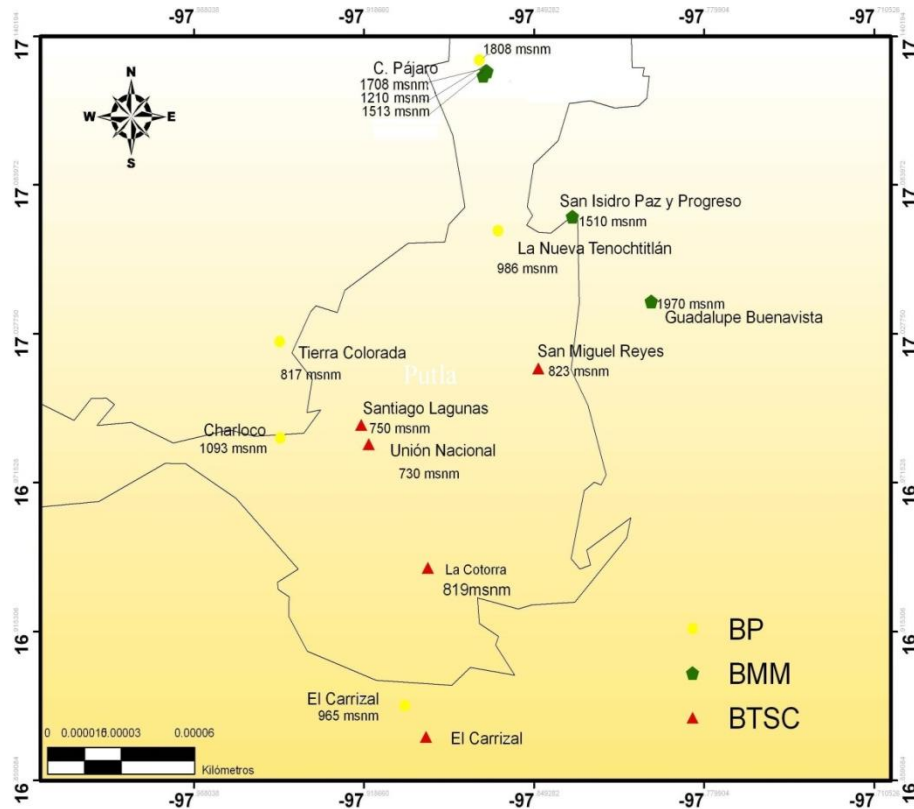


Fig. 2 Localización de los sitios de muestreo en el Municipio Putla Villa de Guerrero

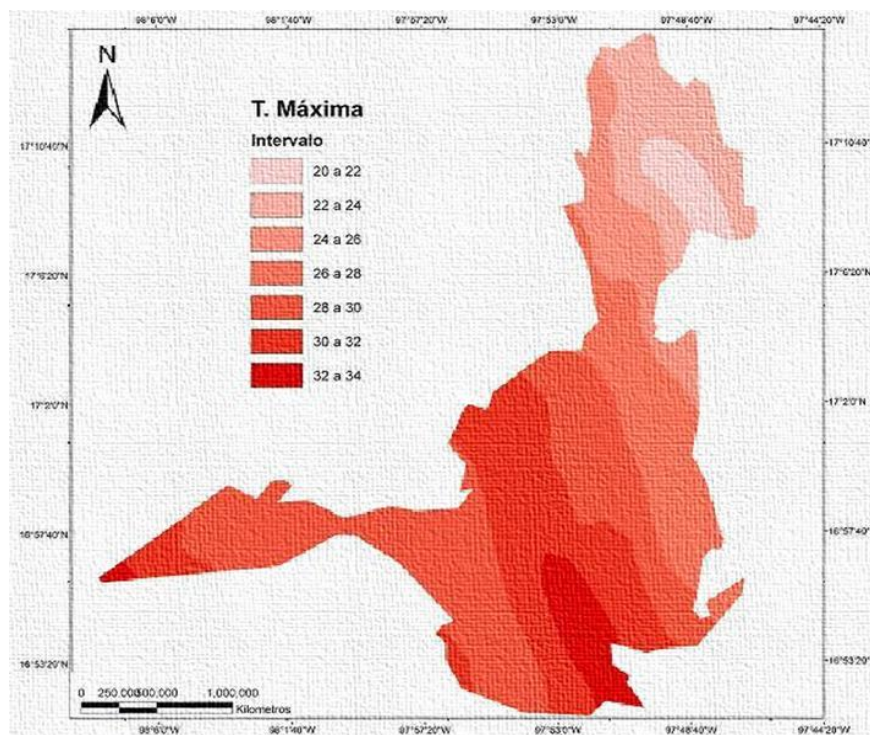


Fig. 3 Temperatura máxima promedio anual del Municipio Putla Villa de Guerrero, (Sistema meteorológico nacional 1996-2004)

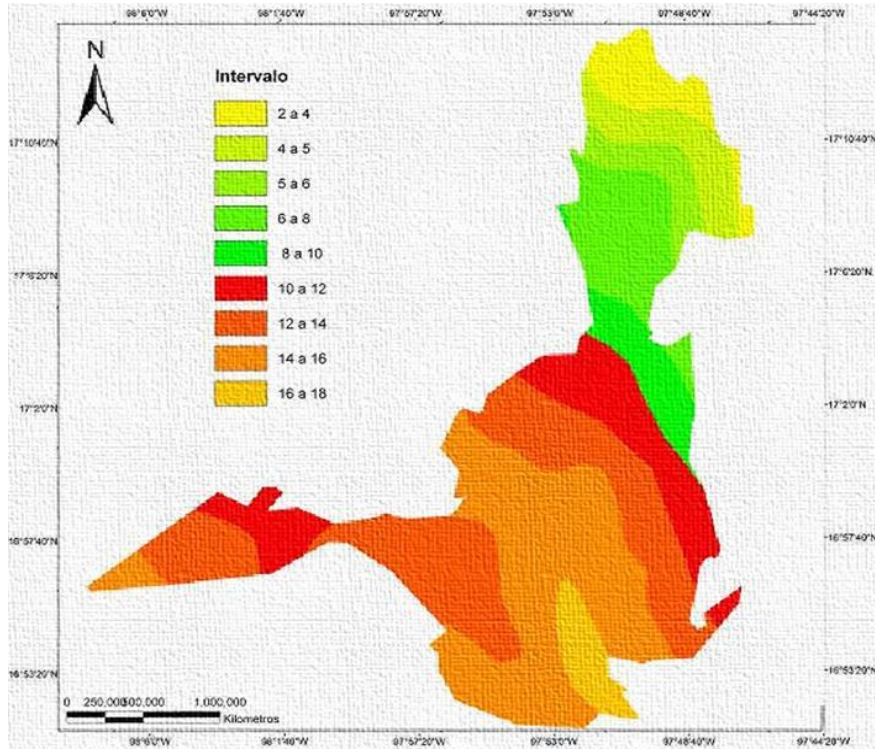


Fig. 4 Temperatura mínima promedio anual del Municipio Putla Villa de Guerrero (Sistema meteorológico nacional 1996-2004)

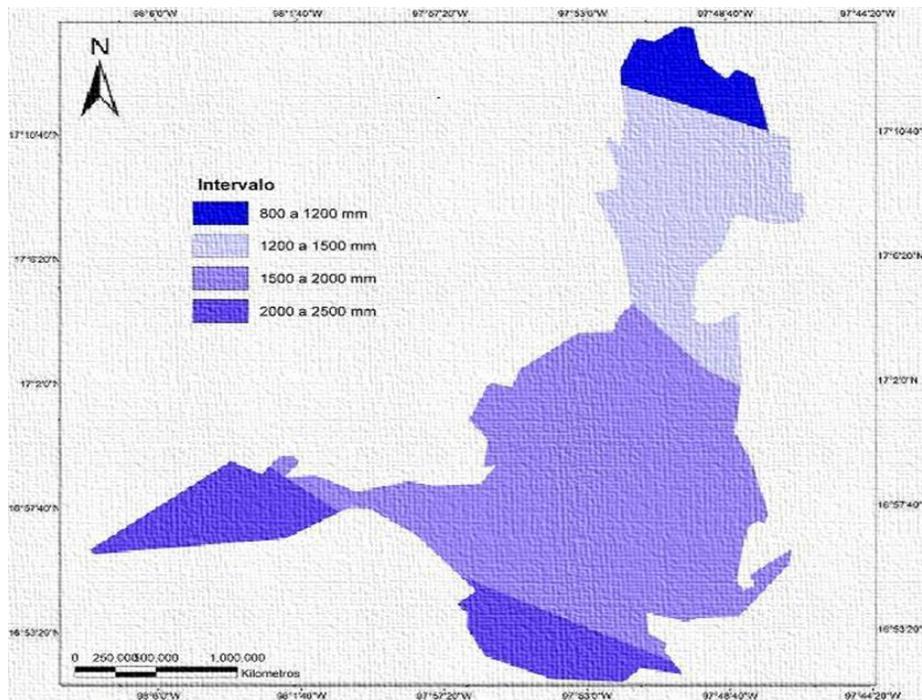


Fig. 5 Precipitación media anual del Municipio Putla Villa de Guerrero (Sistema meteorológico nacional 1996-2004)

**Descripción morfológica de perfiles de suelo**



En general los suelos, del municipio estudiados están bien drenados, profundos, pedregosos a muy pedregosos, con textura migajón-arcillosa, hasta arenosos, con estructura poliédrica-angular a subangular; formados por materiales no consolidados, con horizonte B árgico y cámbico de colores pardos, rojos a amarillento, su consistencia, friable y cuando se encuentran húmedos son más vulnerables a la degradación. El Luvisol (LV), presenta un perfil completo (Horizontes OABCR, Regosol (RG) y Cambisol (CM) son muy jóvenes, poco desarrollados con perfil O ACR; el Fluvisol con perfil AC y ocasionalmente OAC son los más susceptibles a la erosión.

Los suelos son vulnerables a la erosión, debido a que en el municipio de Putla se encuentran diversos ríos jóvenes de cuencas cortas y gran número de corrientes de agua, topografía accidentada en aproximadamente 50% de la superficie con pendientes superiores al 25%, fuerte a moderada perturbación de la cubierta vegetal por la extracción de madera o cambio de uso de suelos de forestales a agrícolas, precipitaciones desde 800 hasta 2500 mm anuales con poder erosivo. Por esta razón, en las partes bajas, la erosión es mucho mayor que en otras zonas, por los abundantes escurrimientos de pendientes superiores en las épocas de lluvia, llevándose consigo grandes cantidades de suelo, así como un incremento en el azolve de los ríos debido al gran volumen de partículas minerales que en ellos se acumula.

La destrucción vegetal está directamente relacionada con la erosión del suelo, la explotación irracional, así como el pastoreo excesivo que ha sido objeto el municipio, se refleja en el aumento de áreas erosionadas

### Perfiles de Bosque Tropical Subcaducifolio

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

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



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

**Cuadro 4.** Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil dos 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 <sub>1</sub>	10-50	Color en seco es 10YR 4/3 (pardo oscuro) en húmedo 10YR 3/2 (pardo muy oscuro grisáceo), 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 <sub>2</sub> , se lleva acabo en más de 5 cm.
A <sub>2</sub>	28-45	Color en seco 7.5YR 5/6 (pardo fuerte) en húmedo 5.0 YR 4/6 (pardo fuerte), 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 <sup>2</sup> , 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 <sub>1</sub>	45-70	Color en seco 7.5YR 5/8 (pardo fuerte) y en húmedo 5.0 YR 4/6 (pardo fuerte), textura migajón-arcillosa, 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 <sup>2</sup> , dentro y entre agregados, macroporos tubulares de hasta 2mm de diámetro de orientación oblicua y vertical. Transición al B <sub>1</sub> irregular y se realiza entre 2 y 5 cm.
B <sub>2</sub>	70-95	Color en seco 7.5YR 5/8 (pardo fuerte) en húmedo 7.5YR 4/6 (pardo fuerte), textura migajón-limoso, 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 <sup>2</sup> , los macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical de hasta 2 cm de diámetro.

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

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



Horizonte.	Profundidad (cm)	Descripción.
O	5-0	Integrado por hojas, ramas y algunos fragmentos de corteza.
A <sub>1</sub>	0-15	El color en seco 7.5YR 7/8 (amarillo rojizo) en húmedo 7.5YR 4/6 (pardo 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 muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico; poros de 100 a 500/dm <sup>2</sup> , dentro y entre agregados, los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical, originados por raíces principalmente. La transición a C <sub>1</sub> horizontal de 2 cm.
C <sub>1</sub>	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 a 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 <sup>2</sup> , dentro y entre agregados, los macroporos son tubulares de orientación oblicua y vertical. La transición al C <sub>2</sub> irregular de 2 a 5 cm
C <sub>2</sub>	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 20cm 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 <sup>2</sup> 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 <sub>3</sub> es marcada y horizontal de 2 cm
C <sub>3</sub>	90-105	Color en seco 10YR 8/4 (pardo 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 <sup>2</sup> macroporos son intersticiales.

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

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



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	2-0	El mantillo esta integrado por hojas, tallos, ramas y algunos fragmentos de corteza.
A1	0-40	Color en seco 10YR 5/3 (pardo) en húmedo 10YR 3/2 (pardo 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 <sup>2</sup> , los macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical, La transición a A <sub>2</sub> es de 2 cm tenue y horizontal.
B1	40-65	Color en seco 10YR 5/4 (pardo amarillento) en húmedo 10YR 4/3 (pardo 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 <sup>2</sup> , dentro y entre agregados, macroporos tubulares de orientación oblicua y vertical. Transición al B <sub>1</sub> es de 4 cm tenue horizontal.
B2	65-85	Color en seco 10YR 5/4 (pardo amarillento) en húmedo 10YR 4/3 (pardo obscuro), textura migajón arenoso y no pedregoso, 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 <sup>2</sup> 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 (pardo amarillento claro) en húmedo 10YR 4/4 (pardo amarillento obscuro), textura franca, pedregosidad de 1 a 5% angulares, estructura moderadamente desarrollada de agregados irregulares, consistencia en seco blanda, húmedo friable y muy húmedo plástico, poros de 50 a 200/dm <sup>2</sup> , macroporos tubulares dentro y entre agregados de orientación oblicua y vertical.

**Cuadro 7.** Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil cinco de suelo

<b>Fecha de descripción y muestreo</b>	29/03/08
<b>Localidad</b>	Nueva Tenochtitlan
<b>Ubicación</b>	
<b>Latitud norte</b>	17° 00' 53"
<b>Longitud oeste</b>	97° 50' 55"
<b>Altitud (m)</b>	823
<b>Pendiente</b>	8°
<b>Exposición</b>	Oeste
<b>Drenaje superficial</b>	Sitio donador
<b>Drenaje interno</b>	Bien drenado
<b>Material geológico</b>	Roca caliza
<b>Origen del suelo</b>	<i>In situ</i>
<b>Permeabilidad</b>	Rápida
<b>Región fisiográfica</b>	Sierra Madre del Sur
<b>Erosión</b>	Imperceptible
<b>Uso actual</b>	Forestal
<b>Vegetación</b>	Bosque tropical subcaducifolio
<b>Suelo</b>	Regosol háplico (húmico, dístrico, 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 <sub>1</sub>	0-30	Color en seco 10YR 5/3 (café) en húmedo 10YR 4/3 (café fuerte), textura arcilla migajonosa, pedregosidad del 1 a 5 % de 5 a 10 cm de diámetro y angulares, estructura poliédrica subangular fuertemente desarrollada con consistencia en seco dura, en húmedo friable y muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; los poros son más de 300/dm <sup>2</sup> , los macroporos son tubulares de hasta 3 mm de diámetro de orientación caótica. La transición al A <sub>2</sub> ondulada de 2 cm.
A <sub>2</sub>	31-45	Color en seco es 10YR 6/4 (café ligeramente amarillo) en húmedo 10YR 4/4 (café amarillento oscuro), 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 muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico, poros más de 200/dm <sup>2</sup> , 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 muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica, poros de 50 a 200/dm <sup>2</sup> , 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 muy húmedo es ligeramente pegajoso y plástico, macroporos intersticiales.

## Perfiles de Bosque de Pino

**Cuadro 8.** Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil seis 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 <i>Pinus</i> y <i>Byrsonima</i> , ramas, corteza y restos de frutos, con presencia de resto de material orgánico incinerado que indican evidencias de incendio hace 2 o 3 años.
A	0-10	Color en seco 7.5YR 6/4 (pardo claro) húmedo 7.5YR 4/3 (pardo oscuro), textura arena-migajonosa, pedregosidad de 1 a 5 % con piedras chicas, estructura moderadamente desarrollada de consistencia en húmedo friable y muy húmedo no pegajosa ni plástica, macroporos. La transición al horizonte A <sub>2</sub> es horizontal en 1 cm.
B	10-50	Color en seco 7.5YR 5/3 (pardo) y en húmedo 7.5YR 4/4 (pardo 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, muy húmedo no es pegajosa, ni plástica. Los macroporos son tubulares dentro de agregados. La transición al horizonte A <sub>3</sub> irregular
C <sub>1</sub>	50-83	Color en seco 7.5YR 6/6 (amarillo rojizo) y en húmedo 7.5YR 5/6 (pardo oscuro), textura limosa con 15% de pedregosidad, piedras (de 1 a 5 cm), estructura poliédrica subangular. Consistencia en húmedo friable, muy húmedo no es pegajosa ni plástica, macroporos tubulares dentro y entre agregados. La transición al horizonte B de 4 cm.
C <sub>2</sub>	83-106	Color en seco 7.5YR 7/6 (amarillo rojizo), húmedo 7.5YR 5/6 (pardo 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 <sub>3</sub>	106-126	Color en seco 7.5YR 6/6 (amarillo rojizo), húmedo 7.5YR 5/6 (pardo 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 9.** Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil siete de suelo

<b>Fechas de descripción y muestreo</b>	03/03/07
<b>Ubicación</b>	2 Km al norte Charloco.
<b>Latitud norte</b>	16° 59 ' 18 ''
<b>Longitud oeste</b>	17° 57 ' 10 ''
<b>Altitud (m)</b>	1093
<b>Pendiente</b>	8°
<b>Exposición</b>	Este
<b>Drenaje superficial</b>	Sitio donador
<b>Drenaje interno</b>	bien drenado
<b>Material geológico</b>	Ígnea granítica
<b>Origen del suelo</b>	<i>In situ</i>
<b>Permeabilidad</b>	Rápida
<b>Región fisiográfica</b>	Sierra Madre del Sur
<b>Erosión</b>	Imperceptible
<b>Uso actual</b>	Forestal
<b>Vegetación</b>	Bosque de pino
<b>Suelo</b>	Luvisol lamélico (crómico, epidístrico, arcilloso)



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	10-0	Compuesto de hojas, ramas con diámetro de 2 a 30cm, fragmentos de corteza y restos de gramíneas.
A <sub>1</sub>	0-20	Color en seco 5.0YR 5/4 (pardo) y en húmedo 5.0YR 3/2 (pardo oscuro), textura arcilla media, pedregosidad de 1 a 5% hasta 5 cm de diámetro, estructura poliédrica moderadamente desarrollada de consistencia en húmedo friable, muy húmedo es moderadamente pegajosa y plástica, poros más de 200/dm <sup>2</sup> dentro y entre agregados. La transición es tenue y horizontal al A <sub>2</sub> .
A <sub>2</sub>	20-44	Color en seco 5.0YR 6/6 (amarillo-rojizo) y en húmedo 5.0YR 4/3 (pardo oscuro), textura migajón arcillosa, pedregosidad de 5 a 20% con piedras de 10 a 20 cm de diámetro, estructura poliédrica fuertemente desarrollada de consistencia en húmedo friable y muy húmedo pegajosa y plástica, poros dentro y entre agregados. Su transición es tenue al A-B
A-B (B incipiente)	44-80	Color en seco 5.0YR 5/6 (pardo fuerte), en húmedo 5.0YR 5/6 (pardo fuerte), textura migajón-arcillosa, pedregosidad de 1 al 5 % con piedras de 10 a 20 cm de diámetro, estructura poliédrica fuertemente desarrollada y consistencia en húmedo friable y muy húmedo pegajosa y plástica, poros de 1 a 50/dm <sup>2</sup> , macroporos de 1mm de diámetro, las raíces varían de 10 a 100/3 dm <sup>2</sup> , la transición es tenue a C.
C	80-124	Color en seco 5.0YR5/6 (pardo fuerte) y en húmedo 5.0YR5/6 (pardo fuerte), textura migajón arenosa, pedregosidad del 5 a 20 % con piedras muy grandes y estructura poliédrica moderadamente desarrollada y consistencia en húmedo ligeramente pegajosa y plástica, presenta poros de 1 a 50/dm <sup>2</sup> . La transición a C marcada y horizontal.



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

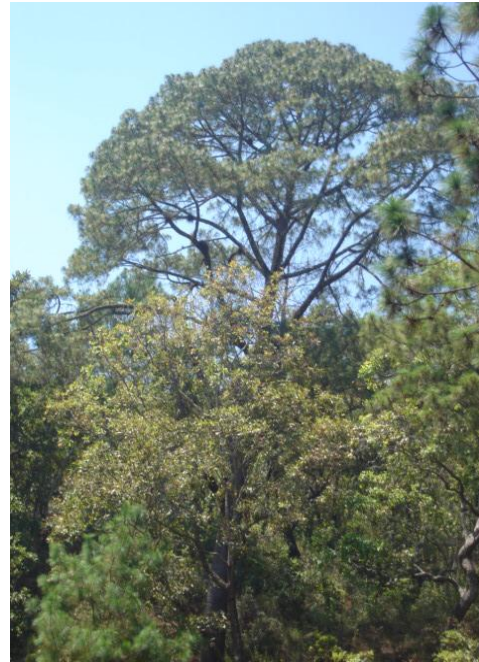
<b>Fecha de descripción y muestreo</b>	20/04/2007
<b>Localidad</b>	Carretera Tlaxiaco-Putla km 132
<b>Ubicación</b>	
<b>Latitud norte</b>	17° 04' 00''
<b>Longitud oeste</b>	97° 51' 59''
<b>Altitud (m)</b>	986
<b>Pendiente</b>	8°
<b>Exposición</b>	Este
<b>Drenaje superficial</b>	Normal
<b>Drenaje interno</b>	Bien drenado
<b>Material geológico</b>	Heterogeneidad en el material geológico
<b>Origen del suelo</b>	<i>In situ</i>
<b>Permeabilidad</b>	Muy rápida
<b>Región fisiográfica</b>	Sierra Madre del Sur
<b>Erosión</b>	Imperceptible
<b>Uso actual</b>	Forestal-pecuario
<b>Vegetación</b>	Bosque de pino-encino tropical
<b>Suelo</b>	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 <sub>1</sub>	0-15	Color en seco 7.5YR 5/3 (pardo) en húmedo 7.5YR 4/3 (pardo oscuro), textura arcillosa 3 % de pedregosidad, estructura fuertemente desarrollada con consistencia plástica húmedo y muy húmedo pegajosa, los macro y microporos continuos y caóticos fuera y dentro de los agregados, los macroporos son tubulares. La transición ondulada es media.
A <sub>2</sub>	15-40	Color en seco 7.5YR 6/4 (pardo claro) húmedo 7.5YR 5/4 (pardo), textura arcillosa 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 <sup>2</sup> , de orientación caótica entre y dentro agregados, macroporos tubulares dentro de agregados. La transición a A <sub>3</sub> media y ondulada.
A <sub>3</sub>	40-80	Color en seco 7.5YR 6/4 (pardo claro) húmedo 7.5YR 5/4 (pardo), 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 <sup>2</sup> , de orientación caótica entre y dentro agregados, macroporos tubulares dentro de agregados. La transición a C <sub>1</sub> tenue y ondulada
C <sub>1</sub>	80-110	Color en seco 7.5YR 6/4 (pardo claro) húmedo 7.5YR 4/4 (pardo 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 <sup>2</sup> , dentro y fuera de agregados. La transición a C <sub>2</sub> marcada y horizontal.
C <sub>2</sub>	110-160	Color en seco 7.5YR 6/4 (pardo claro) y húmedo 7.5YR 4/4 (pardo oscuro), arenoso con un 60 % de piedras, estructura débilmente desarrollada de consistencia blanda en húmedo y muy húmedo es ligeramente pegajosa y no plástica.

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

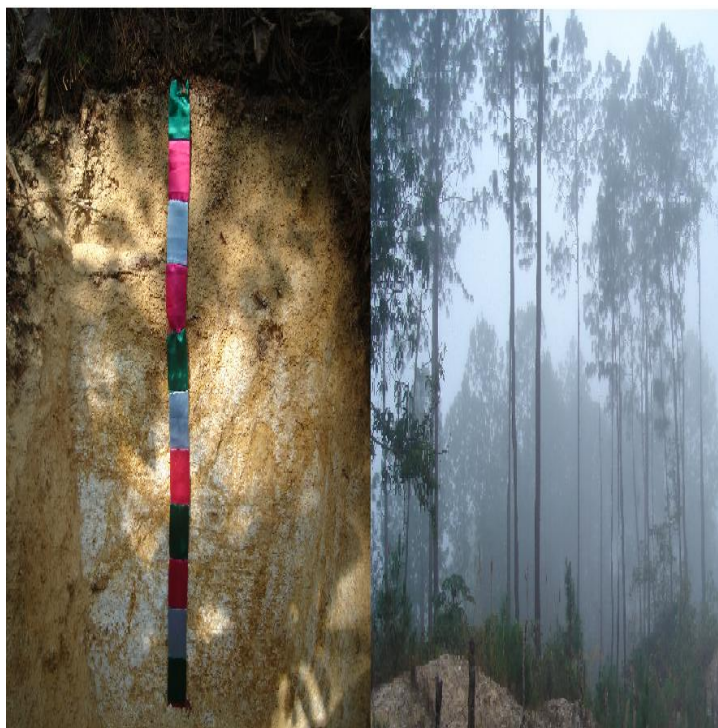
Fecha de la descripción y muestreo	17/11/07
Localidad	Cerro Pájaro
Ubicación	
Latitud norte	17°07'52" N
Longitud oeste	97°52'18" W
Altitud (m)	1808
Pendiente	45°
Exposición	Sur
Drenaje superficial	Sitio donador
Drenaje interno	Bien drenado
Material geológico	Roca calcárea
Origen del suelo	<i>In situ</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 <sub>1</sub>	0-50	Color en seco 10YR 4/3 (pardo oscuro) en húmedo 10YR 2/2 (pardo muy oscuro), textura migajonosa, pedregosidad 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, porosidad presenta más de 200 micro y macroporos por dm <sup>2</sup> tubulares de hasta 3 mm de diámetro de orientación caótica. La transición es tenue menor a 7 cm al horizonte C <sub>1</sub>
C <sub>1</sub>	50-80	Color en seco 10YR 8/2 (blanco) y en húmedo 10YR 7/4 (pardo muy pálido), textura arena migajonosa, pedregosidad del 5 al 20% con piedras subangulares, estructura fuertemente desarrollada de consistencia dura en seco y húmedo es ligeramente pegajoso y plástico. La transición es tenue menor a 5 cm al horizonte C <sub>2</sub>
C <sub>2</sub>	81-120	Color en seco 10YR 8/2 (blanco) en húmedo 10YR 7/4 (pardo muy pálido), textura migajón arcillo-arenosa, pedregosidad del 50 al 75% piedras grandes subangulares, estructura moderadamente desarrollada de consistencia dura en seco, en húmedo muy friable, húmedo no es plástica ni pegajosa.

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

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



Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A <sub>0</sub>	15-2	Formado por hojas, ramas, tallos, fragmentos de corteza y frutos se puede identificar la especie a la que perteneció cada resto vegetal.
A <sub>00</sub>	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 <sub>1</sub>	0-30	Color en seco 10YR 8/3 (pardo muy pálido) y en húmedo 10YR 6/4 (pardo amarillento claro), 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 ligeramente pegajosa y plástica, poros más de 500/dm <sup>2</sup> , los macroporos tubulares son de orientación vertical y continuos de hasta 2 mm de diámetro. La transición es ondulada en 4 cm.
C <sub>1</sub>	31-45	Color en seco 10YR 8/4 (pardo muy pálido) 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 <sub>1</sub> . La transición no mayor a 5 cm con limite ondulado
C <sub>2</sub>	46-110	Color en seco 10YR 8/4 (café muy pálido) 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 con 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 13.** Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil once 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 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 <sub>1</sub>	0-25	Color en seco 7.5YR 5/6 (pardo fuerte) y en húmedo 7.5YR 3/3 (pardo oscuro), textura franca, no pedregoso, estructura grumosa moderadamente desarrollada de consistencia blanda en seco, friable en húmedo, muy húmedo es ligeramente plástica y pegajosa. Presenta más de 200 macro y microporos por dm <sup>2</sup> son continuos, tubulares, con orientación caótica, entre agregados. La transición a A <sub>2</sub> tenue y regular
A <sub>2</sub>	25-60	Color en seco 7.5YR 5/4 (pardo) y en húmedo 7.5YR 4/3 (pardo 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 (amarillo rojizo), en húmedo 7.5YR 5/8 (pardo fuerte), 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 muy húmedo es pegajosa, poros de 50 a 200/dm <sup>2</sup> , 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 fuerte), 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 muy húmedo los macro y microporos son discontinuos caóticos dentro y fuera de agregados tubulares, la transición al horizonte C es marcada horizontal.

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

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



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

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

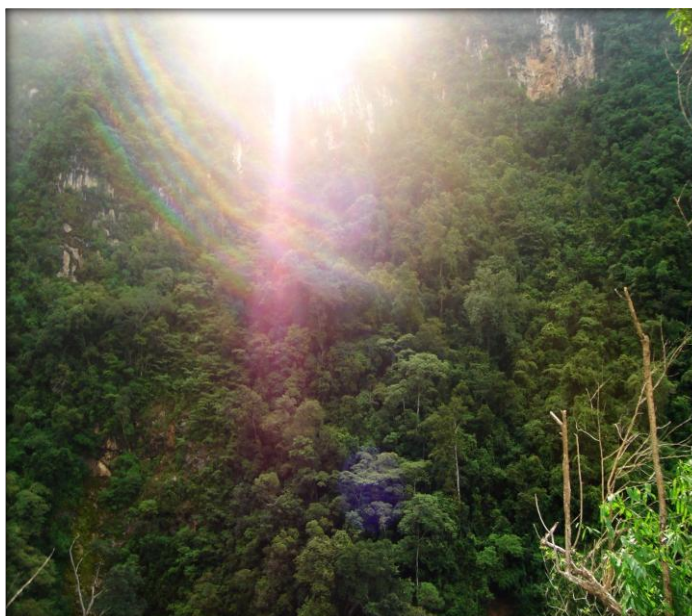
<b>Fecha de la descripción y muestreo</b>	31/08/07
<b>Ubicación</b>	Cerro pájaro
<b>Latitud norte</b>	17°07'31"
<b>Longitud oeste</b>	97°52'12"
<b>Altitud (m)</b>	1708
<b>Pendiente</b>	10°
<b>Exposición</b>	Este
<b>Drenaje superficial</b>	Sitio donador
<b>Drenaje interno</b>	Bien drenado
<b>Material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



Horizonte	Profundidad (cm.)	Descripción
O	10-0	Formado por hojas, ramas, tallos y corteza, subdividido en O <sub>1</sub> materiales de especies pueden reconocerse, el O <sub>2</sub> formado de residuos orgánicos fragmentados difícilmente se reconoce la especie que dio origen, O <sub>3</sub> 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 (pardo oscuro grisáceo) en húmedo 10YR 3/4 (pardo 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 <sup>2</sup> , macroporos tubulares de 2-3mm de diámetro oblicuos y verticales. La transición a A <sub>2</sub> es tenue y ondulada
B <sub>1</sub>	35-85	Color en seco es 10YR 5/6 (pardo amarillento) en húmedo 10YR 3/6 (pardo amarillento oscuro), textura arcilla migajonosa con 3% de pedregosidad, 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 <sup>2</sup> macroporos de hasta 3mm de diámetro tubulares con orientación oblicua y vertical. La transición a B es ondulada y tenue.
B <sub>2</sub>	85-120	Color en seco 10YR 5/6 (pardo amarillento) en húmedo 10YR 3/3 (pardo oscuro), textura migajón arenosa menos de 2% de pedregosidad, estructura poliédrica subangular de consistencia friable cuando húmedo, muy húmedo plástica y pegajosa, poros más de 200/dm <sup>2</sup> , macroporos de hasta 3mm de diámetro tubulares oblicuos y verticales. La transición a C tenue y ondulada.
C	120-150	Color en seco 10YR 7/6 (amarillo) en húmedo 10YR 4/3 (pardo 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 muy húmedo plástica y pegajosa, poros más de 200/dm <sup>2</sup> , macroporos de hasta 3mm de diámetro tubulares oblicuos y verticales.

**Cuadro 16.** Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil catorce 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)	1210
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)



**Cuadro 17.** Descripción ecológica del sitio y morfológica del perfil quince de suelo

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

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)



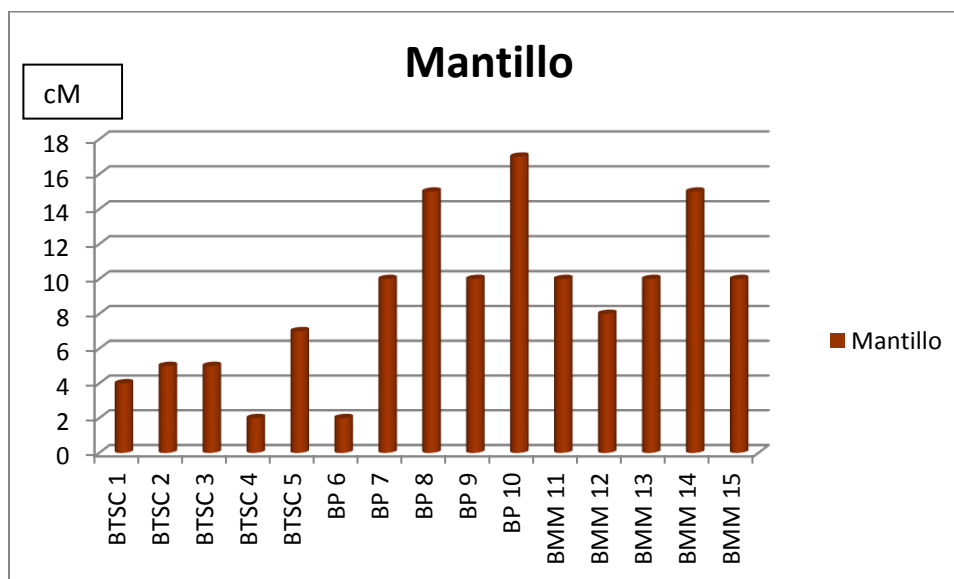
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	10	La superficie esta cubierta por hojarasca, conformada por hojas, ramas, tallos y corteza.
A <sub>1</sub>	0-30	Color en seco 10YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro) en húmedo 10YR 2/1 (negro), textura migajón-arenosa 40% de piedras de 1 a 5 cm a muy grandes (20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



## IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS MUESTREADOS CON BASE EN LA WRB.

### Distribución de horizontes a lo largo del perfil

Se encontró que las tres coberturas tienen un horizonte O bien desarrollado (Fig. 6) cuyo espesor varía de 10 a 15 cm; en el bosque de pino y en el bosque mesófilo oscila de 6-10 cm, en cambio, en el bosque tropical subcaducifolio, no es mayor a 7 cm. El perfil genético típico en el BMM es el  $OA_1A_2BC_1C_2$ , aunque este perfil se encuentra también en las coberturas vegetales del BTSC y BP. En los BP, el 40 a 60% de los suelos presentan un perfil  $OAC_1C_2$  (Fig. 7).



**Fig. 6** Distribución del horizonte orgánico en cada uno de los quince sitios de muestreo, cinco por cada Bosque. BMM: bosque mesófilo de montaña, BP: bosque de pino, BTSC: bosque tropical subcaducifolio

En el BTSC, los suelos tropicales se encuentran en una condición intermedia de diferenciación, “Suelos poco desarrollados”, se caracterizan por una capa rica en humus sobre el horizonte C. El perfil es de tipo AC, el cual de seguir desarrollándose, se formará un horizonte resultante de la alteración de la roca madre, aunque pobre en materia orgánica, el horizonte B incipiente. En el BP se encontraron los suelos más jóvenes con un menor desarrollo, son muy superficiales, están todavía muy próximos a la roca madre, especialmente el cuarto y quinto perfil que corresponden a los sitios Cerro Pájaro y Tierra Colorada respectivamente. Los suelos más profundos y diferenciados (“Suelos evolucionados”) se encontraron en el BMM, el perfil es de tipo ABC corresponde al máximo grado de desarrollo, los horizontes superiores se empobrecen en elementos finos o solubles, como consecuencia de su arrastre al horizonte subsuperficial B ó de acumulación (Figura 7).

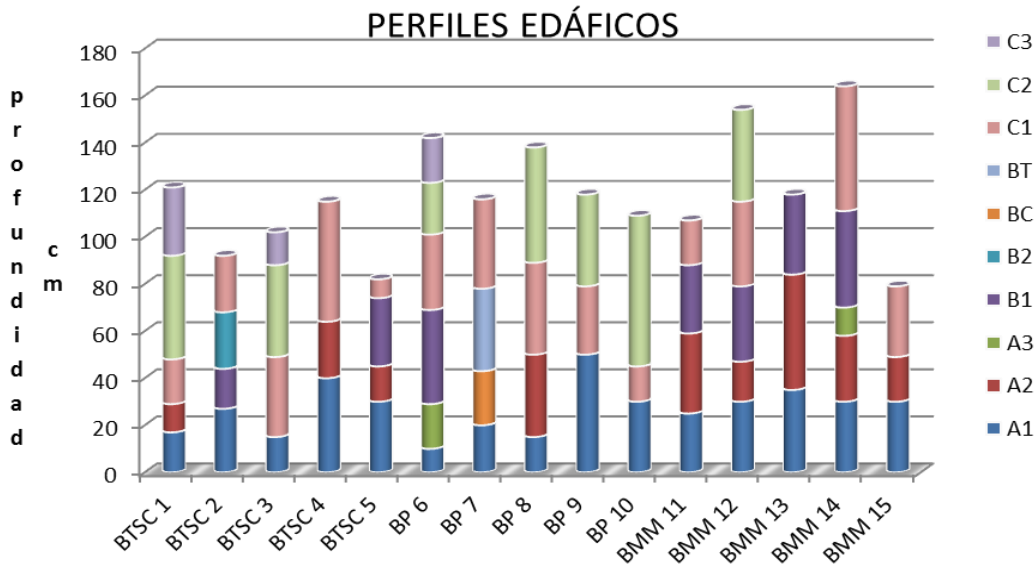


Fig. 7 Distribución de los horizontes a lo largo del perfil realizado en cada uno de los 15 sitios de muestreo. BMM: Bosque mesófilo de montaña, BP: bosque de pino, BTSC: bosque tropical subcaducifolio

En el cuadro 18 se muestra la descripción de los suelos encontrados en el municipio de Putla. Se utilizó la WRB y a través de los calificadores del grupo I y II se hace su completa descripción e identificación. Al asociar los tipos de suelos con la vegetación que en ellos se desarrolla se tiene que: en BTSC se identificaron el Regosol háplico, Fluvisol úmbrico y el Luvisol, que puede ser úmbrico o háplico. El Regosol háplico es un suelo poco desarrollado y frecuente en las selvas, son formados por materiales no consolidados, no presentan un horizonte definido mientras que, el Luvisol se caracteriza por tener un horizonte B árgico. Muchos de estos suelos son productos residuales de la erosión hídrica. Esta vegetación presenta el único Fluvisol del área muestreada. La vegetación de los BTSC se distribuye en un 60% en regosoles, 20% en luvisoles y 20% en fluvisoles (Figura 8).

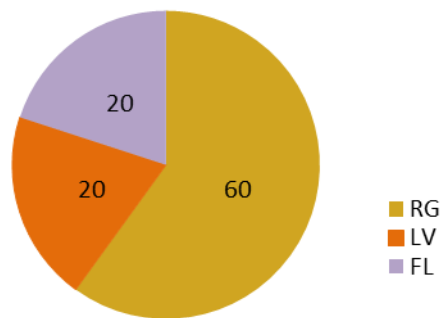
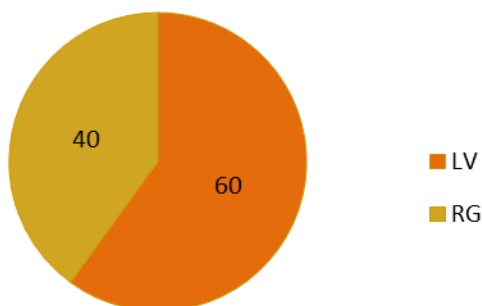


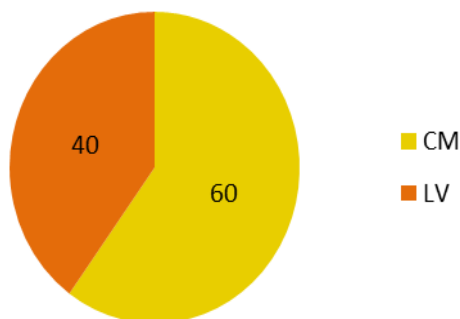
Figura 8. Suelos (%) en los que está establecido el bosque tropical subcaducifolio en el municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca.

En el área donde está establecido el BP se encontraron Regosol taptovítrico, Luvisol háplico y lamélico como los más frecuentes. Los luvisoles presentan un horizonte B árgico, son fértiles y ácidos. El Regosol taptovítrico se caracteriza por ser el menos desarrollado en la zona y está formado de materiales no consolidados, sin horizontes definidos y tienen características heredadas por el material geológico que les dio origen. El 60 % de los BP crecen en luvisoles, el 40% restante han coevolucionado con regosoles taptovítricos principalmente (Fig. 9).



**Fig. 9** Suelos (%) en los que está establecido el bosque de pino en el municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca

El bosque mesófilo de montaña se distribuye en las cotas altitudinales comprendidas entre 1200 y 2200 m, se encontró que tiene una mayor relación con los cambisoles (60%) y en un 40 % con los luvisoles (Fig. 10). Los Cambisoles tienen un color rojizo a pardo oscuro y cuando tienen 5% o más de materia orgánica, llegan a ser negros con un porcentaje de saturación de bases mayor de 50%, al menos en los primeros 50 cm de profundidad, con capacidad para retener nutrientes, algunos presentan características dístricas, es decir, son suelos ácidos con una saturación de bases menor a 50%, propiedad que influencia la baja cantidad de nutrientes. El Luvisol, puede ser háplico o lamélico y se encuentra en el resto del área ocupada por esta cobertura vegetal.



**Fig. 10** Suelos (%) en los que está establecido el bosque mesófilo de montaña en el municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca

**Cuadro 18.** Grupos de suelos de Referencia (GSR), presentes en cada cobertura vegetal

<b>VEGETACIÓN</b>	<b>(GSR)</b>	<b>NOMEN- CLATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
BTSC	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 en una profundidad promedio entre 50 y 100 cm (endoesquelético). Además, contiene 2.6 % de carbono orgánico en los primeros 50 cm de espesor (húmico) y menos del 50 % de saturación con bases entre los 100 cm de profundidad (dístrico).
BTSC	Luvisol háplico (húmico, crómico)	LV ha (hu, cr)	Suelo que presenta una CIC con más de 24 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> hasta una profundidad de 50 cm y 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 una capa de los 28-70 cm con color Munsell 5 YR 4/6 en húmedo (crómico).
BTSC	Regosol háplico (endoesquelético, dístrico)	RG ha (skn, dy)	Suelo mineral poco desarrollado con material no consolidado (Regosol), profundo (105 cm), tiene más del 70 % (en volumen) de gravas gruesas promedio entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo (endoesquelético) y menos del 50 % de saturación con bases entre los 100cm de profundidad (dístrico).
BTSC	Fluvisol úmbrico	FL um	Suelo 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).
BTSC	Regosol háplico (húmico, dístrico, arénico)	RG ha (hu, dy, ar)	Suelo mineral poco desarrollado en material no consolidado (Regosol), profundo (85 cm), 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	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	Luvisol Lamélico (crómico, epidístrico, arcillico)	LVII (cr,ed,ce)	Suelo con un horizonte árgico, y mayor contenido de arcilla que el horizonte suprayacente (Luvisol). Tiene lamelas de arcilla con un espesor combinado dentro de 100 cm de la superficie del suelo (lamélico). Presenta a lo largo del perfil un hue Munsell rojo de 5 YR (crómico). Con saturación de bases menor de 50 % en todo el espesor entre 20 y 50 cm de la superficie del suelo (epidístrico). Textura arcillosa en dos capas de cerca de 30 cm o más de espesor (arcillico).
BP	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 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> . Ningún calificador del grupo uno caracteriza este

suelo (háptico), 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).

BP	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 los primeros 100 cm una o más capas enterradas con propiedades ándicas o vítricas de un espesor combinado de 30 cm o más (taptovítrico). Textura migajón arenosa a lo largo del perfil (arénico).
BP	Regosol Taptovítrico (arénico)	RG bv (ar)	Suelo 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) Textura arcillo arenosa a lo largo del perfil (arénico).
BMM	Cambisol háptico (húmico, dístrico, láxico, arcíllico)	CM ha (hu, dy, la, ce)	Suelos con un horizonte subsuperficial incipiente en formación, con 1.1% de carbono orgánico en los primeros 60cm (húmico), 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 <sup>-3</sup> en el primer metro de profundidad (láxico), además tiene una textura arcillosa de los 26 a 110 cm de profundidad (arcíllico).
BMM	Cambisol háptico (húmico, dístrico, láxico, arénico)	CM ha (hu, dy, la ,ar )	Presenta un horizonte B aun en formación, característica de los Cambisoles, el porcentaje de carbono orgánico es mayor al 1% hasta los 60 cm de profundidad (húmico), el pH es ácido por lo cual la saturación de bases no puede ser mayor al 50% (dístrico), la densidad aparente no sobrepasa los 0.9 kg dm <sup>-3</sup> en los primeros 60 cm desde la superficie (láxico), mientras que la textura en los primeros 30 cm es migajón arenosa (arénico).
BMM	Luvisol háptico (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	Cambisol háptico (húmico, dístrico)	CM ha (hu, dy)	La formación del horizonte B es incipiente indicando que es Cambisol, tiene un porcentaje de carbono orgánico mayor al 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	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 (famélico).

---

Grupos de Suelos de Referencia (GSR), en inglés, se definen calificadores prefijos (después del GSR) y calificadores sufijos (entre paréntesis). Ante la dificultad de adoptar esta forma en español se optó por traducir los *calificadores prefijos* como *calificadores grupo I* y los *calificadores sufijos* como *calificadores grupo II*. Ambos calificadores, grupo I y grupo II se utilizan, en español, a continuación del GSR.

En el cuadro 19, 20 y 21 se presenta el promedio de los resultados obtenidos para las propiedades del suelo por cada perfil. Por otra parte, en el cuadro 22, se muestra el promedio de los parámetros del suelo por tipo de vegetación. En el anexo I pueden apreciarse los resultados de los parámetros físicos y químicos por horizonte de cada perfil.

**Cuadro 19.-** Promedios de las propiedades edáficas por localidad del Bosque Tropical Subcaducifolio.

<b>Localidad</b>	Prof. (cm)	DR (gcm <sup>-3</sup> )	DA (gcm <sup>-3</sup> )	E.P (%)	pH H <sub>2</sub> O	Humedad (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	MO (%)	CE (dSm <sup>-1</sup> )	CICT (cmolk <sup>-1</sup> )	P (ppm)	N (%)
Carrizal	125	2.5	1.0	58.5	5.3	45.3	27	52	3.5	0.21	12.1	0.486	0.026
La Cotorra	95	2.5	1.0	57.6	6.0	47.4	27	37	3.4	0.25	17.5	0.415	0.036
Santiago Lagunas	105	2.5	1.0	58.2	5.2	47.6	19	42	1.2	0.09	17.1	0.247	0.078
Unión Nacional	147	2.5	1.1	52.8	5.4	35.8	27	50	2.0	0.10	14.0	0.502	0.009
San Miguel Reyes	84	2.6	1.1	57.2	4.8	48.9	12	78	3.5	0.10	14.2	2.642	0.030

Prof: profundidad, DR: Densidad Real, DA: Densidad Aparente, E.P: Espacio poroso pH: potencial Hidrógeno, MO: Materia Orgánica, CE: Conductividad Eléctrica, CICT: Capacidad de Intercambio Catiónico Total, P: Fósforo, N: Nitrógeno.

**Carrizal:** Hay poca variación dentro de cada propiedad analizada a lo largo del perfil de suelo, los valores son homogéneos dentro de los diferentes horizontes. Cambios marcados se muestran en el contenido de arena, en el horizonte A1 es mayor (61 %) y se reduce a un 49 % en el horizonte A2, con relación a la retención de humedad, esta varía de un 46 a un 36 % del espesor C2 a C3. Este suelo, a lo largo de todo su espesor, presenta el mayor contenido de espacio poroso y arcilla. Es relativamente ácido con un bajo contenido de nitrógeno, fósforo y materia orgánica.

**La Cotorra:** Este perfil es el menos ácido de los cinco realizados en bosques tropicales subcaducifolios, presenta en la mayoría de los horizontes un pH de 6 que se ve reflejado en la CIC, cuyo valor es superior al de los demás sitios. Estas condiciones están favorecidas por el origen calizo que presenta esta área. Tienen el horizonte A más rico en materia orgánica (9.49 %) de todos los suelos, pero las cantidades son muy bajas para las capas subyacentes, lo que indica una pérdida por lixiviación.

**Santiago Lagunas:** Este suelo tiene perfil AC al igual que los sitios 1 y 4. En esta localidad el horizonte A es muy delgado, tan solo 15 cm de grosor, por esta razón es el menos desarrollado. Presenta las menores cantidades de materia orgánica y fósforo. A pesar de lo mencionado anteriormente en este sitio se encuentra el mayor contenido de nitrógeno.

**Unión Nacional:** El origen aluvial de los materiales edáficos provoca una variación en la distribución de las partículas de arena a lo largo del perfil, el porcentaje de esta es mayor en la capa superficial. Las cantidades de retención de humedad, espacio poroso y nitrógeno son las más bajas en este tipo de vegetación.

**San Miguel Reyes:** La distribución de arena, arcilla y pH son muy uniformes a lo largo del perfil. Los valores de pH en este punto muestreado son inferiores a 5, por tanto, es el suelo más ácido. Las cantidades de materia orgánica y fósforo son las mayores en este sitio.

**Cuadro 20.-** Promedio de las propiedades edáficas por localidad en las coberturas del Bosque de Pino.

<b>Localidad</b>	Prof. cm	DR (gcm <sup>-3</sup> )	DA (gcm <sup>-3</sup> )	E.P %	pH H <sub>2</sub> O	Humedad (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	MO %	CE (dSm <sup>1</sup> )	CICT (cmolk <sup>-1</sup> )	P (pmm)	N (%)
Carrizal	126	2.5	1.1	53.1	4.7	39.7	23	52	5.0	0.20	25.2	0.39	0.121
Charloco	124	2.5	1.0	57.1	4.7	42.2	41	35	4.8	0.51	24.6	0.36	0.051
Nva Tenochtitlán	160	2.7	0.9	63.3	4.5	43.2	41	34	2.8	0.29	21.3	0.33	0.049
Cerro Pájaro	120	2.5	1.1	52.4	5.0	32.3	20	53	4.8	0.27	10.2	0.75	0.100
Tierra colorada	110	2.5	1.2	49.4	4.4	29.1	25	52	5.5	0.18	8.0	1.72	0.100

Prof: profundidad, DR: Densidad Real, DA: Densidad Aparente, E.P: Espacio poroso pH: potencial Hidrógeno, MO: Materia Orgánica, CE: Conductividad Eléctrica, CICT: Capacidad de Intercambio Catiónico Total, P: Fósforo, N: Nitrógeno.

**Carrizal:** Dada la aceptable porosidad del perfil edáfico no existen problemas de compactación y drenaje entre los horizontes, favoreciendo así la distribución de raíces. El contenido de humedad y el pH son homogéneos a lo largo del perfil de suelo. La materia orgánica se relaciona positivamente con el incremento de fósforo en el horizonte A, en el resto del perfil son constantes (Anexo 1). Las partículas dominantes son las arenas en toda la profundidad.

**Charloco:** Se trata de un suelo más arcilloso con el mayor contenido de MO en el horizonte superficial A y se disminuye en los siguientes tres horizontes, este mismo comportamiento se tiene en el contenido de Fósforo. Se pueden apreciar pequeñas variaciones de CICT entre horizontes. La humedad y la porosidad son valores constantes y en promedio adecuados para el drenaje y distribución de las raíces. Presenta a lo largo del perfil un hue Munsell rojo de 5YR. En cuanto al pH tiende a ser constante y se mantiene cercano a 4.7.

**Nueva Tenochtitlán:** Con alto contenido de arcilla y CICT que se pueden visualizar cambios notables entre horizontes. La materia orgánica es alta en los dos primeros horizontes. La porosidad y humedad tienden a ser constantes, se presenta un buen drenaje que favorece la distribución de las

raíces. El pH ácido se mantiene constante a lo largo del perfil. La CE disminuye conforme aumenta la profundidad del suelo.

**Cerro Pájaro:** Perfil con textura migajón arenosa, alto contenido de materia orgánica (4.99%) en el horizonte A. Se le puede considerar un suelo joven dada la ausencia de un horizonte B, con baja CIC. Presenta una buena porosidad en el horizonte A, en C1 y C2 hay una considerable disminución, esto mismo sucede con la humedad. El fósforo presenta una marcada diferencia entre horizontes y el nitrógeno se le puede considerar constante. Presenta en más de la mitad del perfil un hue Munsell blanco de 10YR.

**Tierra Colorada:** Suelo joven dada la ausencia de un horizonte B. Tiene una aceptable porosidad a lo largo del perfil. La humedad es constante. El pH tiende a ácido cercano a 4.5. De los perfiles de pino es el más rico en fósforo, pero es el más bajo en cuanto a CICT se refiere. Hay cambios considerables en su CE. Es un suelo muy arenoso. Presenta a lo largo del perfil un hue Munsell marrón de 10YR.

**Cuadro 21.-** Promedios de las propiedades edáficas por localidad bosque mesófilo de montaña.

Localidad	Prof. Cm	DR (gcm <sup>-3</sup> )	DA (gcm <sup>-3</sup> )	E.P %	pH H <sub>2</sub> O	Humedad (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	MO %	CE (dSm <sup>-1</sup> )	CICT (cmolk <sup>-1</sup> )	P (pmm)	N (%)
Paz y Progreso	110	2.5	0.8	65.9	6.0	15.8	49	26	3.0	0.30	23.4	0.50	0.020
Cerro Pájaro (1)	170	2.4	0.8	67.0	5.4	19.5	7	62	5.8	0.35	22.7	0.69	0.122
Gpe. Buenavista	150	2.6	1.3	50.2	6.0	36.7	25	45	2.2	0.25	15.6	0.23	0.109
Cerro Pájaro (2)	155	2.4	1.0	57.1	5.8	51.0	21	46	3.7	0.39	20.1	1.16	0.040
Cerro Pájaro (3)	80	2.3	1.0	53.5	6.9	52.5	23	33	4.3	0.41	25.2	1.93	0.079

Prof: profundidad, DR: Densidad Real, DA: Densidad Aparente, E.P: Espacio poroso pH: potencial Hidrógeno, MO: Materia Orgánica, CE: Conductividad Eléctrica, CICT: Capacidad de Intercambio Catiónico Total, P: Fósforo, N: Nitrógeno.

**San Isidro Paz y Progreso:** Perfil con un cambio acentuado de arena a arcilla entre los horizontes A1 y A2, el resto del perfil es muy arcilloso. Materia orgánica mayor en horizonte A, disminuyendo a lo largo del perfil; un comportamiento similar tiene CE. En cuanto a CICT hay una ligera variación entre horizontes, con el fósforo sucede algo similar. Presenta cantidades muy bajas de nitrógeno. Su porosidad es excelente permitiendo el buen drenaje y la distribución de las raíces. El pH tiende a neutro.

**Cerro Pájaro (1):** En este suelo el horizonte B aún esta en formación, característica de los Cambisoles, el porcentaje de carbono orgánico es mayor al 1 % hasta los 60 cm de profundidad. El



pH es ácido por lo tanto la saturación de bases no puede ser mayor al 50 %. La densidad aparente no sobrepasa los 0.9 kg dm<sup>-3</sup> en los primeros 60 cm desde la superficie, mientras que la textura en los primeros 30 cm es migajón-arenosa.

**Guadalupe Buenavista:** Suelo con mayor contenido de arcilla en los horizontes A2 y C que en el suelo superficial. Con alto contenido de materia orgánica, conductividad y fósforo en A1. Es un suelo con buen drenaje y buena porosidad. Su pH conforme aumenta la profundidad tiende a neutro.

**Cerro Pájaro (2):** La formación del horizonte B es incipiente. Tiene un alto porcentaje de carbono orgánico en A1, A2 y B. La saturación de bases no sobrepasa el 50 %, pues el pH es de 6.05 o más ácido en todo el perfil. Es un suelo con buena porosidad, por tanto, bien drenado, pobre en nitrógeno con una alta CICT en su horizonte B.

**Cerro Pájaro (3):** La translocación de arcilla del horizonte superficial al subyacente es evidente, además existen capas de acumulación de arcilla en los tres horizontes de profundidad del perfil. A1 contiene un alto porcentaje de materia orgánica igual que de fósforo y de CICT; estos tres parámetros disminuyen al incrementar la profundidad. Presenta un pH neutro; su porosidad es buena por lo tanto tiene un buen drenaje y con facilidad pueden dispersarse las raíces.

**Cuadro 22.** Promedios de las propiedades edáficas por vegetación: bosque tropical subcaducifolio, bosque de pino, bosque mesófilo de montaña.

Vegetación	Prof. Cm	DR (gcm <sup>-3</sup> )	DA (gcm <sup>-3</sup> )	E.P %	pH H2O	Humedad (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	MO %	CE (dSm <sup>-1</sup> )	CICT (cmolk <sup>-1</sup> )	P (pmm)	N (%)
<b>BTSC</b>	111	2.5	1.0	56.9	5.3	45.0	22	52	2.7	0.15	14.9	0.858	0.036
<b>BP</b>	128	2.6	1.1	55.1	4.7	37.3	30	45	4.6	0.29	17.9	0.71	0.084
<b>BMM</b>	133	2.4	1.0	58.7	6.0	35.1	25	43	3.8	0.34	21.4	0.90	0.074

Prof: profundidad, DR: Densidad Real, DA: Densidad Aparente, E.P: Espacio poroso pH: potencial Hidrógeno, MO: Materia Orgánica, CE: Conductividad Eléctrica, CICT: Capacidad de Intercambio Catiónico Total, P: Fósforo, N: Nitrógeno.

La porosidad del suelo tiene un patrón común para las tres coberturas vegetales, dado que, disminuye a medida que la profundidad es mayor (anexo I). Se encontró una mayor porosidad en los suelos del BMM, mientras que la menor se tiene en el BP. En cuanto a la densidad real (DR) y la densidad aparente (DA), incrementan con la profundidad y los valores cambian dependiendo del tipo de vegetación en orden decreciente BMM<BTSC<BP (Cuadro 21). Cabe señalar que se presenta una mayor DA en el horizonte de acumulación (B), ocasionado por el incremento de arcilla en los suelos de BP y BMM (Anexo 1a, 1b y 1c).

La cantidad de retención de humedad disminuye de acuerdo con la profundidad en los tres bosques, de los cuales el BMM presenta la más baja, 35.1 %, seguido por los BP con 37.3 % y los de mayor retención son los BTSC, con un 45.0 % (Cuadro 22). Con respecto al pH, se encontró que los suelos del BP son más ácidos, con un valor de 4.7, en los BTSC su pH es de 5.3 y en el BMM tiende a neutro, con un pH de 6.0. También se observa 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 (Anexo 1a, 2b y 3c).

La textura, es contrastante en los tres tipos de vegetación, encontrando en las comunidades de BP los contenidos más altos de arcilla (Cuadro 20). En BTSC se tienen los contenidos de arcilla más bajos pero se puede ver que cuando existe una variación de ésta, el de arena también se modifica de manera tal que a menor arcilla mayor arena, por lo tanto los suelos que sostiene al BTSC son más arenosos. En BMM se registraron valores muy variados, por ejemplo, en el perfil 2 se presentan los valores más altos de arena y los más bajos de arcilla, el suelo es un Cambisol de textura migajón-arenoso, puede observarse que la textura en los suelos que sostienen esta vegetación varía de un perfil a otro.

Con relación a la materia orgánica del suelo (MO o MOS) se encontró que los contenidos en el BMM y BTSC son los más altos, conforme aumenta la profundidad este valor disminuye gradualmente, la mayor cantidad de MO se encuentra en la capa superficial del suelo, este proceso es muy evidente en BTSC y menos marcado en BMM en donde se presenta una zona de enriquecimiento con humus entre los 70 y 100 cm de profundidad. En el caso del BP se puede apreciar una menor cantidad de materia orgánica en los horizontes superiores, pero estas cantidades se mantienen, incluso aumentan, a lo largo del perfil (Anexo I). Así, el BTSC es el que muestra la menor cantidad de materia orgánica (2.7), seguido por el BMM (3.8), y el que más contenido de MO presenta es el BP con 4.6 % (cuadro 21).

La conductividad eléctrica disminuye su valor conforme aumenta la profundidad, este comportamiento se da en las tres coberturas vegetales, en el BMM hay un incremento entre los 80 y 100 cm (Anexo I) 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 entre estas comunidades (Cuadro 22).

El valor más alto de CICT se registró en los 30 cm superficiales de las tres coberturas vegetales, a partir de donde disminuye gradualmente para incrementarse nuevamente en los 70 cm en adelante, es decir, en el horizonte B de acumulación de arcilla y humus (Anexo I). En general, los intervalos de variación de la CICT para los suelos del BMM van de 20-25  $\text{cmolc kg}^{-1}$ , mientras que, para los suelos de BTSC varían de 12.5-18  $\text{cmolc kg}^{-1}$ . En BP los valores son intermedios a los anteriores y fluctúan de 15-19  $\text{cmolc kg}^{-1}$ . (Anexo 1a, 1b y 1c). La capacidad de intercambio Catiónico (CICT) difiere dependiendo de la cobertura vegetal en orden decreciente  $\text{BMM} > \text{BP} > \text{BTSC}$  (cuadro 21).

Con respecto al fósforo se registraron las mayores cantidades en los BTSC (0.858) y BMM (0.900), seguidos por el de BP con 0.710. En cuanto al nitrógeno se presenta un horizonte de acumulación subyacente al espesor superficial de 10 cm. El promedio en el contenido de este nutrimento tiene el siguiente orden  $\text{BP} > \text{BMM} > \text{BTSC}$  (Cuadro 22).

Los colores del suelo más oscuros se encuentran en los BP, específicamente en Luvisol, esto mismo sucede en la vegetación del BMM y BTSC; los más claros en Regosol, que se distribuyen en BTSC y BP. Los colores de los cambisoles que solo se distribuyen en los BMM son los intermedios, en tanto el Fluvisol tiene el color más oscuro de los BTSC (Anexo I).

## Integración florística

Después de determinar los 200 ejemplares recolectados de los estratos arbóreo y arbustivo en los sitios de muestreo, se obtuvo la siguiente relación, en el BTSC se registró un total de 350 individuos, pertenecientes a 28 familias, 39 géneros y 44 especies. En BP se reconocieron 708 individuos, que pertenecen a 43 especies, 33 géneros y 24 familias, finalmente en el BMM se inventariaron 444 individuos, 32 familias, 42 géneros y 46 especies (Cuadro 23). Con base en la riqueza de especies, el BMM tiene la más alta diversidad en familias, géneros y especies, mientras que el BP presentó el menor número de especies pero con el mayor número de individuos. En los anexos 2a, 2b y 2c se presenta el listado de especies por cobertura vegetal estudiada.

Las familias más representadas en BTSC son Araliaceae con dos especies, Fabaceae con tres, Lacistemaceae con siete y Melastomataceae con ocho especies respectivamente (Anexo II). En el BP se encontró a Pinaceae, como la más abundante y está representada por *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. pseudoestrobis* y *P. teocote*, seguida de Clethraceae con dos *sp*, Malpighiaceae con una *sp* y Meleostomataceae con nueve (Anexo II). En el BMM las familias más diversas son Actinidiaceae, Myrsinaceae y Rubiaceae con 2, 2 y 5 especies respectivamente (Anexo II).

**Cuadro 23.** Integración florística de las localidades por sitio de muestreo

Vegetación	Sitio	Localidad	Familia	Género	Especie	Individuos
<b>BTSC</b>	1	El Carrizal	9	10	10	30
	2	La Cotorra	9	10	10	34
	3	Santiago Lagunas y Charloco	18	18	18	45
	4	Unión Nacional	10	10	10	40
	5	San Miguel Reyes	20	23	27	201
		Total	28	39	44	350
<b>BP</b>	1	Carrizal	8	8	8	51
	2	Charloco	7	8	8	73
	3	La Nueva Tenochtitlán	10	13	14	180
	4	Cerro Pájaro	17	17	17	72
	5	Tierra colorada	11	12	14	332
		Total	24	33	43	708
<b>BMM</b>	1	San Isidro Paz y Progreso	6	6	6	25
	2	Cerro Pájaro	16	16	16	149
	3	Guadalupe Buenavista	10	10	11	39
	4	Cerro Pájaro	12	12	12	60
	5	Cerro Pájaro	18	18	19	171
		Total	32	42	46	444

## VALOR DE IMPORTANCIA DE LAS ESPECIES (VI)

El valor de importancia de cada especie encontrada se calculó por sitio de muestro y cobertura vegetal. En el primer caso, se tomó en cuenta el área de cada sitio y sus respectivos individuos de cada sitio y DAP, los resultados se muestran en el Anexo III. En el segundo caso, se calculó tomando en cuenta el área total muestreada de los cinco sitios por cobertura vegetal, el número total de individuos y la sumatoria de los DAP de cada especie. Puede observarse una mayor homogeneidad en sus valores de importancia en BMM seguido por BP y el más heterogéneo es BTSC (Fig. 11, 12 y 13). Con base en los valores de importancia se determinaron las cinco especies dominantes de cada sitio (Anexo III). Finalmente se seleccionaron para cada tipo de vegetación las cinco especies dominantes (Fig 11, 12 y 13).

### Dominantes ecológicos por cobertura vegetal

En los BTSC del municipio se presenta un alto grado de perturbación. Se encontró que *Hymenaea courbaril* está presente en todos los sitios muestreados y es la especie con valor de importancia mayor (36.04), seguida por *Dendropanax arboreus* (24.90) y *Bursera simaruba* (18.98). En esta cobertura vegetal se cuantificaron un total de 28 especies arbóreas y 15 arbustivas, es decir tiene una riqueza de 44 especies (Fig. 11).

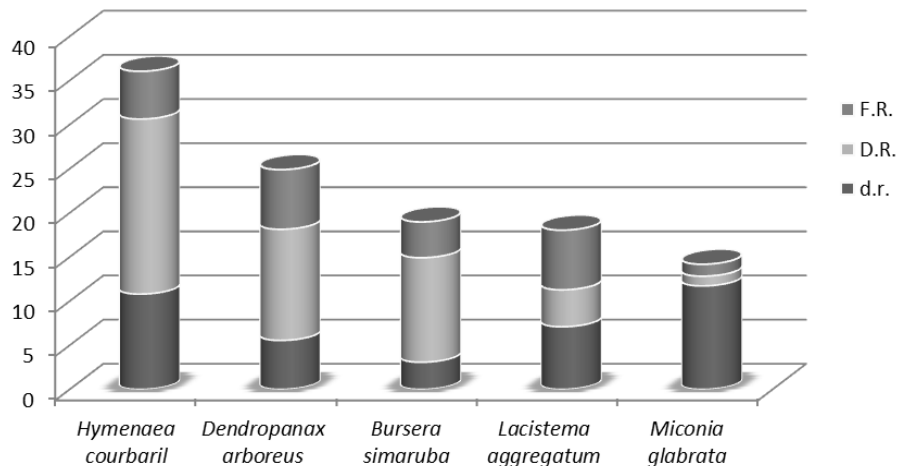


Fig. 11 Dominantes ecológicos bosque tropical subcaducifolio

Los bosques de pino tienen una distribución fragmentada en el área que comprende el municipio. Con base en los Valores de importancia obtenidos, se puede señalar que esta cobertura vegetal tiende a la homogeneidad, ya que cuenta con una alta cantidad de individuos 708, incluidos en 43

especies, de las cuales 25 pertenecen al estrato arbóreo y 18 al arbustivo. En estos bosques se presentan cuatro especies del género *Pinus* (*P. oocarpa*, *P. teocote*, *P. maximinoi*, *P. pseudoestrobis*), sin embargo, únicamente en dos de los sitios muestreados se repite una especie de este género *P. teocote* (Fig. 12).

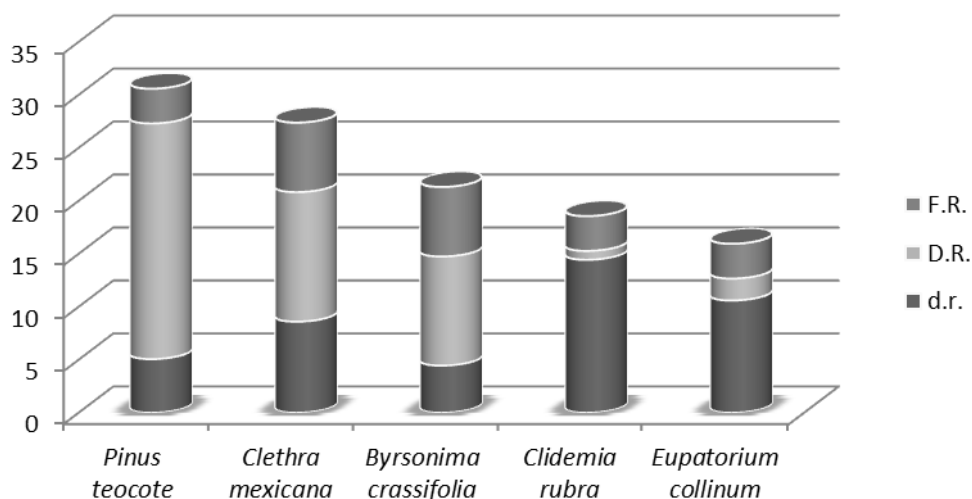


Fig. 12 Dominantes ecológicos bosque de pino

Los bosques de pino, ocupan aproximadamente el 17 % del área del municipio, se distribuye en masas forestales continuas y en muy pocas ocasiones se presentan pequeños manchones. Los valores de importancia indican una mayor codominancia entre las especies arbóreas que constituyen esta vegetación.

El BMM es la vegetación mejor desarrollada; en esta cobertura vegetal se encuentran fragmentos que conservan una estructura primaria compleja y no se observan evidencias importantes de deterioro; desde luego en la zonas con menor pendiente, la comunidad vegetal primaria ha sido degradada en diferentes grados por la extracción de recursos forestales, cambio de uso forestal a agrícola y de forestal a pecuario. Este tipo de vegetación tiene a *Roupala montana* como el dominante ecológico presente en el 60 % de los sitios muestreados, seguida por *Eugenia capulí* (VI 20.09) distribuida en un 40 %, *Saurauia scabrada* (VI 18.80), que es la más distribuida (cuatro de los cinco sitios), *Zinowiewia concinna* y *Fraxinus dubia*, con valores de importancia de 18.75 y 17.11 respectivamente (Fig 13). El estrato arbóreo está representado por 28 especies y el arbustivo por 22 de un total de 46 especies. Los valores de importancia son homogéneos por lo que deducimos la existencia de un equilibrio entre dominantes ecológicos y el suelo que los mantiene.

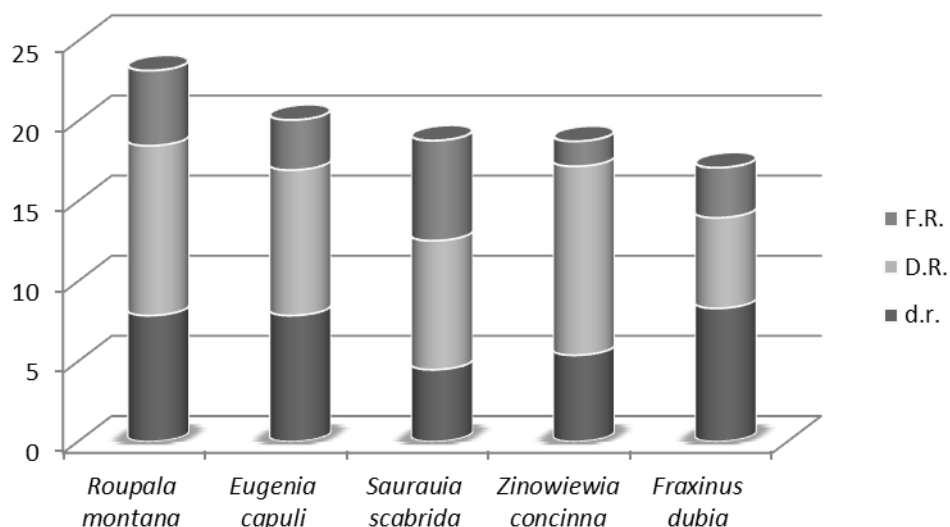


Fig. 13 Dominantes ecológicos bosque mesófilo de montaña

## ÍNDICES DE DIVERSIDAD DE ESPECIES

Los cuadros 24, 25 y 26 muestran los índices, Shannon-Winner ( $H'$ ) y Simpson ( $\lambda$ ) de cada sitio por tipo de vegetación (BTSC, BP, BMM). Para el caso de los BTSC, los valores más bajos de diversidad se encontraron en la comunidad del Carrizal y la Cotorra, mientras que, los valores máximos se encontraron en Santiago Lagunas, Unión Nacional y San Miguel Reyes (Cuadro 24).

**Cuadro 24.** Diversidad de especies bosque tropical subcaducifolio

Localidad	Shannon-Winner	Simpson
Carrizal	1.86	5.18
La Cotorra	2.53	11.74
Santiago Lagunas	2.99	18.61
Unión Nacional	3.00	16.45
San Miguel Reyes	3.11	17.05

Entre los sitios muestreados en BP, podemos encontrar que los valores de diversidad más altos se presentan en las localidades Cerro Pájaro, Tierra Colorada y Nueva Tenochtitlán. Por otro lado, los valores más bajos de diversidad se encuentran en las localidades de Carrizal y Charloco (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Diversidad de especies bosque de pino

Localidad	Shannon-Winner	Simpson
Carrizal	1.92	6.97
Charloco	2.16	7.25
Nva Tenochtitlán	2.64	11.18
Cerro Pájaro	2.98	14.95
Tierra colorada	2.96	14.35

Los BMM presentan las localidades más diversas, Cerro Pájaro 5 y 4, con un índice de Shannon-Wiener de 3.25 y 3.03 respectivamente, seguido por la localidad de Guadalupe Buenavista (2.86). También estas tres comunidades presentan el valor más alto de las especies dominantes, valor dado por el índice de Simpson; las de menor diversidad y dominancia se encuentran en Cerro Pájaro 2 y San Isidro Paz y progreso (Cuadro 26).

**Cuadro 26.** Diversidad de especies bosque mesófilo de montaña

Localidad	Shannon-Wiener	Simpson
San Isidro Paz y Progreso	1.27	2.71
Cerro Pájaro 2	2.32	7.43
Guadalupe Buenavista	2.86	12.99
Cerro Pájaro 4	3.03	15.34
Cerro Pájaro 5	3.25	20.74

Cabe destacar que el bosque mesófilo de montaña, presenta los valores más elevados (20.74 índice de Simpson) y los más bajos (1.27 Shannon-Wiener) de los tres bosques. El BP es el que presenta las áreas más homogéneas, es decir, reflejan poca variabilidad de especies según los índices de Shannon-Wiener y Simpson. En el BMM los valores son más heterogéneos, reflejando características considerables en la variabilidad de las especies. Con lo que respecta al BP conserva índices intermedios entre los BMM y los BTSC.

## **DESCRIPCIÓN DE LAS COBERTURAS VEGETALES**

### **Bosque tropical subcaducifolio**

Es el tipo de vegetación más perturbado del municipio, ocupa grandes extensiones, está severamente fragmentada por actividades agricultura y ganadería principalmente. A pesar de haber elegido los sitios menos perturbados, en varios de ellos se encuentran plantas de café y mango que indican que fue abandonado. Cabe señalar que los componentes de la vegetación arbórea están



representados por aquellas especies que localmente cumplieron con la función de plantas nodriza, utilizadas para proveer de sombra al cafetal. De este modo, la estructura de la vegetación es principalmente de selva secundaria. El punto cinco (San Miguel Reyes) es el más conservado, tiene mayor diversidad y número de individuos. La cobertura vegetal de BTSC está mejor representada al este y sur de la cabecera municipal, pero su distribución no es continua, esta interrumpida por la presencia de predios dedicados a la agricultura y ganadería, actualmente se le encuentra confinado principalmente en cañadas y laderas con mayor pendiente y pedregosidad. La altitud en la que se le encuentra oscila entre los 700 a 900 m aproximadamente.

**El Carrizal** Se muestrearon 256 m<sup>2</sup>, se localizaron un total de 30 individuos de diez especies y diez géneros pertenecientes a diez familias. Las tres con el mayor valor de importancia son: *Homalium senarium*, *Calophyllum brasiliense* y *Saurauia radlkoferi* con 110.89, 41.90 y 40.86, respectivamente. Es importante señalar que la especie *Homalium senarium* tiene el valor de importancia más elevado con respecto a todas las demás especies estudiadas del BTSC.

**La Cotorra** Se encontraron 34 individuos pertenecientes a nueve familias, diez géneros y diez especies, en un área muestreada de 256 m<sup>2</sup> y las tres especies con mayor valor de importancia son: *Bursera simaruba*, *Chiococca alba* y *Dendropanax arboreus* con valor de importancia de 62.05, 56.27 y 44.47, respectivamente. A pesar de que *Bursera simaruba* es la que menos individuos tiene en la zona, respecto a las otras dos más importantes, es la que ocupa la primera posición en orden de importancia por tener una dominancia elevada causada por mayor DAP.

**Charloco** Se registraron 45 individuos en un área de 256 m<sup>2</sup> de los sitios de BTSC fue uno de los más conservados con 18 especies, pertenecientes a 18 géneros y 18 Familias. Las tres especies con mayor valor de importancia son: *Cupania glabra*, *Hymenaea courbaril* y *Saurauia aspera* con 59.05, 36.99 y 35.68, respectivamente.

**Unión Nacional** las tres especies más importantes en la superficie analizada de 128 m<sup>2</sup> son: *Hymenaea courbaril*, *Bursera simaruba* y *Lacistema aggregatum* con valor de importancia de 104.50, 46.14 y 43.89, respectivamente. Un total de 40 individuos, 10 especies. En este sitio se encontró que la especie dominante excede en un 100 el valor de importancia de las demás especies.

**San Miguel:** Sitio es en el que se tiene un mayor número de individuos (201) y especies (27) por unidad de superficie. Estos están incluidos en 23 géneros y 20 familias. El área muestreada fue de 400 m<sup>2</sup> y las especies con el mayor valor de importancia son: *Guarea glabra*, *Hymenaea courbaril* y *Miconia glabrata*, con valor de importancia de 36.68, 34.41 y 31.99, respectivamente. Por el hecho de ser más diverso y presentar gran cantidad de especímenes, los valores de importancia son más uniformes y en general menores si los comparamos con los otros cuatro sitios. En resumen el bosque tropical subcaducifolio tiene como especies dominantes por orden de importancia decreciente a *Hymenaea courbaril*, *Dendropanax arboreus* y *Bursera simaruba*.

La comparación de similitud florística entre los sitios de muestreo del BTSC, muestra que las localidades La Cotorra y Charloco, son las más parecidas con un 26 % de similitud, seguidos por Unión Nacional con un 25% y un 19% de las especies presentes en la localidad de San Miguel Reyes se comparten con estos tres sitios muestreados (Fig. 14). Finalmente, el Carrizal tiene la más baja similitud (15%) de los cinco sitios estudiados en esta cobertura vegetal. Cabe mencionar que los sitios La Cotorra y Carrizal presentaron la más baja densidad de árboles y arbustos, mientras que en San Miguel se registró la más alta diversidad de especies.

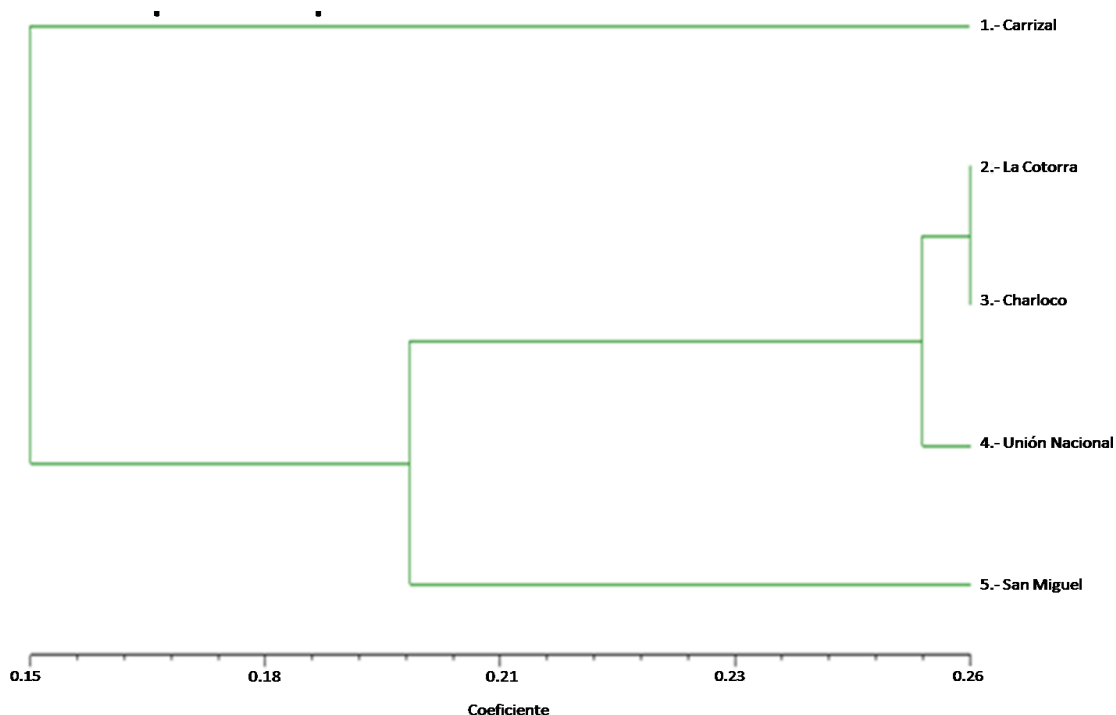


Fig. 14 Dendrograma de similitud Bosque Tropical Subcaducifolio

## **Bosque de Pino**

Los bosques de pino (BP) se distribuyen de norte a sur pasando por la parte oeste de la cabecera municipal, se desarrollan en elevaciones entre los 800 y 2000 m, 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, el estrato principal está compuesto por árboles de 8 a 20 metros de altura, entre los que sobresalen especies del género *Pinus* además de géneros como *Quercus* y *Clethra*. 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 esta 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 distribuye en áreas localizadas entre el BTSC y el BMM en la parte centro y este respectivamente. En los bosques de pino la erosión del suelo y las evidencias de incendios forestales expresan más claramente los efectos del manejo que ha tenido este tipo de vegetación.

**Carrizal:** El área total muestreada fue de 256 m<sup>2</sup> en la que se localizaron un total de 51 individuos, ocho familias, ocho géneros y ocho especies. Las tres con mayor valor de importancia son *Pinus oocarpa*, *Byrsonimia crassifolia* y *Acacia cornigera* con VI de 110.99, 36.26 y 36.22, respectivamente. Cabe destacar que esta localidad es la más perturbada de las cinco que fueron seleccionadas en este estudio, de hecho muestra evidencias de incendio en los últimos dos años.

**Charloco:** Se encontraron 45 individuos, 18 especies en un área de 400 m<sup>2</sup> con una representación taxonómica de ocho géneros pertenecientes a siete familias. Las tres especies con mayor valor de importancia son, *Pinus teocote*, *Clethra mexicana*, *Quercus crassifolia* con 142.78, 48.34, 46.58, respectivamente. Es importante señalar que la especie *Pinus teocote* tiene el valor de importancia más elevado con respecto a todas las demás especies estudiadas del bosque de pino. Esta localidad junto con la anterior son las que presentan menor diversidad en familias, géneros y especies. Existe una diferencia de casi tres veces más el valor de importancia de la especie número uno con respecto a las otras dos más importantes.

**Nueva Tenochtitlán:** Este sitio presenta entre sus dominantes a *Pinus teocote* con un VI = 52.77 superado ligeramente por *Clethra hartwegi* con 53.50, seguidos de *Tibouchina bourgeana* y *Clidemia*

*rubra* con 34.30 y 30.79 respectivamente. Es un bosque medianamente conservado registrando 180 individuos incluidos en 14 familias, 14 géneros y 14 especies en un área muestreada de 400 m<sup>2</sup>.

**Cerro Pájaro:** Esta localizado en la parte más elevada del Cerro Pájaro su dominante ecológico es el *Pinus Maximinoi* con un valor de importancia de 59.61 seguido por *Clethra mexicana* con un valor de importancia de 36.23 y *Quercus glauciodes* con un 36.23 de VI, *Icacorea compresa* con un 29.88 en su valor de importancia. En este sitio se muestrearon 72 individuos 17 familias, 17 géneros y 17 especies en 400 m<sup>2</sup>.

**Tierra Colorada:** *Pinus pseudoestrobis*, *Clethra mexicana*, *Eupatorium collinum*, *Clidemia rubra*, *Byrsonimia crassifolia*, son las sp con mayor VI, 82.33, 48.33, 37.79, 30.15, 27.67 respectivamente. Esta localidad es la más conservada de las cinco estudiadas del bosque de pino con un área muestreada de 400 m<sup>2</sup>. Se registraron 332 individuos con 11 familias, 12 géneros y 14 especies.

El bosque de pino, muestra la mayor similitud entre las localidades de Nueva Tenochtitlán y Tierra Colorada y la menor en el cerro pájaro con tan solo el 8 % de similitud, por otro lado la comunidad de Charloco y Carrizal muestran una similitud del 12 % y estos dos sitios tienen una similitud de aproximadamente 17 % con las localidades de nueva Tenochtitlán y Tierra Colorada (Fig. 15). Cabe destacar que existe mayor similitud florística entre localidades que se encuentran a una misma altitud y se diferencia entre más distinto sea el rango de altitud.

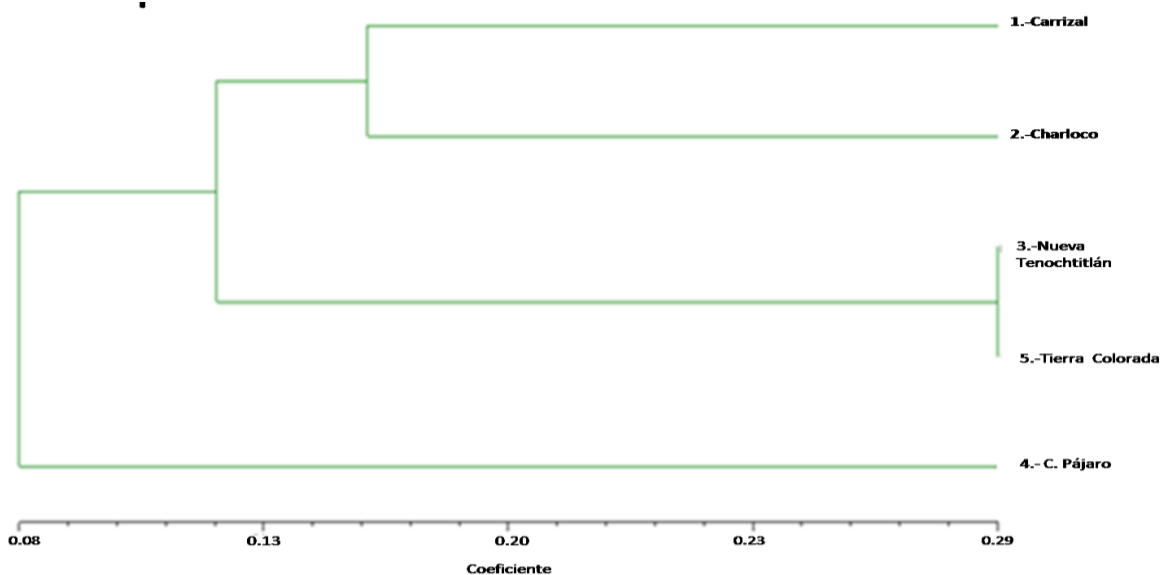


Fig. 15 Dendrograma de similitud bosque de pino

## **Bosque Mesófilo de Montaña**

El Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) se distribuye en el municipio entre los 1370 y 2000 m de altitud aproximadamente, de las coberturas vegetales estudiadas 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, exposición, materiales geológicos, suelo, pendiente y topografía. Es probable que parte de 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. 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 al mantenimiento de ganado.

**San Isidro Paz y Progreso.** De las cinco localidades muestreadas de esta tipo de vegetación fue la menos conservada, también resultó ser la menos diversa, ya que presentó solo seis familias con sus seis géneros y seis especies, se muestrearon 25 individuos en un área de 400 m<sup>2</sup>. Dentro de sus dominantes ecológicos se encuentran *Liquidambar styraciflua* con un VI 79.61, cabe destacar que es la única localidad en la que se presenta esta especie. *Quercus sp* con 73.76 y *Ostrya virginiana* con un 63.62 de VI respectivos. Su baja diversidad se debe a una alta perturbación por el cambio de uso del suelo.

**Cerro Pájaro (1):** Localidad ubicada a los 1708 m, la vegetación, la diversidad de especies es medianamente diversa, se encontraron 16 familias, 16 géneros y 16 especies con 149 individuos en un área de 400 m<sup>2</sup>. Los dominantes ecológicos *Alnus acuminata*, *Fraxinus dubia*, *Rapanea myricoides*, y *Calliandra houstoniana*, con 61.17, 58.53, 26.82, 25.46 de índice de valor de

importancia respectivamente. Debido a la ubicación geográfica que presenta esta zona se conserva en un estado muy favorable ya que el acceso a este lugar resulta ser complicado.

**Guadalupe Buenavista:** Este sitio muestreado es el de mayor altitud se encuentra a 1970 m, a pesar de esto la cubierta vegetal esta moderadamente conservada, presenta dentro de su composición florística como dominantes ecológicos las especies de *Conostegia arborea*, *Oreaopanax sanderianus*, *Cyathea divergens*, y *Solanum erianthum*, respectivamente, valores de importancia de 68.61, 55.16, 43.33 y 34.77. Se registraron 10 familias, 10 géneros, 11 especies, 39 individuos en un área muestreada de 400 m<sup>2</sup>.

**Cerro Pájaro (2):** Esta localidad presenta a *Zinowiewia concinna* con valor de importancia más alto, de las cinco localidades muestreadas 109.46. Seguida de *Saurauia scabrida*, *Rapanea myricoides*, y *Roupala montana* con valores de importancia de 65.03, 21.56, 17.55 respectivamente. Se muestro un área de 400 m<sup>2</sup>, encontrando 12 familias, 12 géneros y 12 especies y 60 individuos. Esta localidad se encuentra moderadamente conservada a una altitud de 1216 m, siendo la de menor altitud dentro de las comunidades del BMM.

**Cerro Pájaro (3):** En una área muestreada de 400 m<sup>2</sup> se registraron 19 individuos, pertenecientes a 18 familias, 18 géneros y 19 especies, siendo así la localidad más diversa de esta cobertura vegetal, su estado de conservación es óptimo, se encuentra a una altitud de 1775 m, es una comunidad de difícil acceso presenta dentro de sus dominantes ecológicos *Roupala montana* con un VI de 53.33, seguida de *Eugenia capulí* 46.55, *Rogiera amoena* 36.41, *Mappia longipes* 31.04, *Senecio angulifolius* 20.06.

El bosque Mesófilo de Montaña, presenta el menor porcentaje de similitud con el 4%, en el sitio de muestreo 2 en el C. Pájaro (1), por el contrario de los otros dos sitios muestreados en el C. Pájaro, ya que estos dos (2 y 3) tienen una similitud del 26%, a pesar de que difieren en altitud por lo menos 500 m. La localidad de Guadalupe Buenavista se les parece en un 19 % y la localidad de Paz y Progreso solo tienen un índice de similitud del 11 %. Estructuralmente estos bosques son muy complejos ya que presentan diversas asociaciones que difieren en su fisonomía de un lugar a otro, en su altura y composición florística, sobre todo en las especies dominantes (Fig. 16).

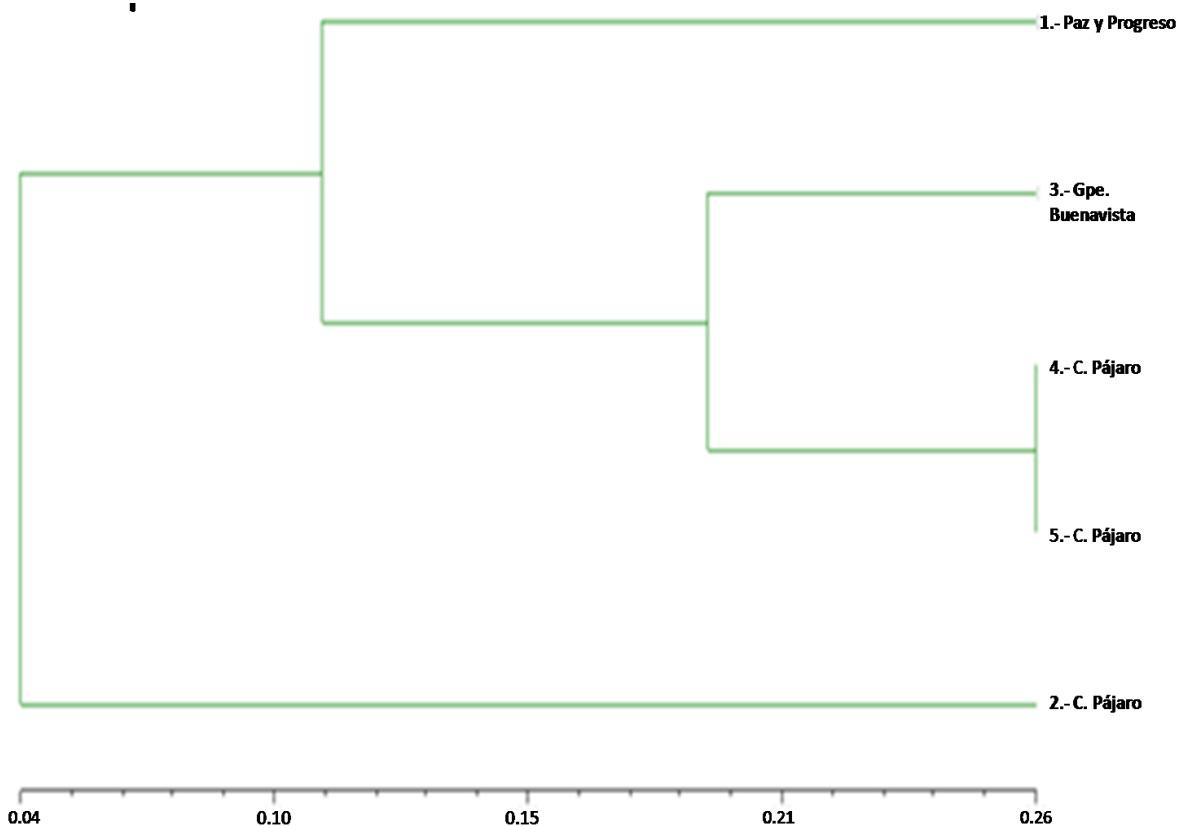


Fig 16 Dendrograma de similitud BMM

### DISTRIBUCIÓN RADICAL

El patrón de distribución de las raíces en los tres tipos de vegetación es común, las finas y muy finas son más abundantes en todas las profundidades del perfil de suelo. En los primeros 40 cm de espesor se registró la mayor cantidad total del sistema radical fino (32 a 34%) en las tres coberturas vegetales, sin embargo, en el BMM es donde este alcanza la mayor profundidad (50 cm). El sistema radical en cada cobertura vegetal tiene comportamientos diferentes en respuesta a las propiedades específicas de los suelos en cada tipo de vegetación, por ejemplo, en los bosques mesófilos de montaña las raíces muy finas (0-2 mm) se distribuyen hasta los 120 cm, mientras que en los de pino esencialmente se localiza, hasta los 90 cm, en el BTSC este tipo de raíces se distribuye a una profundidad intermedia respecto a los otros dos tipos de vegetación.

En BTSC las raíces muy finas exploran el suelo generalmente hasta un metro, las raíces finas a gruesas (>2 mm) se distribuyen hasta aproximadamente de 70-80 cm y son más abundantes entre 0-40 cm (Fig. 17 y 18). En resumen las muy finas exploran el suelo hasta los 120 cm, en cambio las finas a gruesas están presentes hasta un metro de profundidad, a partir de donde disminuyen

gradualmente. Con respecto a las propiedades de los suelos (Anexo I) se puede observar que la materia orgánica así como el espacio poroso y por tanto las densidades aparente y real son propiedades que guardan una estrecha relación con la distribución del sistema radical muy fino.

En los bosques de pino, la distribución de las raíces (Fig. 17 y 18) a lo largo del perfil se presenta hasta 100 cm en promedio. Las raíces finas a gruesas (>2 mm) muestran un aumento entre los 40 y los 70 cm de profundidad, esto coincide con la disponibilidad de recursos que existe en el horizonte B. De manera que no se encuentran propiedades edáficas que limiten el crecimiento y arquitectura del sistema radical, cabe señalar que la materia orgánica y el espacio poroso (E.P) son las dos propiedades fuertemente relacionadas, con el desarrollo del sistema radical en general. También existe una pequeña relación con la textura, específicamente con el contenido de arcilla ya que en algunos horizontes donde disminuye la arcilla puede observarse un ligero incremento en la cantidad de raíces. También es preciso comentar que a lo largo de los perfiles de BP las propiedades no varían mucho, es decir, existen condiciones adecuadas para el crecimiento y distribución del sistema radical a lo largo del perfil.

La exploración del suelo por parte de las raíces en el BMM, alcanza una profundidad promedio de 90 a 100 cm. En este tipo de vegetación las raíces se distribuyen a mayor profundidad más allá de 150 cm en algunos perfiles. La distribución de las raíces muy finas (0-2mm) es mayor que la de las raíces finas (>2 mm), de estas últimas su máxima acumulación se encuentra entre los 0 y los 40 cm de profundidad. Existe una mayor densidad de raíces en los perfiles de suelo del BMM en comparación con los de BP y BTSC (Fig. 17 y 18). La porosidad en esta cubierta vegetal es favorable para el desarrollo de las raíces, en relación proporcional a su densidad en el suelo, esta distribución radical también está ligada a los bajos porcentajes de arcilla en estos perfiles (Anexo I).



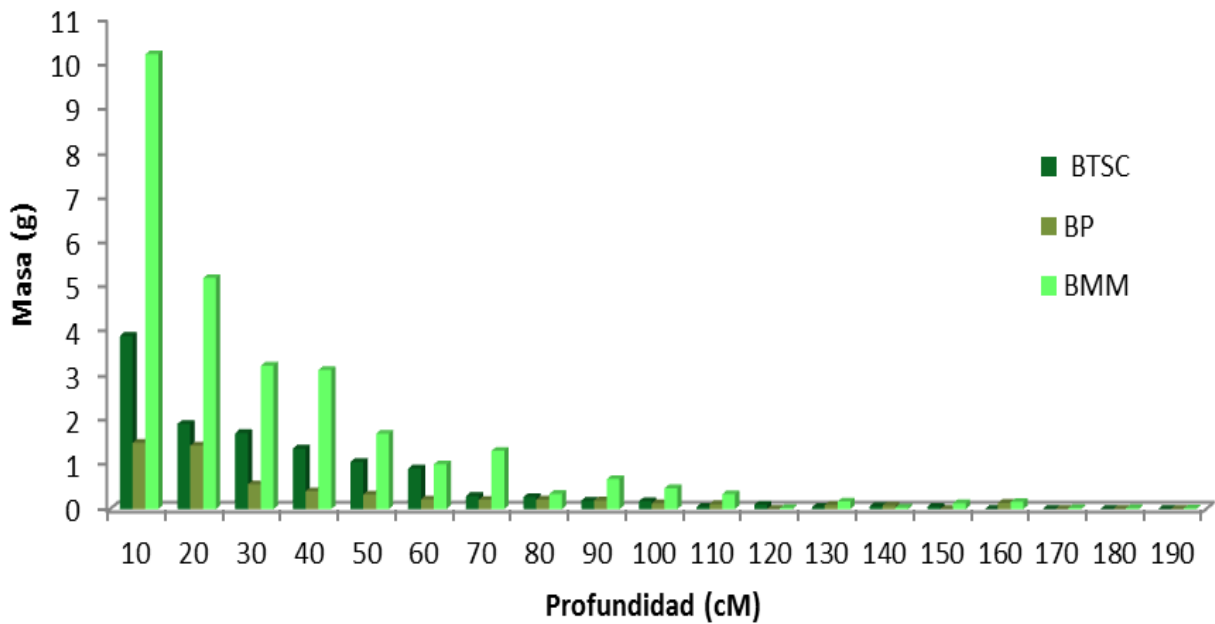


Fig. 17 Distribución del sistema radical muy fino a lo largo del perfil del suelo de los tres bosques. BTSC: bosque tropical subcaducifolio, BP: bosque de pino BMM: bosque mesófilo de montaña

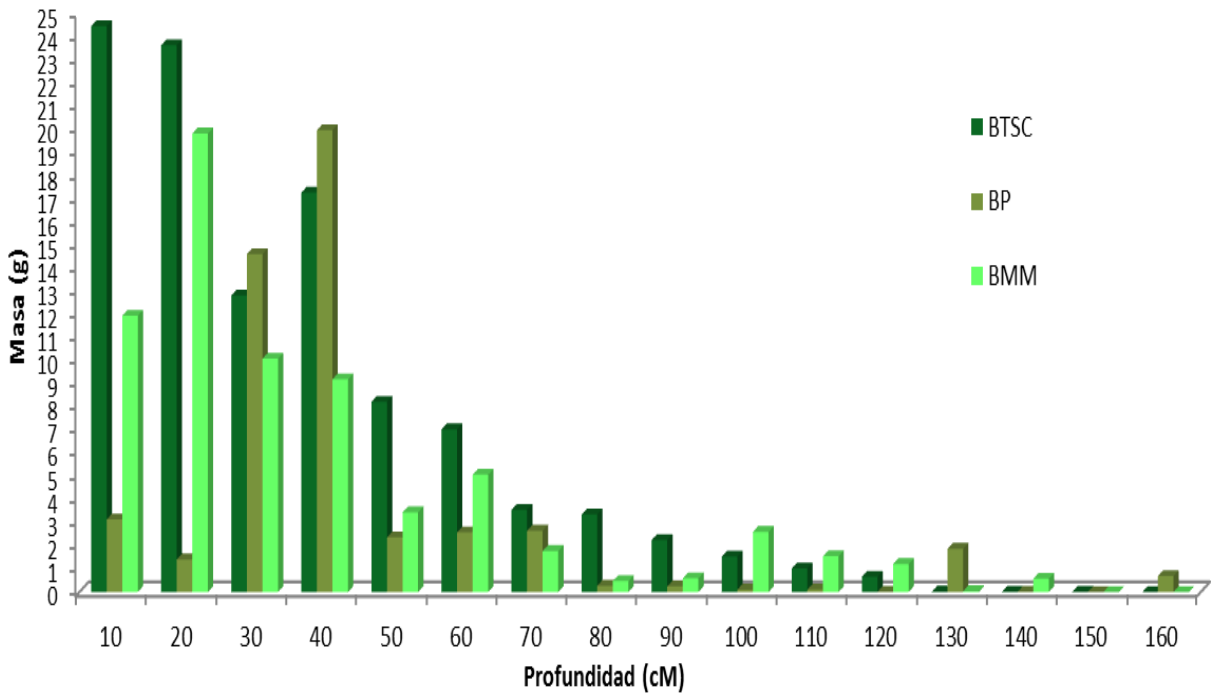


Fig.18 Distribución del sistema radical fino a grueso a lo largo del perfil del suelo de los tres bosques. BTSC: bosque tropical subcaducifolio, BP: bosque de pino BMM: bosque mesófilo de montaña

### Correspondencia entre los suelos y los tipos de vegetación estudiados.

Con base en la información de campo recabada en los quince sitios muestreados y a las descripciones realizadas en los recorridos, se elaboró una base de datos y por interpolación utilizando el programa Arc Gis 9.2 con la extensión *Spatial Analyst*, se realizó la Fig 19, en el que se muestra la distribución de los principales grupos de suelo de referencia y aquellos que están asociados a éstos en el que fueron muestreados dentro del municipio.

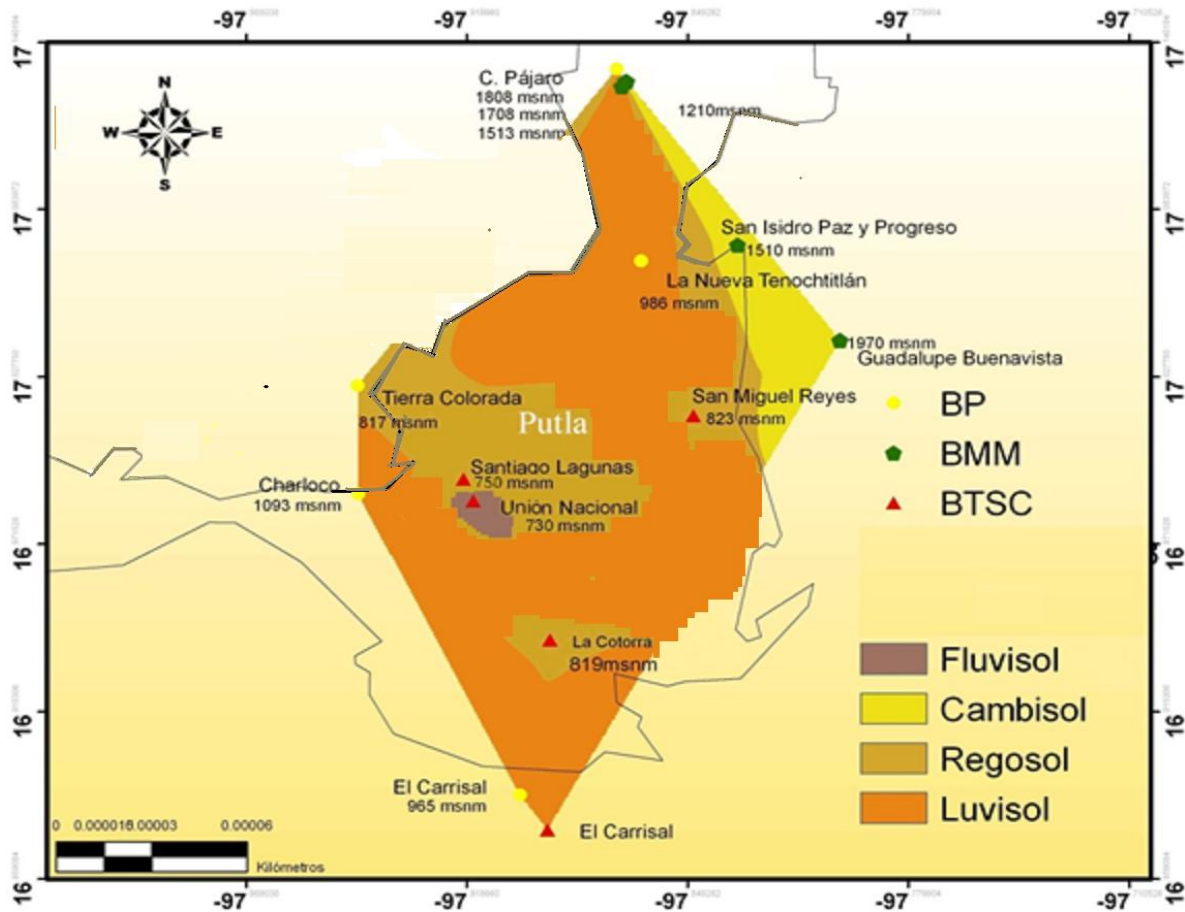
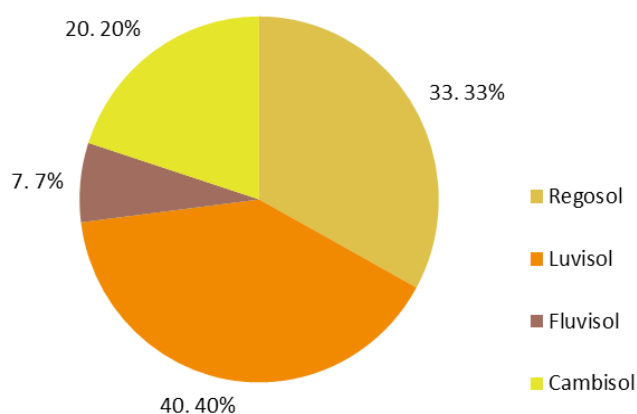


Fig. 19 Distribución espacial de los suelos en el municipio de Putla Villa de Guerrero Oaxaca, con base a los tipos de vegetación estudiados.

Se encontró que en el municipio el Luvisol es el suelo dominante (Fig. 19 y 20), el cual se distribuye en aproximadamente 31.28% de la superficie, es el único suelo presente en los tres bosques y puede ser háplico, lamélico o úmbrico, seguido por el Regosol (háplico o taptovítrico) con un 25.24% solo sostiene a los BTSC y los BP (Fig. 7). El Cambisol (háplico) es exclusivo de los BMM y se le encuentra desde los 1200 hasta los 2000 m de altitud. Por último el Fluvisol sólo ocupa un 4.8% aproximadamente y en él crece el BTSC, gran parte del cual ha sido eliminado total o parcialmente para dar cabida a la actividad agrícola y pecuaria que se practica en la zona. Cabe mencionar que

este mapa, no representa todos los suelos del municipio ya que también se distribuyen en pequeñas zonas y en asociación con los cuatro ya mencionados, Feozem, Gleysol y Leptosol. Los regosoles se encuentran en las laderas de las sierras; forman asociaciones con luvisoles, cambisoles y feozems principalmente. Su uso es forestal, pecuario, agrícola. El Cambisol se asocian con Luvisol, Regosol, Feozem y Leptosol, su distribución dependen mucho de las condiciones climáticas y la altitud. Los fluvisoles casi no están presentes dentro del municipio por que la erosión hídrica no es continua, lo que no propicia la formación de valles aluviales, los rios permanentes donde escurre el agua hacia los llanos y en los lechos de los ríos formando una vega.



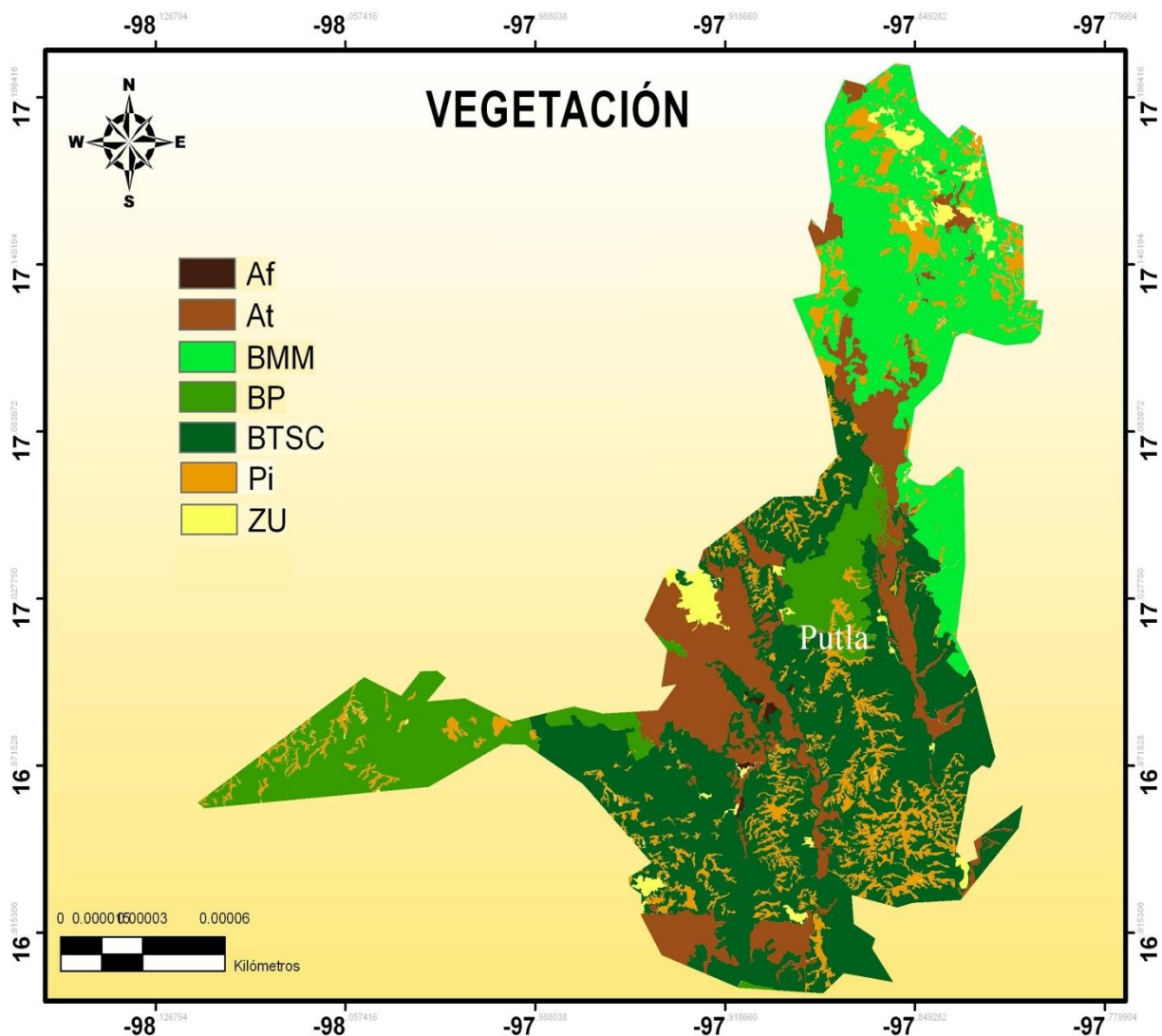
**Fig. 20** Porcentaje de suelos en el municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca, que sostienen los bosques tropical subcaducifolio, mesófilo de montaña y de pino.

Se elaboró el mapa de distribución del uso del suelo encontrando que el BTSC es el más ampliamente distribuido dentro del municipio (30 958 ha), seguido por el BMM (20 834 ha), BP (15 176 ha), At (11 213 ha), Pi (8428 ha), ZU (1690 ha), y la de menor distribución es el uso agroforestal con un 116 ha (Cuadro 27).

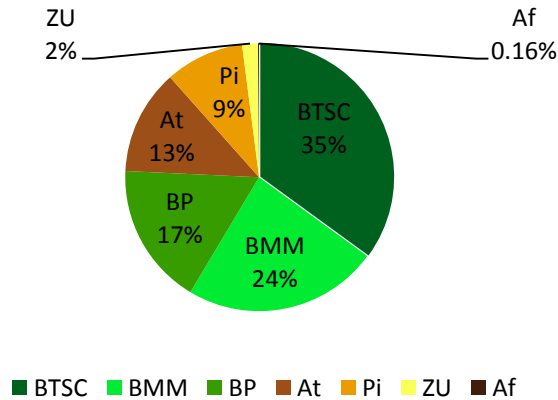
**Cuadro 27.** Áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación presentes en el municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca

Vegetación	Km <sup>2</sup>	Hectáreas
BTSC	309.58	30958
BMM	208.34	20834
BP	151.76	15176
At	112.13	11213
Pi	84.28	8428
ZU	16.9	1690
Af	1.16	116
TOTAL	884.15	88415

Las coberturas registradas como At, Af, Pi, ZU ocupan una superficie de 21 447 km<sup>2</sup>, representando el 24.27% del territorio municipal. En cuanto a los tres bosques estudiados se constituyen de siguiente forma, el tropical Subcaducifolio registro 309.58 km<sup>2</sup>, y equivale a un 35% del área total estudiada, los bosques de pino se distribuyen en 208.4 km<sup>2</sup>, cubren 17% del municipio, el mesófilo de montaña ocupa de superficie 208 km<sup>2</sup> equivalentes a un 24% del municipio, en total estos bosques ocupan un 75.73% de superficie municipal. Cabe resaltar que la vegetación se concibe como el mejor indicador del capital natural de una región. En este sentido, Putla es privilegiado y necesita buscar alternativas de uso y conservación conjuntas dentro de su estrategia de ordenamiento.

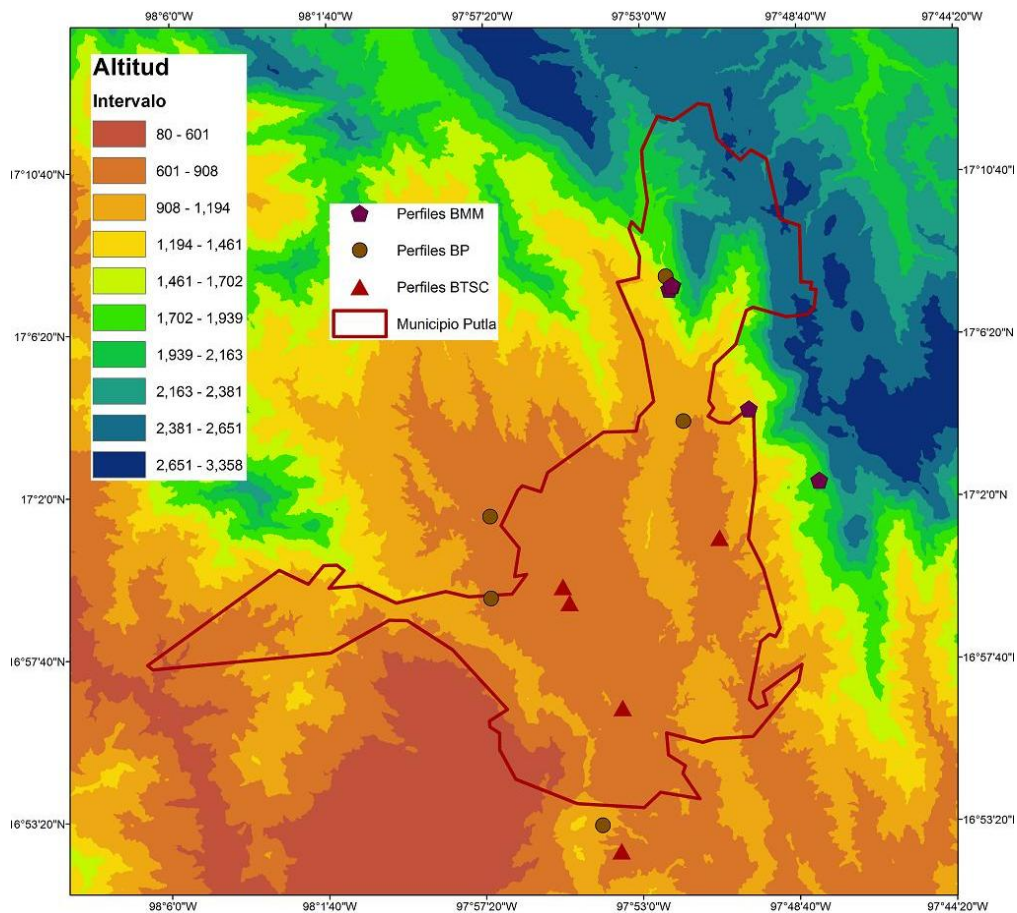


**Fig. 21** Mapa de uso del suelo del Municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca. Af: Agroforestal, At: Agricultura de Temporal, BMM: Bosque Mesófilo de Montaña, BP: Bosque de Pino, BTSC: Bosque Tropical Subcaducifolio, Pi: Pastizal Inducido, ZU: Zona Urbana.



**Fig. 22** Porcentajes de vegetación y uso del suelo. Af: Agroforestal, At: Agricultura de Temporal, BMM: Bosque Mesófilo de Montaña, BP: Bosque de Pino, BTSC: Bosque Tropical Subcaducifolio, Pi: Pastizal Inducido, ZU: Zona Urbana.

Es evidente que la distribución de la vegetación guarda una relación con la altitud, dado que los BMM se asocian con las mayores altitudes (1200 – 2200 m), por el contrario los BTSC se distribuyen en las altitudes más bajas (650 – 900 m) los bosques de Pino varían en su rango altitudinal (800-1850 m) de distribución ya que se mezclan con los BTSC y los BMM (Fig. 23).



**Fig. 23** Mapa de altitud del municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

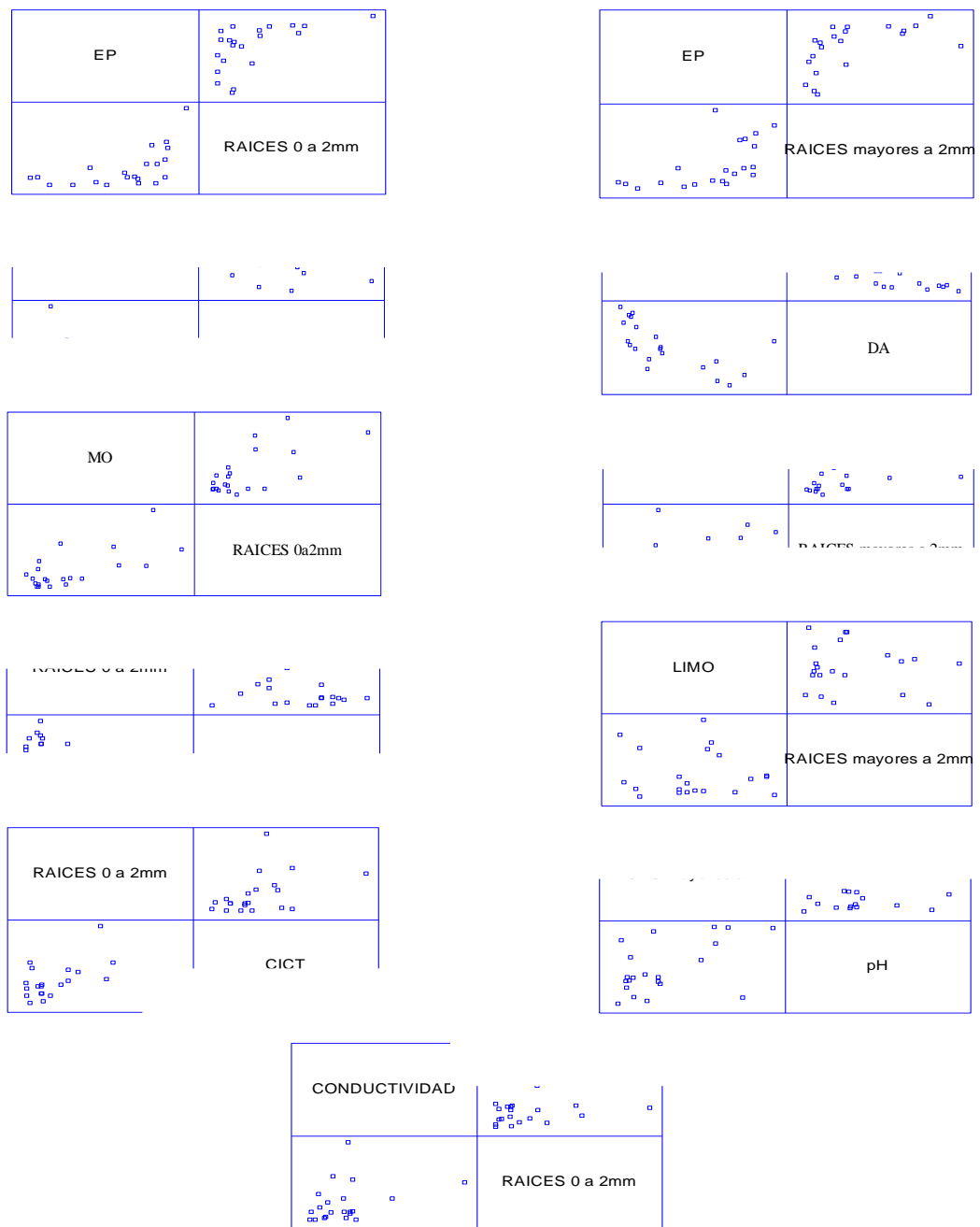
### Bosque Tropical Subcaducifolio

La propiedad del suelo que tiene mayor relación con la distribución de la vegetación del bosque tropical subcaducifolio, a través de su sistema radical, es la materia orgánica, que presenta correlaciones modestas según Fowler *et al.* (1998) tanto para raíces finas ( $p=0.6710$ ) como para raíces mayores a 2mm de diámetro ( $p=0.6720$ ). En este sentido, las propiedades que influyen dicha distribución, en orden de importancia son: Densidad Aparente, Espacio Poroso, Agua; las cuales, de igual manera, presentan correlaciones modestas.

**Cuadro 28.** Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces del Bosque Tropical Subcaducifolio

Variables correlacionadas		Pearson	P-value
AGUA	CICT	0.5676	0.0073
	CONDUCTIVIDAD	0.62	0.0027
	DA	-0.7475	0.0001
	EP	0.6838	0.0006
	MO	0.7109	0.0003
ARENA	LIMO	-0.874	0
	P	0.6583	0.0012
	pH	-0.5315	0.0132
CICT	CONDUCTIVIDAD	0.5632	0.0078
	DA	-0.4427	0.0445
	DR	-0.4675	0.0326
	MO	0.5022	0.0204
CONDUCTIVIDAD	DA	-0.6966	0.0005
	DR	-0.6464	0.0015
	EP	0.4849	0.0259
	MO	0.8138	0
	pH	0.527	0.0141
DA	DR	0.5905	0.0048
	EP	-0.8792	0
	MO	-0.8099	0
	N	-0.4568	0.0373
DR	MO	-0.6813	0.0007
EP	MO	0.6027	0.0038
LIMO	P	-0.5895	0.0049
	pH	0.455	0.0382
RAICES 0a2mm	AGUA	0.5552	0.009
	ARCILLA	-0.44	0.0459
	CICT	0.4535	0.0389
	CONDUCTIVIDAD	0.525	0.0145
	DA	-0.6591	0.0012
	EP	0.5737	0.0065
	MO	0.671	0.0009
RAICES mayores a 2mm	pH	0.5084	0.0186
	LIMO	0.672	0.0008
	EP	0.5716	0.0068
	DA	-0.6559	0.0012
	AGUA	0.4879	0.0249
	MO	0.6720	0.0008

DR: densidad real, DA: densidad aparente, E.P: espacio poroso pH: potencial hidrógeno, MO: materia orgánica, CICT: capacidad de intercambio catiónico total. P: fósforo. N: nitrógeno



**Fig. 24** Diagramas de dispersión del análisis de correlación de raíces del bosque tropical subcaducifolio

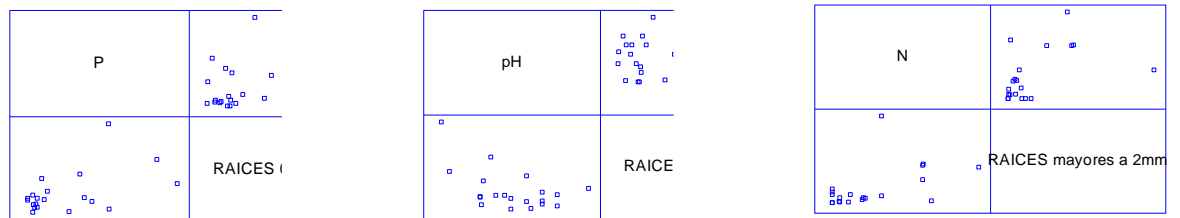
## Bosque de Pino

En el caso del bosque de pino, las propiedades del suelo se relacionan con las raíces mayores a 2mm. De esta forma el pH es la propiedad del suelo que tiene una relación mayor, su correlación es modesta de  $p=-0.5265$ , seguido del contenido de fósforo, el cual guarda una correlación modesta de 0.5027. Con respecto a las raíces mayores de 2 mm de diámetro, sólo se relacionan con el contenido de nitrógeno, la correlación es modesta de 0.4858.

**Cuadro 40.-** Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces del bosque de pino

Variables correlacionadas		Pearson	P-value
AGUA	CICT	0.5897	0.0062
	DA	-0.6088	0.0044
	MO	-0.4684	0.0373
	P	-0.5209	0.0185
ARCILLA	ARENA	-0.8827	0
	CONDUCTIVIDAD	0.5995	0.0052
	DA	-0.4607	0.0409
	MO	-0.6324	0.0028
ARENA	DA	0.4703	0.0364
	MO	0.6615	0.0015
	P	0.4561	0.0433
CICT	P	-0.6366	0.0025
DA	EP	-0.8957	0
	MO	0.5848	0.0068
	P	0.5527	0.0115
DR	EP	0.746	0.0002
EP	MO	-0.5133	0.0206
	P	-0.5786	0.0075
LIMO	N	-0.4566	0.043
MO	P	0.453	0.0449
RAICES 0a2mm	P	0.5027	0.0239
	pH	-0.5265	0.0171
RAICES mayores a 2mm	N	0.4858	0.0299

DR: densidad real, DA: densidad aparente, E.P: espacio poroso pH: potencial hidrógeno, MO: materia orgánica, CICT:



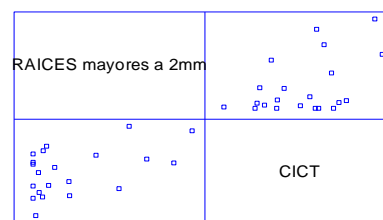
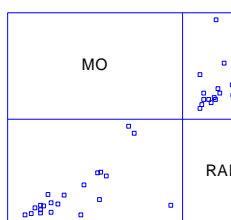
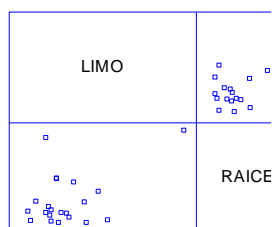


## Bosque mesófilo de montaña

La materia orgánica y el contenido de limo se relacionan modestamente con la distribución de raíces finas, con valores de  $p=0.6490$  y  $p=0.4767$ , respectivamente. En el caso de las raíces mayores a 2 mm de diámetro sólo se relaciona con la C.I.C.T, la intensidad es modesta con valor de  $p=0.4820$ .

**Cuadro 30.** Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces del bosque mesófilo de montaña

Variables correlacionadas		Pearson	P-value
AGUA	LIMO	0.5519	0.0095
ARCILLA	ARENA	-0.8592	0
	LIMO	-0.4777	0.0285
	MO	-0.544	0.0108
ARENA	MO	0.4669	0.0329
	N	0.535	0.0124
	pH	-0.5683	0.0072
CICT	DA	-0.5524	0.0094
	EP	0.4412	0.0453
CONDUCTIVIDAD	MO	0.5923	0.0047
DA	EP	-0.9617	0
	MO	-0.5884	0.005
	pH	0.5193	0.0158
DR	LIMO	-0.497	0.0219
EP	MO	0.5032	0.0201
RAICES 0a2mm	LIMO	0.4567	0.0374
	MO	0.649	0.0015
RAICES mayores a 2mm	CICT	0.7666	0.0001



En los tres tipos de vegetación se realizó el análisis de correlación con la finalidad de determinar las propiedades del suelo que más se relacionan con la cubierta vegetal, a través de su sistema radical. De esta manera, la materia orgánica tiene mayor influencia en la distribución de raíces, presenta correlación modesta con raíces finas,  $p=0.5462$  y una débil correlación con raíces mayores a 2 mm de diámetro,  $p=0.3944$ . Las relaciones con las raíces son en general de intensidad débil, a excepción de la densidad aparente, la cual presenta una correlación modesta con las raíces finas con valor de  $p=-0.4180$ .

**Cuadro 31.** Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo con las raíces de los bosques estudiados

Variables correlacionadas		Pearson	P-value
ARCILLA	ARENA	-0.7576	0
	MO	-0.3193	0.0114
	P	-0.2737	0.0314
ARENA	CICT	-0.2505	0.0496
	LIMO	-0.4592	0.0002
	MO	0.3504	0.0052
	P	0.4051	0.0011
CICT	pH	-0.2556	0.0449
	DA	-0.4685	0.0001
	EP	0.3599	0.0041
	MO	0.305	0.0159
CONDUCTIVIDAD	DA	-0.2913	0.0216
	MO	0.3191	0.0115
	pH	0.543	0
DA	EP	-0.9067	0
	MO	-0.4211	0.0007
	N	-0.255	0.0455
DR	EP	0.3853	0.002
	MO	-0.266	0.0367
	pH	-0.268	0.0352
EP	MO	0.2548	0.0457
	N	0.2727	0.032
LIMO	pH	0.4278	0.0005
MO	N	0.296	0.0195
RAICES 0a2mm	ARCILLA	-0.3273	0.0094
	CICT	0.2553	0.0452
	CONDUCTIVIDAD	0.3989	0.0013
	DA	-0.418	0.0007
	EP	0.2987	0.0183
	LIMO	0.2638	0.0383
	MO	0.5462	0
RAICES mayores a 2mm	P	0.2509	0.0491
	AGUA	0.2553	0.0452
	MO	0.3944	0.0015

DR: densidad real, DA: densidad aparente, E.P: espacio poroso pH: potencial hidrógeno, MO: materia orgánica, CICT: capacidad de intercambio catiónico total, P: fósforo, N: nitrógeno.

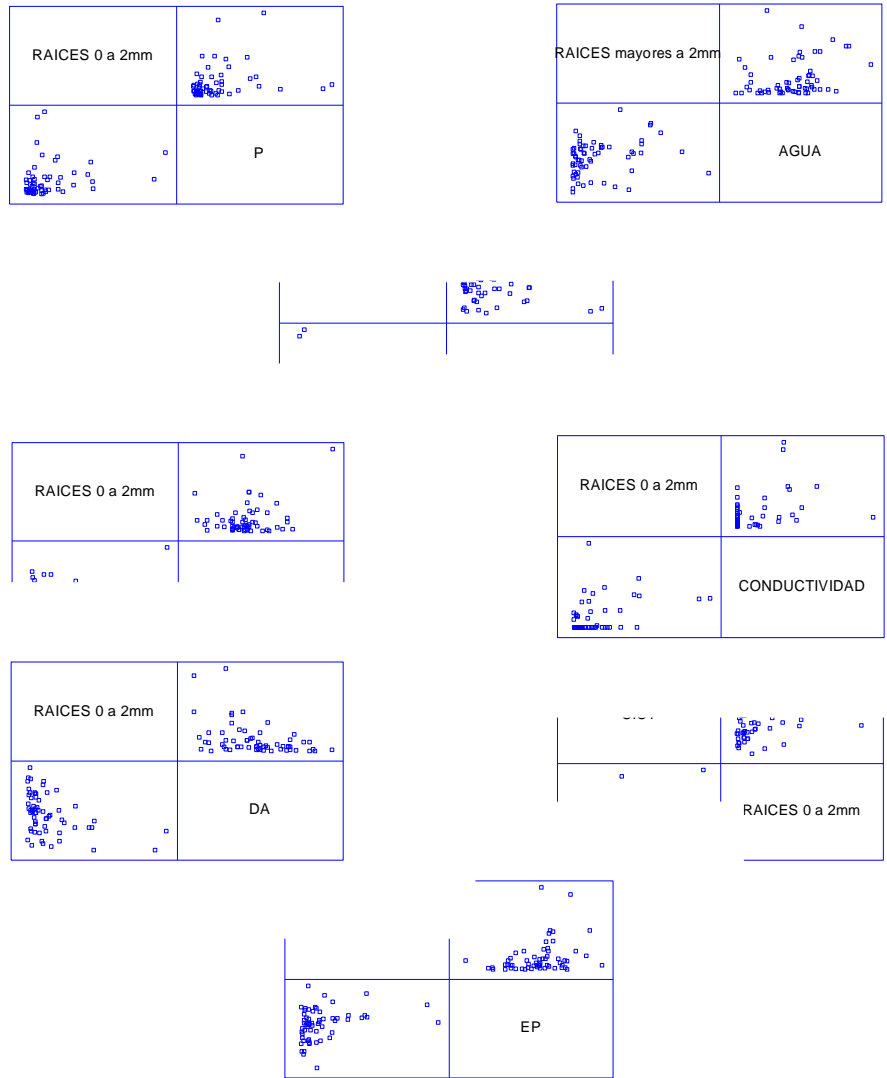


Fig. 27 Diagramas de dispersión del análisis de correlación entre raíces de los bosques tropical subcaducifolio, de pino y mesófilo de montaña y las propiedades físicas y químicas de los suelos muestreados.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Índices de Diversidad

El valor del índice de diversidad de Shannon es de 1.5 y 3.5, sólo raramente sobrepasa 4.5 (May, 1975) encima de 3.0 son típicamente interpretados como "diversos". Según Margalef (1972), si el índice se encuentra por debajo de 4.5 es del tipo logaritmo normal, se necesitaran cien mil especies para obtener un resultado mayor de 5.0. En este estudio los resultados del índice de Shannon para la diversidad de especies en función de las localidades de BTSC oscilan entre 2.80, en el caso de los BP se encontraron valores entre 2.57, y en los BMM 2.55. Lo que significa que la diversidad en las tres coberturas vegetales es alta, ya que los índices son muy cercanos a 3.0. Comparando con otros trabajos realizados en distintas comunidades vegetales, como el de Basáñez et al. (2008) quienes estudiaron la estructura arbórea en una selva mediana subperennifolia en el ejido el Remolino de Papantla, Veracruz, donde muestrearon dos áreas obteniendo valores de índice de Shannon de 1.99 (área 1) y 2.25 (área 2).

Por otra parte, se considera que una comunidad es más compleja, mientras mayor sea el número de especies que la compongan (más vías de flujo de energía en la cadena trófica), es decir, mientras menos dominancia presenten una o algunas especies en la comunidad (Franco *et al.*, 1998). Por tanto, el BMM es el tipo de vegetación más complejo, ya que tienen el mayor número de especies que la componen, pero el BTSC es el que presenta mayor homogeneidad en la dominancia de las especies esta característica se respalda en los valores del índice de Simpson.

Cruz *et al.*, (2006) estudiaron la micro cuenca "Las Flores" de Villa de Guadalupe del municipio de Huimanguillo, Tabasco; este bosque tropical presenta un índice de Shannon de 3.67, lo que significa que la diversidad de especie es muy alta en este ecosistema. Gallardo, (2005) describe la estructura, la composición florística y los patrones de diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, localizado en Nizanda en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México, encontrando valores para los índices de Simpson = 0.09; Shannon = 2.78; indican una alta diversidad y una consecuente baja dominancia en esta selva. Los tipos de vegetación estudiados presentan una diversidad semejante a la de las selvas bajas caducifolias de Nizanda en el Istmo de Tehuantepec aunque se trata de una composición florística diferente.

En un muestreo de diversidad del estrato arbóreo en el BMM en la reserva de la biosfera, el cielo en Tamaulipas, México (Corral *et al.*, 2002) calcularon los valores en dos parcelas de 2.45 y 2.32 para el índice de Shannon. Sánchez-Rodríguez *et al.* (2003) obtuvieron en parcelas trazadas en un BMM de Manantlán Jalisco índices de Shannon de 2.19, 2.76, 2.80, 2.67, 2.60, 2.50, 2.58, 2.91, finalmente, los valores de Simpson de 6.44, 10.78, 8.47, 9.77, 8.48, 8.10, 8.88, 12.36. Los índices de diversidad de los dos trabajos anteriores para los BMM, permiten concluir que las comunidades de bosque mesófilo de montaña del municipio de Putla, son más diversas.

Baca (2002) caracterizó la estructura de un bosque de pino-encino en el municipio San Pedro Garza García, en Monterrey, encontró para el índice de Shannon valores de 1.48, 1.38 y para el de Simpson 0.27 y 0.30, muy por debajo en comparación con los registrados en los bosques de pino del municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca.

El área de superficie de los bosques, Tropical Subcaducifolio, Mesófilo de Montaña y Pino, que en suma ocupan  $\frac{3}{4}$  (66968 Hectáreas) del área total (Figura 13). Se considera que el municipio estudiado tiene alta diversidad de especies arbóreas y arbustivas, confirmando que en zonas tropicales la riqueza en especies es alta y al mismo tiempo, estos bosques pueden tener cientos de especies arbóreas (Budowski, 1985). Los índices de diversidad nos permiten evaluar comparativamente los mecanismos de adaptación y estabilización de las comunidades a diferentes perturbaciones naturales y antrópicas (González-Megías *et al.*, 2007). Por, tanto podemos precisar con los índices de diversidad que las comunidades con más estabilidad son los BTSC seguidos por las de BP y BMM.

Los índices de diversidad, obtenidos para los tres bosques BTSC, BP, BMM (Cuadro 28,29,30) son altos, lo que indica que en esta área se concentra una alta diversidad de especies y se sugiere como una zona prioritaria de conservación. Esta propuesta está respaldada por González-Vázquez (2009) quien realizó la diversidad y estructura del BMM, del Cerro Pájaro, el cual está presente en nuestra área de estudio encontrando una alta diversidad de especies. Cabe señalar que esta cualidad puede explicarse por los patrones de diversidad vegetal que han sido descritos en diferentes escenarios de montaña, con importantes coincidencias. Al evaluar la diversidad alfa, grupos como las epífitas, helechos y aráceas presentan un pico en altitudes intermedias; pero en especies arbóreas la

evidencia indica que la riqueza se reduce al aumentar la altitud (Bruun *et al.*, 2006; Krömer *et al.*, 2007).

La información sobre distribución espacial sugiere que a partir de cierta altitud, la densidad (Wangda y Osawa, 2006) y la agregación aumentan en respuesta a la heterogeneidad topográfica (Dufour *et al.*, 2006). En este trabajo como se puede apreciar, la vegetación que se distribuye en las más bajas altitudes son los BTSC, seguidos por BP y a mayores altitudes se encuentran los BMM, mismo orden que tienen los valores promedio encontrados para la diversidad de especies. No existe un consenso sobre el mecanismo subyacente a los patrones de diversidad a lo largo de un gradiente de elevación, por tanto, se han definido de manera independiente diversos factores que estarían involucrados y que de algún modo operan en conjunto.

La riqueza en general guarda una estrecha relación con el régimen climático, especialmente con la precipitación y la temperatura (Cardelus *et al.*, 2006); dicha relación está dada en los bosques del municipio ya que las temperaturas más bajas se encuentran en los bosques Mesófilos y las más altas en los BTSC esta relación está dada con el factor precipitación, coincide con los índices de diversidad encontrados en este estudio, por otro lado, factores como la insolación y capacidad de retención de agua en el suelo definen diferencias en la diversidad beta. Estas dos variables, junto con la escorrentía están estrechamente relacionadas con la topografía (Balvanera *et al.*, 2002). La insolación no se puede medir pero se puede deducir que en los BMM, por la presencia de niebla tiene menos horas luz que en su contraparte BTSC y en cuanto a los bosques de pino, por su característica de contar con vegetación de árboles de hojas pequeñas y de distribución espaciada también tienen más horas luz. La cantidad de radiación solar que recibe un lugar depende en primera instancia de la altitud, además, la luz cambia dependiendo de la inclinación y la orientación de la ladera, el ángulo de la trayectoria solar y las condiciones meteorológicas (Canham, 1989). Las plantas que crecen en los claros están expuestas a una mayor intensidad de luz por periodos más largos que las que se encuentran bajo el dosel (Brown 1993). La niebla es la característica más distintiva del ambiente físico de los bosques nublados y posiblemente la de mayor repercusión en el desarrollo de las plantas de estos sitios, ya que modifica de manera importante el ambiente lumínico y la disponibilidad de agua para las plantas (Kappelle, 1996).

Es posible que la mayor riqueza favorezca la diversificación de los recursos ya que estos individuos tienen menor competencia intraespecífica, por lo que pueden canalizar más recursos que aquellos ensamblados donde conviven mayor número de árboles de la misma especie con requerimientos similares (Hooper y Vitousek, 1998; Tilman *et al.*, 1997).

### **Composición Florística y Valor de Importancia (VI)**

Dentro de los elementos que componen la estructura de un ecosistema forestal, los árboles son los más relevantes; las distintas especies presentan diferentes características morfológicas y dan lugar a diferentes estructuras. El diámetro medio, distribución diamétrica, altura, densidad y competencia entre individuos son importantes características de la estructura (Ferris-Kaan *et al.*, 1998). El valor de importancia (VI) está compuesto por la suma de la densidad, frecuencia, dominancia relativas, la agrupación de los valores de importancia por sitio de muestreo y por vegetación permite visualizar la dominancia de cada especie en las comunidades vegetales y en el área de estudio en general. Su máximo valor es de 300 e indica la importancia estructural de una especie en particular respecto a la comunidad florística muestreada (Stiling, 1999). Con más de 1500 individuos censados, 350 para el BTSC, 444 el BP y 708 correspondientes al BMM, en un área aproximada de 5152 m<sup>2</sup>, por tanto representación arbórea y arbustiva de los tres bosques del municipio de Putla, es robusta, comparada con trabajos como el de Ponce-Vargas (2006), ya que presenta más 1000 individuos por hectárea. Además, del análisis de VI para la flora descrita, se obtuvieron las cinco especies más dominantes de los bosques, las cuales son típicas de cada cobertura vegetal (Rzedowski, 1978).

En el caso del BTSC, se registró a *Hymenaea courbaril* como la especie de mayor distribución, está presente en todos los sitios muestreados, además, es la especie con valor de importancia más alto (36.04), seguida por *Dendropanax arboreus* (24.90), *Bursera simaruba* (18.98) y *Lacistema aggregatum* (18.04). En este sentido, Solano (1990) el describió, fisonómicamente los sitios del municipio señalado como dominantes a *Hymenaea courbaril*, *Ficus insípida*, *Bursera simaruba*, *Dendropanax arboreus*, *Andira inermis*, *Nectandra globosa*, *Rapanea jurgensenii*, *Guarea glabra*, *Somera arborescens*, *Ficus glabrata*, *Lacistema aggregatum*, *Genipa americana*, *Hirtella racemosa*, *Cordia alliodora*, *Cecropia obtusifolia*, *Bixa orellana* y *Calophyllum brasiliense*. A su vez, Torres Colín (2004) describe esta vegetación con árboles de *Hymenaea courbaril*, *Bursera simaruba*, *Curatella americana*, y *Byrsonima crassifolia*.

Con respecto a la composición florística de los bosques de pino, Torres-Colín (2004) menciona que varía según la región, pueden estar compuestos exclusivamente por especies del género *Pinus* o compartir hábitats con especies de los géneros *Quercus*, *Liquidambar* y *Alnus*. Ésta última característica se encontró en los sitios muestreados, estos géneros están bien representados, a *Byrsonima*, *Clidemia* y *Eupatorium*. Es importante señalar que el género *Pinus* es el dominante ecológico de la vegetación en general, sin embargo, encontramos que en cada sitio de muestreo la especie de éste es distinta, excepto por *P. teocote*, que se encuentra en dos sitios. Esto nos indica que la diversidad de este género dentro del municipio es alta.

Con respecto al BMM, Ponce-Vargas (2006) describió la composición florística de esta vegetación en el Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, encontrando dentro de sus componentes del estrato arbóreo y arbustivo a *Quercus germana*, *Quercus sartorii* y *Trophis mexicana*, *Clethra mexicana*, *Liquidambar macrophylla*, *Ostrya virginiana*, *Pinus greggii*, *P. pseudoestobus* y *Quercus eugeniifolia*. *Befaria laevis*, *Beilschmiedia mexicana*, *Carpinus caroliniana*, *Carya ovata* var. *mexicana*, *C. palmeri*, *Eugenia xalapensis*, *Inga huastecana*, *Ocotea helicterifolia*, *Prunus brachybotria*, *Quercus affinis*, *Q. castanea*, *Turpinia*, entre otros. Podemos ver la diferencia acentuada que existe entre especies de este estudio y el nuestro, sin embargo, hay géneros en común como *Quercus*, *Clethra*, *Liquidambar*, *Ostrya*, *Eugenia*.

Corral-Rivas *et al*, (2002) muestrearon el estrato arbóreo del BMM de la reserva de la biosfera "El cielo" Tamaulipas, México, donde *Liquidambar styraciflua* es la especie más importante con 30.65 % VI, en segundo lugar se encuentra *Quercus sartorii* con 13.55 %, que a pesar de ser superado en 7.55 % en densidad por *Ostrya Virginiana*, 12.54 %, de lo que se deduce que estas especies desempeñan un papel importante en la ecología de estos bosques, acompañadas por *Carya ovata*. Lo anterior ha sido observado también en trabajos de Puig y Bracho (1987), Briones (1991), Willians (1991) citados por Cavazos (2000).

En este trabajo las especies y sus valores de importancia más altos para el BMM son: *Roupala montana* 23.17, *Eugenia capulí* 20.09, *Saurauia scabrida* 18.80, *Zinowiewia concinna* 18.75, *Fraxinus dubia* 17.11. Esto contrasta con lo señalado por Ponce-Vargas y Corral (2006), sin embargo, Rzedowski (1978) y Acosta (2004), mencionan que El BMM es un tipo de vegetación



heterogéneo desde el punto de vista fisonómico y florístico, además, las especies dominantes varían ampliamente de un lugar a otro. En general, son bosques que presentan una distribución geográfica en forma de archipiélago, donde cada isla tiene una composición biótica característica, dependiendo de la altitud, latitud, humedad, clima y suelo propios de cada lugar. En este sentido, es importante señalar la baja similitud entre las comunidades muestreadas de este Bosque en Putla.

Las características distintivas de las comunidades naturales, se ven reflejadas en el grado de riqueza específica que poseen, de tal manera que una comunidad es más compleja cuando sea mayor el número de especies que la conforman y mientras menos dominancia presentan una o pocas especies con respecto a las demás Baca (2002). Bajo este contexto el BMM es el más complejo ya que cuenta con el mayor número de especies (46) y es el que presenta los más bajos y homogéneos valores de importancia, seguido por el bosque de pino y por último el BTSC el cual presenta, VI más altos y heterogéneos.

#### **Similitud de los sitios de muestreados**

Indudablemente cada uno de los cinco sitios de muestreo por bosque, representan variantes de un mismo tipo de vegetación, se consideran como unidades independientes debido a que su grado de similitud no supera 50%, considerado como umbral para agrupar comunidades (Barbour *et al.*, 1987) y menos aún 62.5% propuesto por Hagmeier y Stults (1964), ó 66.6% propuesto por Sánchez y López (1988) como valor crítico para la separación de floras. Por otra parte, estas entidades se consideran como unidades independientes con base en el criterio fisonómico-florístico aplicado en este trabajo (Rzedowski, 1978) para definir las unidades de vegetación, ya que las diferencias fisonómicas entre los tres bosques son perceptibles incluso en las fotografías aéreas. La poca similitud entre las áreas de estudio estuvo fuertemente asociada con la presencia-ausencia de especies, los resultados indican que se trata de bosques mixtos y heterogéneos.

La distribución espacial de las especies arbóreas podría ser el elemento clave que complementa el conjunto de variables que operan en la diversidad, ya que cada vez es más frecuente encontrar que la agregación de las especies está ligada a la heterogeneidad espacial y no a los simples patrones de dispersión y regeneración (Dufour *et al.*, 2006; Fontaine *et al.*, 2007), de tal modo que, si a menor altitud el ambiente es homogéneo. En efecto, al recorrer lugares de bosques neo-tropicales

alrededor del mundo, se ha encontrado que más de un 60% de su diversidad no se asocia a la variabilidad climática (Condit *et al.*, 2002); la distribución espacial dominante de las especies arbóreas es homogénea, (Hardy y Sonké, 2004), mientras hacia las cimas se registra que la variabilidad vertical y horizontal de algunas propiedades edáfico topográficas llega a explicar más de un 60% de la diversidad (Zhang *et al.*, 2006). La baja similitud entre bosques mesófilos también puede entenderse por su distribución geográfica en forma de archipiélago, donde cada isla tiene una composición biótica característica, dependiendo de la altitud, latitud, humedad, clima y suelo propios de cada lugar (Vargas-Ponce 2006), varían mucho las localidades en su composición, por otro lado el bosque de pino presenta una baja similitud, es importante resaltar que los pinos dependiendo de la especie se dispersan a cierta altitud y dada que esta vegetación es la que tiene más alto rango de dispersión hablando en el aspecto altitudinal dentro del municipio, esto concuerda lo escrito por Farjon y Styles (1997) quienes mencionan que los pinares de México son notables por la mezcla de varias especies que se desarrollan en el mismo lugar o en zonas cercanas, en Putla, se encuentran cuatro especies de 14 registradas para el estado de Oaxaca (Del Castillo *et al.*, 2004). Esta diversidad disminuye en lugares donde las condiciones son menos favorables para el desarrollo de los pinos, así que encontramos menos especies en zonas de bajas a muy altas altitudes y en localidades secas o muy húmedas, concentrándose en altitudes intermedias entre los BTSC y BMM. En cuanto a los bosques tropicales encontramos que es la vegetación con menos diversidad de especies, esto es resultado de los procesos geomorfológicos que han arrastrado y acumulado material hacia las partes bajas, suavizando la accidentalidad del terreno (Coltorti y Ollier, 2000); en ese sentido se espera que las zonas bajas tiendan a ser ambientalmente más homogéneas que las zonas altas, donde hay mayor exposición a la erosión y la capa de suelo es más delgada (Doležal y Šrůtek, 2002; Fontaine *et al.*, 2007).

Por otro lado podemos considerar que los efectos de la topografía son discretos frente al enorme impacto climático que impone la elevación (Zhang y Zhang, 2007); sin embargo, lo que realmente puede suceder es que los efectos de los dos componentes no son comparables a escala de paisaje porque la topografía está relacionada con la altitud (Fontaine *et al.*, 2007); esto explica que, sin valorar la escala espacial a la cual interactúan, ampliamente se acepte que juntos delimitan las diversas asociaciones florísticas de estos ecosistemas (Doležal y Šrůtek, 2002; Wang *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2006). Debido a estas características es que podemos entender la poca afinidad que

existen entre diferentes comunidades de un mismo tipo de vegetación. Puede decirse entonces que la variabilidad ambiental que determina los patrones de distribución y abundancia en ecosistemas de montaña tiene dos grandes componentes: La altitud y la topografía.

Generalmente, la riqueza de especies de árboles en bosques tropicales tiende a aumentar con la fertilidad del suelo (Givnish, 1999). Los suelos en las regiones tropicales presentan una variación espacial mayor que la sugerida previamente (Richter y Babbar, 1991). Esta variación controla directamente el establecimiento y crecimiento de las plantas. En bosques tropicales secos, la variación en vegetación y suelos puede ocurrir a escala de kilómetros (Oliveira-Filho *et al.*, 1998). También, las plantas influyen sobre el ciclo de nutrientes, afectando así la variación espacial de los suelos (González y Zak, 1994).

### **Propiedades edáficas y raíces**

La tasa de descomposición del mantillo guarda se relaciona con su calidad, misma que está determinada por el cociente C/N, temperatura, humedad y en general por la diversidad y composición de los residuos orgánicos aportados (Scott, 1998). Así, la calidad y cantidad de mantillo explican la diferente distribución de especies en cuanto a las tasas de mineralización neta del N, tamaño y distribución de los almacenes de C y N en el piso forestal (Smolander y Kitunen, 2002).

En los bosques muestreados se encontró que el horizonte Orgánico (O) tiene un espesor que varía de 3 a 15 cm. En el BTSC, el espesor promedio es de cinco cm, en BMM ocho cm, mientras que, en BP mide 12 cm. La diferencia en el BMM con respecto al BTSC, se explica por las menores temperaturas e intensidad de radiación solar que existe en el mesófilo, lo que provoca una baja tasa de descomposición y por ende, su acumulación como almacén de nutrientes y energía (Challenger, 1998). Además, la niebla y altitud juegan un papel importante en estos procesos (Bruijnzeel y Proctor, 1995; Bruijnzeel y Veneklaas, 1998; Acevedo *et al.*, 2003), ya que modifican la penetración de luz, tasas fotosintéticas, reducen la presión de vapor y temperatura, todo esto repercute también, en la distribución subterránea del sistema radical (Bruijnzeel y Proctor, 1995; Bruijnzeel y Veneklaas, 1998).

En adición a lo anterior, el viento, que aumenta con la altitud, es igualmente un factor importante en la modificación de las características del ambiente lumínico, provocando el desfronde (Bruijnzeel y Veneklaas, 1998; Aiba *et al.*, 2007) y una estratificación más clara con hojas más gruesas y de menor área (Velázquez-Rosas *et al.*, 2002). La marcada estacionalidad en fenología foliar de muchas de las especies da lugar a variaciones en la apertura del dosel a lo largo del año. Por su parte, Grive *et al.* (1990) mencionan la existencia de una heterogeneidad edáfica a lo largo de un gradiente altitudinal, donde al incrementarse la altitud se presentan aumentos en la cantidad de materia orgánica (relación C/N), y decrementos de las tasas de mineralización y nitrificación. Con base en esto, en el BP encontramos los horizontes "O" más gruesos y un subsuelo con mayor contenido de materia orgánica. Aunado a lo anterior, las hojas de los pinos, tienen una gran cantidad de lignina, esto provoca que sean bastante resistentes a la descomposición. Además, dichas hojas contienen resinas que inhiben la proliferación de poblaciones microbianas y por ende se reduce la tasa de mineralización, resultando en una mayor acumulación de mantillo (Doménech, 1995).

Caso contrario sucede en el BTSC, donde las tasas de descomposición son mayores, ya que parte de la composición vegetal corresponden a leguminosas, las cuales contienen altos contenidos de N, provocando así una baja relación C/N (Salamon *et al.*, 2003), muchas investigaciones han señalado que cuanto más bajo es la relación C/N la mineralización tiene lugar más rápidamente. Bautista y Delgado (2005) indican que la descomposición en los bosques tropicales es más rápida que en otras regiones, la vida media de la hojarasca es de sólo algunas semanas y como resultado, se tiene un rápido reciclaje de nutrimentos y una pobre acumulación de la materia orgánica. Por su parte, Thompson y Vitousek (1997), observaron que la disponibilidad de N limita la descomposición.

El nitrógeno disponible puede ser el principal limitante de la productividad de las plantas (Bautista-Cruz, 2003). Hagger *et al.*, 1993 mencionan que el N disponible no proviene de la reserva mineral del suelo, el 95% está en forma orgánica y la mayoría del restante como amonio, el cual es retenido dentro de estructuras entrelazadas de los minerales arcillosos. Así, las principales formas de nitrógeno que las plantas absorben son los iones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). La mayoría de las plantas, excepto las adaptadas a suelos ácidos, crecen muy bien cuando son abastecidas con nitratos (Aciego y Brookes, 2008) aunque sea la forma amoniaca la primera fuente de N que se libera de la materia orgánica, tanto por actividad microbiana o enzimática. El efecto de cada especie

vegetal en la dinámica de nutrientes depende de las características del suelo y del nutriente que se trate (Døckersmith *et al.*, 1999).

De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, los niveles de nitrógeno total en los suelos de los BTSC son de bajo, 0.05-0.10 %, a muy bajo, < 0.05 %. En los bosques de pino se encontraron valores desde muy bajos, <0.05, a altos, 0.15- 0.25%. En cuanto a los BMM, los niveles de nitrógeno varían de muy bajo (<0.05 %) y alto (0.15-0.25 %), esta fue la cobertura vegetal con mayor contenido de este nutriente. Los valores de Nt se han situado de forma general entre 0,1 y 0,4%. A este respecto, Fassbender y Bornemisza (1987), mencionan que el contenido de Nt en los suelos tropicales presenta un amplio rango de variación, situándose los valores entre 0.02–0.4%. Por otra parte, Wilcke *et al.* (2002), mencionan que en los bosques tropicales, la materia orgánica del suelo contiene la mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas, estando muy vinculada la disponibilidad de N y P de la capa orgánica con la tasa de mineralización, ya que la mayor parte de los nutrientes se encuentran formando parte de la biomasa y sólo una pequeña parte en el suelo. De esta manera, al ser removidos los nutrientes del suelo, ya sea por lixiviación o por incorporación a la planta, un suelo fértil debe tener la capacidad para reponer lo que se ha perdido de la solución (Comerford, 1999).

En el BMM se encontró el porcentaje más alto de N. Estas comunidades presentan especies de la familia Fabaceae (*Calliandra houstoniana*), las cuales modifican localmente de manera significativa el suelo, permiten el desarrollo de micorrizas y mejoran las condiciones de disponibilidad de nutrientes, particularmente el nitrógeno (Camargo y Dhillion, 2003). Por otro lado, es la vegetación con más acumulación de hojarasca y se puede aportar una cantidad mayor de este nutriente (Madritch y Cardinale, 2007).

Con respecto a la MO y tomando en cuenta los valores promedio de cada sitio (cuadros 18 a 20), la NOM-021-RECNAT-2000 indica que en los suelos del BTSC existe un porcentaje de bajo (0.6 a 1.5) a medio (1.6 a 3.5), coincidiendo Iñiguez (1996) para estos bosques. En el caso del BMM, la norma señala de medio a alto (3.6 a 6) el contenido de este recurso edáfico y lo mismo para el BP, valores entre medios y altos. Por su parte, Molina (2002) menciona que los suelos en general, con menos de 2% de materia orgánica tienen bajo contenido, de 2 a 5% es medio, considerando como alto arriba de 5%. Así mismo, el variograma 1 indica a las zonas periféricas del municipio de Putla como las de

mayor porcentaje de MO (valores promedio). Observando así, que corresponden a los bosques de pino, mesófilo y comparando con el mapa 8, observamos que el mayor contenido de la MO corresponde a los sitios más altos.

En cuanto al fósforo, el valor máximo obtenido ( $4.37 \text{ mg kg}^{-1}$ ) se encuentra en el sitio San Miguel Reyes, BTSC, siendo la vegetación con más cantidad de este nutrimento. Caso contrario en BP, donde se encontró que este bosque presenta los menores contenidos de dicho elemento, sus valores oscilan de  $0.118 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $2.11 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para el BMM se registraron valores intermedios que van de  $0.012$  a  $2.78 \text{ mg kg}^{-1}$ . La NOM-021-RECNAT-2000 indica que cantidades inferiores a  $15 \text{ mg kg}^{-1}$ , analizados por el método Bray y Kurtz, son suelos con bajo contenido de este elemento. Así mismo, Bautista-Cruz y Del Castillo (2003), Negrete-Yankelevich *et al.* (2007), Geissert e Ibáñez (2008) indicaron que los niveles bajos de P son típicos de los bosques tropicales y bosques de niebla. Al respecto, Olander y Vitousek (2005), señalaron que los bosques tropicales maduros son generalmente productivos sin el suministro substancial de fósforo, sugiriendo que la biota del bosque tiene una demanda baja de este nutrimento o de otro modo ellos compiten más efectivamente por este elemento, el cual, tiende a ser secuestrado en la vegetación y en la materia orgánica sin descomponer (Negrete-Yankelevich *et al.*, 2007) ya que la transformación de las formas orgánicas (Po) e inorgánicas (Pi) están estrechamente relacionadas. Si bien, las plantas absorben Pi, el Po lo utilizan como un reservorio de P disponible para la vegetación, a diferencia del nitrógeno el cual es reciclado casi exclusivamente vía materia orgánica, el Pi presenta una concentración mineral que es cuantitativamente tan importante como la orgánica, formando parte de los minerales y rocas del suelo (Gallardo, 2003).

Las mayores cantidades de fósforo se encuentran en los sitios San Miguel Reyes (BTSC sitio 5), Tierra Colorada (BP sitio 5), Cerro Pájaro 3 (BMM sitio 5), probablemente debido a su estado de conservación, con un mayor número de individuos y especies vegetales, las cuales reincorporan compuestos orgánicos de este nutrimento a través de la hojarasca de diferente calidad y cantidad (Pinochet *et al.*, 2001). De Brouwere *et al.* (2003) sugieren que la variación de fracciones de fósforo en diferentes tipos de suelo puede atribuirse a una combinación de factores incluyendo material parental, cobertura vegetal, condiciones climáticas y actividad microbiana.

En el caso de la textura, contrasta ampliamente entre los tres bosques, encontrando en las comunidades de BP los contenidos más altos de arcilla. En contra parte, el BTSC tiene el porcentaje de arcilla más bajo, observando que es inversamente proporcional al de arena, es decir, que a menor arcilla mayor cantidad de arena, por lo tanto, los suelos que sostienen al BTSC son más arenosos. Con respecto al BMM, se pueden observar valores muy variados, por ejemplo, en el perfil 2, están los valores más altos de arena y por ende, los más bajos de arcilla.

Flamand, (1995) señala que la textura está íntimamente relacionada con la composición mineral, el área superficial específica y el espacio de poros del suelo. Además, tiene influencia sobre el movimiento y disponibilidad del agua del suelo, aireación, nutrimentos y la resistencia a la penetración por las raíces. En este contexto, el BMM es el que presenta las condiciones más favorables para esta propiedad a la que se suman la DA y EP.

En los BMM existe la mayor diferenciación de horizontes con respecto a los del BP y BTSC, la cual está dada por los procesos de translocación de materiales, en su mayoría arcilla, los cuales afectan la infiltración, almacenamiento, flujo lateral y percolación del agua del suelo (Blanco y Lal, 2008). Este enriquecimiento de arcilla origina el horizonte Bt, lo que implica, un horizonte A con espesor mayor a 30 cm, regularmente subdividido en horizonte A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y en algunos casos A<sub>3</sub>.

Tomando en cuenta los valores de DA, la NOM-021-RECNAT-2000 indica que suelos arcillosos oscilan entre 1.00 y 1.19 g cm<sup>-3</sup>, los arenosos están por encima de 1.32 g cm<sup>-3</sup> y los limosos (francos) son de 1.20 a 1.32 g cm<sup>-3</sup>. Por lo tanto, todos los suelos muestreados se consideran arcillosos. Estos valores coinciden con los propuestos por Amézquita y Navas (1993), quienes mencionan que los suelos arenosos se encuentran dentro de los rangos 1,2 a 1,8 g cm<sup>-3</sup> y que los arcillosos son de 1,0 a 1,6 g cm<sup>-3</sup>, concluyendo que, valores bajos de densidad aparente son indicadores de la baja compactación que existe, con ello, un alto contenido de espacio poroso, favoreciendo la relación aire-agua que es determinante en el crecimiento de las comunidades vegetales (FAO, 2000).

Podemos observar que la porosidad del suelo tiene un patrón común de las tres coberturas vegetales, dado que disminuye a medida que la profundidad es mayor. Se encontró una mayor porosidad en los suelos del BMM, mientras que la menor se tiene en el BP. Tanto para la densidad

real (DR) y la densidad aparente (DA), incrementan con la profundidad y los valores cambian dependiendo del tipo de vegetación, en orden decreciente BP>BTSC>BMM.

Hofstede (1997) mencionó que cuando el suelo es poroso, con buena cobertura vegetal y alto contenido de materia orgánica, puede retener grandes cantidades de agua, la cual, disuelve los materiales solubles, propicia el crecimiento de las plantas y de otros organismos que contribuyen con sus aportes de materia orgánica al enriquecimiento del suelo; transporta materiales de una parte del suelo a otra (Barrios 1984). La cantidad de retención de humedad disminuye de acuerdo con la profundidad en los tres bosques, de los cuales el BMM presenta la más baja, de 35.1 %, seguido por los BP con 37.3 % y los de mayor retención son los BTSC, con un 45.0 %.

El Color del suelo refleja la condición de drenaje, aireación, porosidad, propiedades fisicoquímicas de la relación suelo-planta; indica las proporciones y clases de minerales (Aguilera, 1989). El suelo más oscuro (5 YR 4/6) se encuentra en el BTSC, correspondiente a Fluvisol. En ese sentido, le siguen (5 YR 5/3 a 7.5 YR 5/4), los luvisoles del BP, BMM y BTSC; los más claros (10YR7/6), en los regosoles, que se distribuyen en BTSC y BP. Los colores de los cambisoles que solo se distribuyen en los BMM son los intermedios. Con respecto a la conductividad eléctrica, ésta disminuye su valor conforme aumenta la profundidad. En el BMM hay un incremento entre los 80 y 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 entre estas comunidades. La NOM-021-RECNAT-2000 indica que todos los suelos de la zona de estudiada tienen efectos despreciables de salinidad (valores menores a 1 dS m<sup>-1</sup>).

La CICT es una propiedad íntimamente relacionada con la fertilidad y nutrición de las plantas, depende del contenido y naturaleza de las arcillas y MO. Los cationes se liberan a la solución del suelo para ser absorbidos por las raíces. Las posibles limitaciones en el desarrollo de la vegetación se deben a la presencia y disponibilidad de nutrimentos (García-Miragaya, 1994). De este modo es explicable por que los valores mayores de CICT se registraron en los primeros 30 cm de las tres coberturas vegetales, donde disminuye gradualmente para incrementar nuevamente de los 70 cm en adelante, es decir, en el horizonte B de acumulación de arcilla y humus.



En general, los intervalos de variación de la CICT para los suelos del BMM van de 20-25 Cmolc kg<sup>-1</sup>, siendo el que tiene mayor CICT debido a que el pH tiende a la neutralidad favoreciendo la formación de humus. Mientras que para los suelos de BTSC varían de 12.5-18 Cmolc kg<sup>-1</sup>. En BP los valores son intermedios a los anteriores y fluctúan de 15-19 Cmolc kg<sup>-1</sup>. (Anexo 1a, 1b, 1c) también la baja CICT en los BP se debe al pH ácido, condiciones bajo las cuales la carga variable hace disminuir los sitios de intercambio (Bohn, 1993). La capacidad de intercambio catiónico (CICT) difiere dependiendo de la cobertura vegetal en orden decreciente BMM>BP>BTSC. La NOM-021-RECNAT-2000 considera que la reserva nutrimental es abundante cuando la CIC es mayor de 25 Cmolc kg<sup>-1</sup> de suelo. Esta característica sólo se puede apreciar, según valores promedio de los cuadros 19 y 20, en los sitios del Carrizal y Cerro Pájaro (3) de los BP y BMM, respectivamente.

Con respecto al pH los suelos del BP son más ácidos, con un valor de 4.7, en los de BTSC su pH es de 5.3 y en el BMM tiende a neutro, con un pH de 6.0, también se observa 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, los valores se incrementan con la profundidad. La gran mayoría de los suelos tropicales presentan pH ácidos determinados por fenómenos de lixiviación intensa como consecuencia de las altas precipitaciones (Alves y Paz, 2003).

La relación entre las plantas y el pH del suelo es en realidad una interacción como en el caso del bosque pino, en el que las hojas de los árboles se caracterizan por la presencia de polifenoles y taninos que cuando caen, se descomponen, penetran en el terreno acidificándolo (Kraus *et al.*, 2004). En este sentido, el grado de pH influye sobre las plantas y biota del subsuelo, ya que hay especies que requieren de condiciones cercanas a la neutralidad para poder establecerse en una comunidad (Molina, 2002); por otro lado, el pH está influido a su vez por la fauna de suelo. En el caso de los BTSC la baja acidez se explica por la composición nutrimental de los residuos vegetales que conforman el mantillo y la rápida mineralización que tiene lugar (Towsend *et al.*, 1995). En el caso del BMM que tienen suelos cercanos a la neutralidad se debe a dos razones: la primera al igual que los BTSC se debe a la composición nutrimental, debido a que cada especie vegetal tiene cantidades distintas de los mismos en sus tejidos, los cuales se liberan en el suelo vía mineralización

(Yi *et al.*, 2007) y la segunda, por el material geológico calcáreo que da origen a los suelos de esta cobertura vegetal.

De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, los valores de pH para el BTSC se consideran de fuerte (<5) a moderadamente ácidos (5.1 a 6.5), en el caso del BMM son de fuertemente ácidos a neutro (6.6 a 7.3) y para el BP se señalan como fuertemente ácidos. Bautista-Cruz *et al.*, 2003 mencionaron que cuando esta propiedad es baja, los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg están poco disponibles para las plantas y podrían constituirse como factores limitantes en el ecosistema (Montagnini y Jordan, 2002). De este modo, los BMM son los que tienen mayores concentraciones de nitrógeno y valores de pH cercanos a la neutralidad. En contra parte, los BP así como los BTSC, tienen suelos más ácidos, con menor cantidad de este nutrimento respecto al mesófilo. Por otro lado, la cantidad de materia orgánica, con el descenso del pH, refleja cambios en la distribución de los nutrimentos (Matus *et al.*, 2008). A su vez, Bruijnzeel y Proctor (1995) señalaron que la acidez es común en la mayoría de los bosques tropicales y de sus etapas sucesionales, así como, la escasa concentración de cationes básicos intercambiables y de P extraíble, debido al lavado constante de que son objeto por la alta precipitación y esorrentía. Bruijnzeel y Veneklaas (1998) han sugerido que la acidez está relacionada también con la baja descomposición y acumulación de MO que ocurren en los suelos de estos bosques.

Con base en lo comentado en los párrafos anteriormente, observamos que las propiedades del suelo que determinan el tipo de vegetación son los nutrimentos (MO, N y P) y al pH. De acuerdo al análisis de correlación realizado para las tres coberturas vegetales, encontramos que la MO es la propiedad que más influye sobre las otras características del suelo, presenta en total ocho relaciones, de las cuales siete son débiles, de forma negativa con arcilla, densidad real, espacio poroso, y positiva con arena, capacidad de intercambio catiónico, conductividad y nitrógeno; la restante con una intensidad modesta de forma positiva con densidad aparente. Reeves (1997) mencionó que la materia orgánica incluye una amplia gama de compuestos de carbono originalmente creados por las plantas, microorganismos, y otros organismos, ayuda al mantenimiento de la fertilidad del suelo y juega una variedad de papeles en los ciclos biológicos, nutrimentos. Esto coincide con lo expuesto por Wienhold (2005), quien señaló que esta propiedad genera cambios en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo debido a que facilita e incrementa, el intercambio catiónico, capacidad

de retención de agua, el pH, mejora la estructura del suelo y modifica la actividad microbiana. Además, puede también influenciar en la fijación de nutrientes y consecuentemente decrecer su biodisponibilidad. Por su parte, Rojas (1993) concluyó que el pH es una de las propiedades fisicoquímicas más importantes de los suelos; de él depende en gran parte la disponibilidad de nutrientes para las plantas, no sólo porque determina su solubilidad, sino, porque controla el tipo de actividad biológica y por lo tanto la solubilidad de la materia orgánica. Sin embargo, el análisis de correlación indica que esta característica edáfica sólo se relaciona débilmente con arena, densidad real de forma negativa y modestamente con limo y conductividad de forma positiva.

Las raíces tienen como función proporcionar agua, nutrientes, anclaje y soporte a la parte aérea de la planta, siendo el principal elemento en la relación suelo-vegetación (Flores-Vindas, 1999). El sistema radical de las especies dominantes controla a través de la excreción de compuestos, la comunidad microbiana en la rizósfera (Nardi, *et al.*, 2000). Con base en ello, se plantea que la rizosfera, está estrechamente vinculada a la dinámica de transformación de la materia orgánica aportada por el dosel de la vegetación y que el sistema radical es determinante en el mantenimiento y composición de las poblaciones microbianas responsables de mantener los ciclos biogeoquímicos a través de la mineralización del mantillo y de los residuos orgánicos producto del metabolismo del sistema radical.

Se ha encontrado que las especies dominantes tienen un mayor impacto sobre la circulación de la materia y flujo de energía en el suelo a través de la materia orgánica que aportan al piso forestal (Madritch y Cardinale, 2007). Además, la profundidad es un factor limitante de la disponibilidad de agua y nutrientes, y con ello, el desarrollo de las raíces. Los suelos superficiales tienen menor volumen disponible para estos recursos; también pueden ser susceptibles a la erosión, la infiltración del agua es restringida a causa del substrato rocoso (FAO, 2000). En este sentido, de acuerdo a la profundidad, podemos ver que las profundidades oscilan entre 111 y 133 cm, siendo los suelos del BMM los más profundos, seguido por el BP y por último el BTSC.

Las raíces fijan y estabilizan las plantas en el suelo; toman agua y nutrientes para satisfacer las demandas de la planta; almacenan alimento para crecimiento posterior, y excretan sustancias en el suelo que estimulan la actividad microbiana alrededor de las raíces, las más finas son las que

exploran el suelo para buscar agua y nutrimentos (Escamilla *et. al*, 1999). En este sentido, en los bosques mesófilos de montaña las raíces muy finas (0-2 mm) se distribuyen hasta los 120 cm, mientras que, en los de pino esencialmente se les localiza hasta los 90 cm y en el BTSC este tipo de raíces alcanzan una profundidad intermedia comparado a los dos primeros tipos de vegetación.

Esta diferencia puede ser causada por la humedad, ya que en los BTSC del municipio, Solano (1990) reporta que las hojas de esta vegetación suele permanecer sin caer un periodo más amplio, dada la existencia de los ríos cercanos a esta vegetación, aportando así la humedad necesaria para sostener la vegetación y por ende, las raíces no necesitan buscar agua a grandes profundidades. Además, los suelos del BTSC son los que presentan menor profundidad a lo largo de los cinco perfiles que van de 80 a 120 cm, en cambio, los del bosque mesófilo tienen menor humedad y las mayores profundidades que pueden llegar hasta 160 cm. En adición a esto, el análisis de correlación, indica que en el BTSC es el único donde existe una relación de las raíces con la humedad edáfica, según Fowler *et al.* (1998), están modestamente correlacionadas tanto para las muy finas (0-2mm), como para las finas a gruesas (>2mm).

Es importante mencionar que en los BMM existe una marcada estacionalidad (noviembre-mayo) influyendo en la disminución de humedad y nutrimentos, a partir de estos cambios, parte del sistema radical fino muere, la caída parcial del follaje tiene lugar y el metabolismo de la planta se reduce para activarse cíclicamente año con año, esto concuerda con lo reportado por Zhou & Shangguan (2007), también mencionan que existe una disminución en la tasa de crecimiento radicular a medida que se desarrolla un déficit hídrico en las plantas. Por otro lado, los BMM tienden a eliminar gran parte de este sistema radical, la descomposición de esta, incrementa la porosidad en relación proporcional a su densidad aparente en el suelo y como consecuencia el transporte de oxígeno, se satisfacen los requerimientos del metabolismo fisiológico, de la alta densidad de las raíces (Xie *et al.*, 2008). En el caso de BP, la mayor cantidad de raíces, aproximadamente el 70% se encuentra dentro de los 75 a 110 cm, tanto para raíces de 0-1 mm de diámetro como para las de 1-2 mm. El 80% de las raíces con diámetro 2-3 mm están distribuidas de los 65 a 110 cm; sin embargo, cada especie vegetal puede tener una respuesta distinta en el crecimiento y distribución de su sistema radical con respecto a sus necesidades de requerimientos para su crecimiento (Wijesinghe *et al.*, 2001).

En BTSC las raíces muy finas exploran el suelo generalmente hasta la profundidad de un metro, las raíces finas a gruesas se distribuyen hasta la profundidad aproximada de 70-80 cm y son más abundantes entre 0-40 cm. También esta cobertura vegetal es la que presenta las raíces gruesas más largas, en este sentido, Ehleringer and Dawson (1992), mencionan que una raíz larga principal posibilita a las plantas para acceder a la humedad profunda en el suelo, permitiendo el mantenimiento de procesos fisiológicos durante largos periodos de sequía. En resumen, las raíces muy finas exploran el suelo hasta los 120 cm, en cambio las raíces finas a gruesas están presentes hasta un metro de profundidad, a partir de donde disminuyen gradualmente.

En los bosques de pino, la distribución de las raíces a lo largo del perfil se presenta hasta 90 cm en promedio. Las raíces finas a gruesas muestran un aumento entre los 40 y 70 cm de profundidad, esto coincide con la disponibilidad de recursos que existe en el horizonte B. De manera que sólo el pH, según el análisis de correlación, es la propiedad edáfica que limita el crecimiento y arquitectura del sistema radical, siendo una relación modesta (Fowler *et al.*, 1998). Caso contrario con los nutrimentos, N y P, el desarrollo de las raíces es directamente proporcional, es decir, cuanto mayor contenido de ellos, mayor será su cantidad. La correlación es modesta tanto para las raíces muy finas con P, como para las mayores a 2 mm de diámetro con la disponibilidad de N. Por otro lado, es preciso comentar que a lo largo de los perfiles de BP las propiedades no varían mucho, es decir, existen condiciones adecuadas para el crecimiento y distribución del sistema a lo largo del perfil.

Una alta densidad de raíces puede proporcionar una interfase-atmósfera que incrementa la difusión de oxígeno en el suelo (Mainiero y Kazda, 2004). Con base en ello, es mayor en los suelos del BMM. En la naturaleza, cuando los factores limitantes son agua o nutrimentos y no la luz, existe un aumento en la biomasa de raíces a expensas de una disminución en la biomasa del vástago. Por lo tanto, el tipo de vegetaciones más abiertas como es el caso del Bosque de Pino, presenta una mayor asignación a raíces, mientras que las de sitios cerrados asignan una mayor cantidad de biomasa al vástago, sin embargo en ecosistemas de climas secos, se ha encontrado que la biomasa de raíces es mayor que de bosques húmedos (Murphy y Lugo, 1986).

En suelos donde la disponibilidad de nutrimentos es escasa, existe una alta competencia entre las especies vegetales, por ello las raíces de mayor longitud son muy importantes, incrementan su explotación en más volumen de suelo. En suelos con climas secos, los sistemas de raíces profundas

son el único mecanismo de extraer los nutrientes que se encuentran lixiviados profundamente en el subsuelo. Con base en lo anterior, el subsuelo es probablemente más importante en la nutrición de los árboles y arbustos que para las herbáceas (Ewel, 1986). Las especies arbóreas y arbustivas dominantes tienden a tener un crecimiento de distintos órganos para así lograr un aprovechamiento de recursos, en el bosque de pino las raíces gruesas dominan y la humedad es baja, por tanto, las plantas suelen cerrar sus estomas para reducir la conductancia estomatal, evitando la transpiración y difusión de CO<sub>2</sub>, el resultado es una menor cantidad de C disponible para la planta que reduce la producción de raíces a medida que la humedad disminuye (Williams *et al.*, 2003). Por otro lado, cabe destacar que en esta vegetación los cambios de pH coinciden con la distribución radical, siendo mayor en pH de 3.8 a 5.

Encontramos los suelos más profundos bajo la cubierta vegetal de los BMM y estos mismos tienen la mayor distribución radical hasta 120 cm. Como se ha mencionado, la niebla es la característica más distintiva del ambiente físico de los bosques nublados y posiblemente la de mayor repercusión en el desarrollo de las plantas de estos sitios, ya que modifica de manera importante el ambiente lumínico y la disponibilidad de agua (Kappelle, 1996). La niebla reduce la intensidad de la radiación solar incidente, también reduce el déficit de presión de vapor y la temperatura, disminuyendo a su vez las tasas fotosintéticas (Bruijnzeel y Proctor, 1995; Bruijnzeel y Veneklaas, 1998). Debido a las bajas temperaturas, la descomposición de la materia orgánica en los suelos es lenta, provocando muchas veces la acumulación de una capa profunda de humus que limita fuertemente el crecimiento de las raíces (Bruijnzeel y Veneklaas, 1998). En este sentido, podemos decir que en el periodo de lluvias, Junio a Noviembre, las raíces incrementan su metabolismo y crecen a lo largo del suelo de manera que puedan aprovechar todos los recursos, sirviendo como reservorio para la temporada de sequía.

En el sitio cinco de esta vegetación (Cerro Pájaro 3) muestreado, durante la época seca, se encontró el sistema radical más corto (50 a 60 cm) contrastando con los sitios dos (Cerro Pájaro 1) y cuatro (Cerro Pájaro 2), que fueron realizados aproximadamente al inicio y término del periodo de lluvias, donde podemos ver la distribución radical superior a los 140 cm de profundidad. Con respecto al análisis de correlación, en este bosque existe relaciones modestas de las raíces muy finas con los contenidos de Limo y MO, en el caso de las finas a gruesas se correlacionan fuertemente con CICT.

Otro factor limitante para la distribución del sistema radical es la disponibilidad del O<sub>2</sub> (Sorell *et al.*, 2000), en este sentido, el BP es, por su alta densidad y compactación, el más limitado en el intercambio de gases, lo que tienen como consecuencia una baja longitud radical, además, existen más raíces gruesas que finas. El sistema radical en cada uno de los bosques tiene un comportamiento específico lo cual responde a mecanismos de adaptación de cada especie para su establecimiento en cada cobertura, tanto por los suelos que los sostienen como de los nutrientes y contenidos de humedad necesarios para su crecimiento.

El desplazamiento de las partículas del suelo es una forma en como las raíces modifican las propiedades físicas del suelo, y especies de plantas con un gran diámetro de raíces tienden a ser capaces de penetrar zonas del suelo con resistencia (Materchera, *et al.*, 1992). Por tanto podemos decir a que el crecimiento del sistema radical está influenciado por la disponibilidad de oxígeno, compactación, humedad y alta densidad del suelo (Chenk, 2005), existen mejores condiciones para el crecimiento del sistema radical en los BMM seguidos por el BTSC y por último el BP.

De acuerdo al análisis estadístico, para los tres tipos de vegetación, existe una fuerte correlación entre la densidad aparente y espacio poroso (-0.9067), favoreciendo al sistema radical para la absorción de nutrientes, agua y oxígeno. El patrón de distribución de las raíces en los tres tipos de vegetación es común, para las muy finas son abundantes en los primeros 50 cm del suelo. La distribución heterogénea de nutrientes induce cambios en la morfología y arquitectura del sistema radical, donde son más abundantes las raíces laterales y finas (Sands y Mulligan 1990, Ma y Rengel, 2008). El BP es el único donde las raíces muy finas se relacionan (de intensidad modesta) con el P y las raíces de 0 a 2 mm con el nitrógeno, pero a diferencia de los otros dos bosques, no hay relación con la MO. En ellos, existe una estrecha relación del sistema radical con el contenido de MO, el cual es mayor en los primeros 30 a 45 cm de los perfiles esto coincide con lo señalado por Sands y Mulligan (1990), quienes indican que la densidad de raíces es mayor cerca de la superficie del suelo donde la disponibilidad de nutrientes, resistencia mecánica, aireación y temperatura son más favorables que en la profundidad. Así, para las raíces muy finas existe una modesta correlación con el contenido de MO, tanto en BMM, como en el BTSC.

### **Correspondencias entre coberturas vegetales y los suelos que las sostienen**

Para el distrito de Putla, el INEGI (1988) reporta los suelos Acrisol (5%), Cambisol (50%), Feozem (1%), Gleysol (1%), Litosol (12%), Luvisol (12%); Regosol (16%), Rendzina (3%). De acuerdo a los resultados obtenidos estos porcentajes varían considerablemente y los fluvisoles no son registrados para este distrito del cual el municipio de estudio forma parte.

En este trabajo se encontró que el suelo con más amplia distribución en el municipio de Putla Villa de Guerrero es el Luvisol, con tres variantes: háplico, húmico o crómico que en suma registra el 31.28% de la superficie. En estos suelos se encuentra establecido el BTSC, así como el BP en las variantes de Luvisol háplico, lamélico, húmico, crómico, profúndico, epidístrico o arcílico y el BMM en luvisoles que pueden tener uno o más de los siguientes calificadores: háplico, lamélico, nudiárgico o húmico. Los regosoles ocupan el 25.24% del área y en ellos crece el BTSC en las variantes háplico, húmico o dístrico, mientras que en BP pueden ser taptovítrico o arénico. El Cambisol con 15.29% de superficie, se distribuye solo en BMM, este suelo puede tener como calificadores a uno o más de los siguientes: húmico, dístrico, láxico, arcílico o arénico. El Fluvisol (úmbrico) ocupa el 4.8% de la superficie y en él se encontró al BTSC, sin embargo, en este tipo de suelo se practica la agricultura y ganadería. Esto coincide con lo reportado por Alfaro *et al.* (2004), quienes mencionan que los acrisoles, regosoles y luvisoles cubren cerca de 60% del territorio oaxaqueño, constituyéndose en las unidades de suelo más ampliamente representadas en el estado.

También, Alfaro *et al.* (2004), describen en general para los suelos del estado asociaciones cartográficas de Regosol con Litosol, Luvisol y otras subunidades de Regosol, Cambisol y Feozem, principalmente, bajo los regímenes de uso forestal, pecuario y agrícola. Los luvisoles pueden ser crómicos, órticos, plínticos y vérticos, con vegetación de bosque o selva. Los cambisoles pueden ser crómicos, dístricos, eútricos, húmicos, vérticos, con vegetación de bosque. En los fluvisoles, las cubiertas vegetales varían desde selva hasta matorrales y pastizales, estos suelos pueden ser calcáricos o eútricos. Cabe mencionar que Alfaro utiliza las equivalencias de las vegetaciones propuestas por García-Mendoza *et al.*, 2004 y para el suelo FAO-ISRIC-ISSS, 1998).



Prácticamente para los cuatro grupos de referencia (GSR) encontrados en el municipio de Putla, coinciden con lo reportado por Alfaro *et al.* (2004), al igual que las cubiertas vegetales que en cada suelo se desarrollan. En este estudio, únicamente el Cambisol no se encontró en los bosques tropicales subcaducifolios, sin embargo, Alfaro lo reporta en este tipo de vegetación para el estado de Oaxaca. La presencia de suelos poco desarrollados (Regosol, Cambisol) o de moderado desarrollo (Fluvisol), junto con suelos antiguos (Luvisol), es causa de la historia compleja del territorio de este municipio. La reconstrucción de la evolución de los suelos de la zona explica su diversidad. Antes de la elevación del territorio en el Mioceno (Centeno, 2004, Citado por García-Mendoza 2006), el desarrollo de los suelos fue típico para las zonas tropicales relativamente planas. Otros suelos que están presentes en el municipio pero que en este estudio no se registraron, por no presentarse en ellos ninguna de las tres coberturas estudiadas son Feozem, Gleysol, Leptosol y Entisol. En resumen el Luvisol es el suelo con más amplia distribución en el municipio, soporta las tres coberturas vegetales, mientras que el menos representado es el Fluvisol en donde crece el BTSC.

### **Variables ambientales**

Escamilla (1999) mencionó que el clima, la topografía, el drenaje, el material parental y otros factores, influyen en el desarrollo de las comunidades, vegetales y del suelo. En el municipio de Putla se encontró que los tipos de vegetación tienen una fuerte relación con los microclimas, precipitación y temperatura que están determinados por la altitud y la topografía, la altitud del municipio va de 670 m a 2300 m, esto se traduce en variaciones considerables de condiciones atmosféricas en general (presencia de nieblas, insolación, intensidad de la radiación, humedad atmosférica relativa, oscilación diurna de la temperatura, cantidad de oxígeno disponible). Los BMM se distribuyen en las mayores altitudes 1200 – 2200 m por el contrario los BTSC se encuentran a 650 – 900 m y los Bosque de Pino a 800-1850. El desarrollo de las condiciones climáticas se puede apreciar mejor mediante comparaciones de alcance global, las dos características que se miden con mayor frecuencia en el clima, que se han correlacionado con las propiedades de los suelos, son la precipitación pluvial y la temperatura.

En el Cerro pájaro se puede observar que en tres sitios muestreados (1503 m, 1708 m, 1808 m), donde existe la vegetación de BMM, la diferencia entre la estructura vegetal es muy marcada, esto puede explicarse por los cambios de temperatura y humedad, que pueden influenciar a que ciertas

especies se adapten mejor a estas condiciones, ya que con frecuencia se considera que los efectos de la topografía son discretos frente al enorme impacto climático que impone la elevación (Zhang y Zhang, 2007); por otro lado las diferencias de similitud florística entre distintas comunidades de la misma vegetación puede estar influenciada tanto por la topografía como por la altitud, ya que cada comunidad requiere distintas condiciones climáticas, sin embargo, lo que realmente puede suceder es que los efectos de los dos componentes no son comparables a escala de paisaje, porque la topografía está anidada dentro de la altitud (Fontaine *et al.*, 2007). Esto explicaría el hecho de que, sin entender la escala espacial a la cual interactúan, ampliamente se acepte que juntos delimitan las diversas asociaciones florísticas de estos tres bosques BTSC, BP, BMM (Doležal y Šrútek, 2002; Wang *et al.*, 2002; Zang *et al.*, 2006). Por tanto esta diversidad de bosques está asociada a una serie de factores que permiten la existencia de condiciones tan variables en el municipio como son la posición topográfica y la gran complejidad del relieve originado por su historia geológica. En general dentro del municipio existe una correspondencia cercana entre el tipo de vegetación y la altitud, esto coincide con lo reportado por Miranda y Hernández X (1963), Calow y Townsend, (1981), y Pielou, (1992).

Por último el BMM, es el que presenta menor correspondencia ya que existe una heterogeneidad entre los horizontes A1, sin embargo, los porcentajes de MO son altos (mayores de 5%) y en estos bosques influyen factores como la niebla lo cual limitaría esta relación, (Sánchez González y López Mata, 2005). La disposición de sombra, permite mejores concentraciones de humedad edáfica en las inmediaciones y limita el exceso de radiación solar (Valiente y Ezcurra, 1991) y permite también mayor disponibilidad de materia orgánica y nutrimentos en el suelo.

El clima no solo da muestras de su influencia sobre la formación del suelo, sino también por su control del factor orgánico y hasta cierto punto del relieve y el tiempo (Boul, 1990 y Aguilera, 1989). De acuerdo a Rivas *et al.* (2007), la humedad es una de las variables involucradas en la regulación de las actividades enzimáticas afectando considerablemente su producción. Esto explicaría la mayor actividad enzimática en primavera, en este sentido el BTSC es donde se presenta la mayor temperatura media anual y donde existe la menor acumulación de MO, a pesar tener una precipitación de 1200 a 1500 mm. En el BMM se tienen un clima más contrastante y con

requerimientos de humedad altos, pero temperaturas más bajas que reducen la actividad microbiológica y favorecen la acumulación de mantillo.

La temperatura influye sobre la velocidad de las reacciones esto puede explicar en cierto grado porque existe mayor cantidad de materia orgánica en los BMM ya que ahí existen menos horas luz a causa de la neblina, la vegetación también es más cerrada y en las partes bajas como los BTSC y algunos sitios de Bosques de Pino como el de Tierra colorada, La Nueva Tenochtitlan, y Carrizal existe más entrada de luz y por tanto mayor temperatura resultando más rápido el proceso de descomposición de la MO, además ejerce una gran influencia en el tipo y la cantidad de vegetación y por tanto en la cantidad y calidad de la materia orgánica producida, en este sentido Barrios, (1984) menciona que el calor percibido por el sol depende para un suelo de varios factores: según la estación del año, la nubosidad reduce la insolación (horas de sol anuales), orientación de las laderas y la altitud.

Esto es el resultado de los procesos geomorfológicos que han arrastrado y acumulado material hacia las partes bajas, suavizando la accidentalidad del terreno (Coltorti y Ollier, 2000); en ese sentido sería esperable que las zonas bajas tiendan a ser ambientalmente más homogéneas que las zonas altas, donde hay mayor exposición a la erosión y la capa de suelo es más delgada (Doležal y Šrùtek, 2002; Fontaine *et al.*, 2007) aunque en este estudio sucede lo contrario los BMM que se encuentran a mayor altitud son suelos más maduros y las selvas que se encuentran en las partes bajas se encuentran más perturbadas, probablemente esto se deba por la mayor interacción antropogénica que existe en las partes bajas más que en las altas. Otros factores como la insolación y capacidad de retención de agua definen diferencias en la diversidad beta. Estas dos variables, junto con la escorrentía están estrechamente relacionadas con la topografía (Balvanera *et al.*, 2002).

El hecho de que se encuentren mayores asociaciones o tipos de vegetación al ascender en elevación (Wangda y Osawa, 2006; Zhang *et al.*, 2006), en realidad el área de cada piso altitudinal disminuye, por lo cual la variabilidad topográfica en la dimensión horizontal aumenta. En el municipio de Putla se presenta una diversidad de ámbitos térmicos, diferencias en la cantidad de lluvia depositada; distintos patrones de lluvia en las épocas del año, combinaciones de los elementos climáticos que resultan en grados distintos de la humedad y por tanto, el aprovechamiento de ellas

por las plantas etc. Además de toda esta gama de características climáticas se encuentran las distintas condiciones geográficas, geológicas, litológicas y edáficas en las que se asientan las comunidades vegetales, tal heterogeneidad de recursos en el tiempo y espacio desempeñan un papel importante en la determinación de la estructura de las comunidades vegetales. Estos factores permiten la presencia de comunidades distintas de Bosque Tropical Caducifolio, Bosques de Pino y Bosque Mesófilo de Montaña.

## CONCLUSIONES

Los GSR que sostienen las tres coberturas vegetales estudiadas del municipio son: Luvisol, Regosol, Cambisol y Fluvisol.

En el municipio de Putla Villa de Guerrero Oaxaca, el BMM es la cobertura vegetal más conservada y el BTSC es el más afectado.

El Luvisol es el suelo más ampliamente distribuido dentro del municipio, en él se desarrollan las tres coberturas vegetales estudiadas, sin embargo, el Cambisol está exclusivamente en los Bosques Mesófilos de Montaña, el Luvisol háplico es dominante en BP y el Regosol háplico lo es en BTSC.

El bosque Tropical Subcaducifolio ocupa más superficie en el municipio, el BP está menos extendido y en una condición intermedia se encuentra el BMM.

El suelo determina la composición y distribución de la vegetación a través de la cantidad y calidad de la hojarasca, MOH, pH, humedad, densidad aparente y contenido de nutrientes como nitrógeno y fósforo. No obstante, la presencia de una especie dentro de condiciones específicas de suelo, también depende de sus características morfológicas, fisiológicas e interacciones con otras especies.

En el municipio, los BMM tienen mayor estabilidad en su estructura, composición y diversidad de especies lo cual ha favorecido una mayor evolución de los suelos

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

N y P limitan la productividad primaria de las tres coberturas vegetales, la acidez de los suelos en la región reduce la disponibilidad del P y la fijación biológica del N. La homogeneidad en los índices de diversidad indica que existe una estrecha coevolución entre la vegetación y el suelo en los BMM.

El bosque de pino influye directamente en la acidez, MO, humedad y bajas tasas de mineralización en el suelo, condicionando la composición, diversidad y riqueza de especies vegetales.

La topografía abrupta, junto con el gradiente altitudinal y climático genera la heterogeneidad edáfica, que en conjunto determinan alta diversidad beta en el municipio.

*Hymenaea courbaril* es una Fabaceae dominante en BTSC cuya hojarasca influye en las elevadas tasas de mineralización del piso forestal en esta cobertura vegetal.

Los dominantes ecológicos para el BTSC son *Hymenaea courbaril*, *Dendropanax arboreus* y *Bursera simaruba*, para BP *Pinus teocote*, *Clethra mexicana*, *Byrsonima crassifolia* y en BMM aparecen *Roupala montana*, *Eugenia capulí*, *Saurauia scabrida*, *Zinowiewia concinna* y *Fraxinus dubia* entre otras.

## LITERATURA CITADA

- Aber J. D. y J. M. Melillo. 1991. *Terrestrial ecosystems*. Saunders College Publishing, USA. 429pp.
- Acevedo S. O. A., L. E. H. Ortiz, D. R. Flores, A. S. R. Velásquez y K. C. Flores. 2003. Caracterización física y química de horizontes endurecidos (Tepetates) en suelos de origen volcánico del estado de México. *Agrociencia* 37:435-449.
- Aciego-Pietri J. C. y P. C. Brookes. 2008. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biology and Biochemistry* 40:1856-1861.
- Acosta S 2004. Afinidades de la flora genérica de algunos bosques Mesófilos de montaña del nordeste, centro y sur de México: un enfoque fenético. *Anales del Instituto de Biología* 75(1):61-72.
- Acosta S. 1997. Afinidades fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de la zona de Pluma Hidalgo, Oaxaca, México. *Polibotánica* 6:25-39.
- Acuña M. H. 2001. The magnetic field of Mars: Summary of results from the aerobraking and mapping orbits, *J. Geophys. Res.*, in press.
- Aerts R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 79:439-449
- Aguilera N. H. 1989. Tratado de Edafología de México. Facultad de Ciencias. Dirección general de publicaciones. UNAM. 222 pp.
- Aiba S., G. Hanya, R. M. Tsujino, T. Seino, K. Kimura y K. Kitayama. 2007. Coaparative study of additive basal área of conifers in forest ecosystem along elevational gradients. *Ecology restoration* 22:439-450
- Alfaro-Sánchez G. 2004. Suelos. En: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fun, México. p. 55-65.
- Alvarado A. 2004. Producción de madera con bajos insumos, reciclaje de nutrimentos en plantaciones y bosques tropicales. En: *IX Congreso Ecuatoriano y I Binacional de la Ciencia del Suelo*: 8-12. Centro de Investigaciones Agronómicas, Escuela de Agronomía Universidad de Costa Rica. Loja. Ecuador. 1:100000, hoja 76. Zamora Chinchipe. Ecuador.
- Alves M. y J. Paz. 2003. Variabilidad en el pH de un suelo decapitado sometido a diferentes tratamientos de recuperación. *IX Conferencia Española de Biometría*. La Coruña. 3 – 4.
- Amézquita, C. E. y J. Navas. 1993. Métodos para la determinación de algunas propiedades físicas de los suelos. En: Rojas, L.A. Ed. Manual de suelos plantas y aguas para riego. ICA. Bogotá.103-134pp.
- Anderson, J. y J. Ingram, 1993. *Tropical soil biology and fertility: a hand book of met hods*. CAB International, Wallingford, UK. 221pp.
- Andrén O, J. Bengtsson y M. Clarhom. 1995. Biodiversity and species redundancy among litter decomposers. In: Collins HP, Robertson GP and Klug MJ (eds) *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity*, pp 141–151. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

- Arellanes Y. 2000. Análisis estructural de un bosque Mesófilo de montaña de *Ticodendron incognitum* en la Sierra Norte de Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 83 pp.
- Arnold R. W., I. Szabolcs y V. O. Targulian. 1990. Global Soil Change. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Atkinson P. M. y P. Lewis. 2000. Geostatistical classification for remote sensing: an introduction. *Computers & Geosciences* 26:361-371.
- Baca-Venegas J. M. 2000. Caracterización y Estructura Vertical y Horizontal en Bosques de Pino-Encino. UANL. Tesis de Maestría. 97pp
- Bakkes J. A, G. Van Der Born, J. Helder, R. Swart, C. Hope, J. Parker. 1994. An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives. UNEP/EATR.94-01; RIVM/402001001. Environmental Assessment Sub-Programme; UNEP, Nairobi. (Kenia).
- Balsa M. E., M. G. Serrão, J. C. Martins, H. Domingues y M. R. Menino. 1996. Caracterização do resíduo sólido, terras e águas do Parque de Lamas da Companhia Industrial de Resinas Sintéticas CIRES–Estarreja. Estação Agronómica Nacional, Oeiras
- Balvanera P., E. Lott, G. Segura, C. Siebe y A. Islas. 2002. Patterns of  $\beta$ -diversity in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science* 13: 145-158.
- Barbour M. G., J. H. Birk y W. D. Pitts. 1987. Terrestrial plant ecology. Second Edition.
- Barrios I. 1984. *Estudio de los suelos de un meandro de la llanura aluvial del río Oria*. En preparación.
- Basáñez A. J., J. L. Alanís y E. Badillo. 2008. Composición florística y estructura arbórea de la selva mediana subperennifolia del ejido "El Remolino", Papantla, Veracruz. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Universidad Veracruzana. *Avances en investigación agropecuaria*. 12(2): 3-21.
- Bautista F. y C. Delgado, 2005. Descomposición de hojarasca y abundancia de macroinvertebrados por el uso de mantillos y cultivos de cobertera, p. 269 - 281. *En*: F. Bautista y G. Palacios (Eds.) Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche.
- Bautista-Cruz A, R. Del Castillo, C. Gutiérrez. 2003 Patrones de desarrollo del suelo asociados con sucesión secundaria en un área ocupada originalmente por bosque mesófilo de montaña. *Ecosistemas* 2003/3 ([www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion1.htm](http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion1.htm)).
- Bautista-Zúñiga F. y H. Estrada-Medina. 1998. Conservación y manejo del suelo. *Ciencias*, p 50-55.
- Beard J. 1955. The classification of Tropical American vegetation-types. *Ecology* 36: 89-100.
- Beare M., M. Vikram, G. Tian y S. Srivastava. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of decomposer biota. *Appl. Soil Ecol.* 6:87-108.
- Bever J. D. 2003. Soil community feedback and the coexistence of competitors: conceptual frameworks and empirical tests. *New Phytologist* 157:465–473.



- Binkley D. y D. Valentine. 1991. Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *For. Ecol. Manage* 40:13-25.
- Blanco H., R. Lal. 2008. Soil Resilience and Conservation Chapter 16. In: *Principles of Soil Conservation and Management*, Springer Science+Business Media B.V. Ed 425-477
- Bohn L. H., L. B. McNeal y A. G. O'Connor. 1993. Química del suelo. Limusa. México.
- Bolan N. S., J. Rowarth, M. M. de la Luz, D. Adriano y D. Curtin. 2008. Biological transformation and bioavailability of nutrient elements in acid soils as affected by liming. *Developments in Soil Science* 32:413-446
- Brady N. C. 1990. The nature and properties of soils. Mc Millan. Canadá. 639 pp
- Brown S., L. R. Iverson, A. Prasad y D. Liu. 1993. Geographic distribution of carbon in biomass and soils of tropical Asian forests. *Geocarto International* 8(4):45-59.
- Bruijnzeel L A y J. Proctor. 1995. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forest: What do we really know?. En Hamilton LS, Juvik JO, Scatena FN (Eds.) *Tropical Montane Cloud Forests*. Springer. Nueva York, EEUU. p. 38-78
- Bruijnzeel L. A. y E. J. Veneklaas. 1998. Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet. *Ecology* 79:3-9.
- Bruun H. H., J. Moen, R. Virtanen, J. A. Grytnes, L. Oksanen & A. Angerbjörn. 2006. Effects of Altitude and topography on species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in alpine communities. *Journal of Vegetation Science* 17:37-46.
- Budowski G. 1985. Distribución de especies en el bosque tropical húmedo de América a la luz de los procesos de sucesión. Trad. del inglés por Marta Soto S. La conservación como instrumento para el desarrollo Antología. San José, Costa Rica, EUNED p. 213-218.
- Buol S. W. 1990. Suelos tropicales: clasificación y características. In: Salinas S, J.G.; Gouley, L.M. Somo para suelos ácidos. Cali: CIAT. p.49-62.
- Burke I. C., W. A. Reiners y D. S. Schimel. 1989. Organic matter turnover in a sagebrush steppe landscape. *Biogeochemistry* 7:11-31.
- Caldwell M. M. 1987. Competition between root systems in natural communities. p. 167-186.
- Calow P. y C. R. Townsend. 1981. Energetics, ecology and evolution. Blackwell Science Publication, Oxford, p. 3-19.
- Camargo-Ricalde, S. L. y S. S. Dhillon. 2003. Endemic Mimosa species can serve as mycorrhizal "resource islands" within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlan Valley, Mexico. *Mycorrhiza* 13:129-136.
- Canham C. 1989. Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. *Ecology* 70:548-550.
- Cárcamo-Calderón, M. A. 1983. Relación suelo-vegetación en el municipio de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis Licenciatura (Biólogo)-UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza 91pp.

- Cardelús C. L., R. K. Colwell y J. E. Watkins. 2006. Vascular epiphyte distribution patterns: explaining the mid-elevation richness peak. *Journal of Ecology* 94:144-156.
- Carpenter F.L, J.D Nichols, R. T. Pratt, Young KC. 2004 Methods of facilitating reforestation of tropical degraded land with the timber tree *Terminalia amazonia*. *For. Ecol. Manag.* 196:281-291.
- Cavazos, T. 2000. Using self-organizing maps to investigate extreme events: An application to wintertime precipitation in the Balkans. *J. Climate*, 13:1718-1732.
- Challenger A. 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México; Pasado, Presente y Futuro*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre A.C., México, D.F. 847pp.
- Chapin, F.S. III, P.A. Matson y H.A. Mooney. 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer, New York, USA.
- Chen, Y. H.; Han, y Z.; Wang, Q. C. y Z.Q. Wang. 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
- Clements, F.E. 1916. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie. Inst. Publ. No. 242. Washington, D.C.
- Coltorti, M. y C.D. Ollier. 2000. Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes. *Geomorphology* 32:1-19.
- Colwell, R.K. 2000. EstimateS V6.01b1. Statistical estimation of species richness and shared species from samples. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Comerford, N.B. 1999. Mecanismos de captación de nutrimentos en ecosistemas forestales: de cómo interpretar la fertilidad en el contexto de la conservación de recursos genéticos. En Orellana, R.; Escamilla, J.A. y A. Larqué-Saavedra (eds.). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, México. 222 pp.
- Condit, R., N. Pitman, E.G. Leigh Jr., J. Chave, J. Terborgh, R. B. Foster, P. Núñez V., S. Aguilar, R. Valencia, G. Villa, H.C. Muller-Landau, E. Losos y S.P. Hubbell. 2002. Beta-Diversity in Tropical Forest Trees. *Science, New Series*, 295(5555):666-669.
- Cordero, C. y E. Morales. 1998. Panorama de la biodiversidad de México. Conabio.
- Corral-Rivas J. O., A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Peréz, J. de J. Návar-Chaidez, 2002. Muestreo de diversidad y observaciones ecológicas del estrato arbóreo del bosque Mesófilo de montaña "el Cielo", Tamaulipas, México *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, julio diciembre, año/vol. 8, número 002 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México p. 125-131
- Cortes, A., C. Chamorro. y A. Vega. 1990. Cambios en el suelo por la implantación de praderas, coníferas y eucaliptos en un área aledaña al Embalse del Neusa (Páramo de Guerrero). *Investigaciones Subdirección Agrológica IGAC*: 101-114.
- Cox, G. W. 2002. *Laboratory Manual of General Ecology*. Mc Graw Hill. New York USA.

Cuanalo de la C., H., 1981. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 2ª. Edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 40 p.

Curtis, J. T. y R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496.

Dawson, M.I.A. y D. Atkinson. 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.

De Brouwere K. E. Smolders y R. Merckx. 2003. Soil properties affecting solid-liquid distribution of As (V) in soils. *Soil Science* 55:165 – 173

De la Peña, E. 2009. Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar. *Ecosistemas* 18(2):64-78.

Del Castillo, R.F. J.A. Pérez de la Rosa, G. Vargas-Amado y R. Rivera-Garcia. 2004. Coníferas En: A.J. García –Mendoza, M.J. Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.), Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología. UNAM Fondo Oaxaqueño para la conservación de la naturaleza- World Wildlife Fund, México, 141-158. pp

Díaz, S. y M. Cabido. 2001. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution* 16:646-655.

Díaz, S., J. Fargione, F.S. Chapin III y D. Tilman. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4:e277.

Dinerstein, E. D. M. Olson, D.J. Graham, A. L. Webster, S. A. Primm, M. P. Bookbinder y G. Ledec. 1995. *Una evaluación del estado de conservación de las ecoregiones terrestres de América latina y el Caribe*. World Bank. Washington. D.C., 135 pp.

Døckersmith, I. C., C. P. Giardina y R. L. Sanford. 1999. Persistence of tree related patterns in soil nutrients following slash-and-burn disturbance in the tropics. *Plant Soil* 209:137-156.

Doležal, J. y M. Šrùtek. 2002. Altitudinal changes in composition and structure of mountain temperate vegetation: a case study from the Western Carpathians. *Plant Ecology* 158:201-222.

Domenéch, X. 1995. Química del suelo: El impacto de los contaminantes. Miraguano. Madrid, España.

Doran, J.W. y B.T. Parkin. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA. p. 3-21.

Dufour, A., F. Gadallah, H. H. Wagner, A. Guisan y A. Buttler. 2006. Plant species richness and environmental heterogeneity in a mountain landscape: effects of variability and spatial configuration. *Ecography* 29:573-584.

Dumanski, J., S. Gameda y C. Pieri. 1998. Indicators of Land Quality and Sustainable Land Management. The World Bank Washington, D.C.

Dutilleul, P., 1993. Modifying the *t*-test for assessing the correlation between two spatial processes. *Biometrics*, 49:305-314.

Ehleringer, J.R. y T.E. Dawson. Water uptake by plants: perspectives from stable isotope composition. *Plant Cell Env.*, 15:1073–1082.

- Ehrenfeld, J. G.; B. Ravit y K. Elgersma. 2005. Feedback in the plant–soil system. *Annual Review of Environment and Resources* 30:75–115
- Ellenberg H y M.R. Schauermann. 1986 *Ökosystemforschung–Ergebnisse des Sollingprojektes*. Ulmer, Stuttgart
- Escamilla, J. A. 1999. Estudio de suelos y de ecosistemas vegetales. En Orellana, R; Escamilla, J:A. y A. Larqué-Saavedra (eds.) *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, México. p. 119-125 y 222.
- ESRI.2006. *Arc View 3.2 GIS*. Enviromental Systems Research Institute, Inc. N. Y.
- Ewel, J. J., 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Annual Review of Ecological Systems* 17:245-211.
- FAO. 2000. *Global Forest Resources Assessment. Main report*. Forestry Paper 140. Rome, Italy
- Farjon A. y B.T. Styles. 1997. *Pinus (Pinanceae)*. Flora Neotropica Monograph 75. The New York Botanical Garden. 291 p.
- Fassbender, H.W. y E. Boernemiza. 1987. *Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. 5ta. Reimpresión. San José. 420 p.
- Ferris-Kann R., A.J. Peace, J.W. Humphrey. 1998. Assessing structural diversity in managed forests. En: *Assessment of Biodiversity for Improved Forest Planning*, Bachmann P., Kohl M., Paivinen R., eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 331-342 p.
- Fisher, R.A., A.S. Corbet y C.B. Williams. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12:42-58.
- Fitz-Patrick, E. A. 1984. *Suelos. Su formación clasificación y distribución*. Continental. México. 353pp.
- Flamand, C., 1995. *Introducción a la edafología*. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.
- Flores, O. y P. Gerez. 1994. *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. UNAM/CONABIO. México.
- Flores-Vindas, E. 1999. *La planta: estructura y función*. LUR Vol. 11. Costa Rica. 238 pp.
- Fontaine, M., R. Aerts, K. Özkan, A. Mert, S. Gülsoy, H. Süel, M. Waelkens y B. Muys. 2007. Elevation and exposition rather than soil types determine communities and site suitability in Mediterranean mountain forest of southern Anatolia, Turkey. *Forest Ecology and Management* 247:18-25.
- Forman, R. T. T. y M. Godron. 1995. *Landscape Ecology*. John Wiley y Sons, New York. 619 pp.
- Foth, H. D. y L. M. Turk. 1980. *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*. Continental. México. 435 pp.
- Fowler, J. Cohen, y P. Jarvis. 1998. *Practical statistics for field biology*. John Wiley y Sons, Chichester.

- Frank, D.A., y S.J. McNaughton. 1991. "Stability increases with diversity in plant communities: Empirical evidence from the 1988 Yellowstone drought" *Oikos* 62:360-362.
- Fu, B. J.; S.L. Liu, K.M. Ma y G. Zhu. 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
- Gallardo, A. 2003. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa. *Pedobiología* 47:117-125.
- Gallardo-Cruz, J. A., Meave y E. A. Pérez-García. 2005. Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 76:19-35.
- García-Mendoza, A. 2004. "Integración del conocimiento florístico", en García-Mendoza, A., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (coords.), *Biodiversidad de Oaxaca*, Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, *World Wildlife Fun.* 305-325.
- García-Miragaya, J., S. Flores y N. Chacón. 1994. Soil chemical properties under individual evergreen and deciduous trees in a protected Venezuelan savanna. *Oecologia* 15:477-484.
- Garrido, J.L., P.J. Rey, C.M. Herrera. 2005. Pre- and post-germination determinants of spatial variation in recruitment in the perennial herb *Helleborus foetidus* L. (Ranunculaceae). *Journal of Ecology* 93:60-66.
- Geissert D, A. Ibáñez. 2008 Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. En Manson químico de los suelos. En Manson RH, Hernández Ortíz V, Gallina S, Mehlretter K (Eds.) *Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Diversidad, Manejo y Conservación*. INE-SEMARNAT. México. p. 213-221.
- Gitay, H. y I.R. Noble. 1997. What are functional types and how should we seek them? *En Plant Functional types. Their relevance to ecosystem properties and global change* (eds. Smith, T.M., Shugart, H.H., y Woodward, F.I.), pp. 3-19, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Givnish, T. J. 1999. On the causes of gradients in tropical tree diversity. *J. Ecol.* 87:193-210.
- Gómez Sánchez, P. A. 1990 Evaluación de la fertilidad del suelo, y su clasificación en el municipio Rio Blanco, Estado de Veracruz. Tesis Licenciatura (Biólogo)-UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza 145p
- Gonzales R.V. 2009 "Diversidad y Estructura del Bosque Mesófilo de Montaña, Cerro Pájaro, Putla Oaxaca." UNAM. 19-80pp
- González, O. J. y D. R. Zak. 1994. Geostatistical analysis of soil properties in a secondary tropical dry forest, St. Lucia, West Indies. *Plant Soil* 163: 45-54
- González-Megías, A., J.M. Gómez y F. Sánchez-Piñero. 2007. Diversity-habitat heterogeneity relationship at different spatial and temporal scalas. *Ecography*. 30: 31-41.
- Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press., New York. 483 pp.
- Grieve, I. C, J. Proctor y S.A. Cousins. 1990. Soil variation with altitude on Volcan Barba, Costa Rica. *Catena* 17:525-534.

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

Hagger, J. P., E. V. Tanner, J. W. Berr y D. C. Klass, 1993. Nitrogen Dynamics of biological agroforestry and annual cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry*. 25(10):1363-1378.

Hagmeier, E. M. y C. D. Stults. 1964. A numerical analysis of the distribution patterns of North American mammals. *Syst. Zool.* 13(3):125-155.

Hardy, O.J. y B. Sonké. 2004. Spatial pattern analysis of tree species distribution in a tropical rain forest of Cameroon: assessing the role of limited dispersal and niche differentiation. *Forest Ecology and Management* 197:191–202.

Haynes R.J. y Goh K.M. 1978. Ammonium and Nitrate Nutrition of Plant *Biological Reviews* 53(4)465–510

Hirobe, M., N. Tokuchi, C. Wachrinrat, y H. Taeda. 2003. Fire history influences on the spatial heterogeneity of soil nitrogen transformations in three adjacent stands in a dry tropical forest in Thailand. *Plant Soil* 249:309-318.

Hobbie, S. E. 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. *Tree* 7:336-339.

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

Hofstede, R. 1997. El impacto ambiental de plantaciones de *Pinus* en la Sierra del Ecuador. Proyecto Ecopar, Quito. 53 p.

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

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.J.; E.A. John y D.K. Wijesinghea. 2003. Toward understanding the consequences of soil heterogeneity for plant populations and communities. *Ecology* 84:2322–2334.

INEGI, 1980, Carta Edafológica .Hoja México. Esc. 1:1 000, 000).

INEGI, 1980, Carta Geológica .Hoja México. Esc. 1:1 000, 000).

INEGI, 1980, Carta Hidrológica .Hoja México. Esc. 1:1 000, 000).

INEGI, 1980, Carta Topográfica .Hoja México. Esc. 1:10, 000).

INEGI, 1981, Carta fisiográfica .Hoja México. Esc. 1:1 000, 000).

INEGI. 1982-1988. Cartas E14-6, E14-8, E14-9, E14-11, E1412D14-3 y E15-7. Suelos del estado de Oaxaca, escala 1:250 000, serie I y consulta en INEGI de la carta E1510-D15-1 no publicada.

Iñiguez, M. 1996. Fertilidad y fertilización del suelo. Machala. Ecuador.

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.

Isaaks, E. y R. M. Srivastava. 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.

IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for soil resources 2006, first update 2007. No 103 en World Soil Resources Reports, FAO, Rome, 116 págs.

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

Jenny, H. 1995. Factors of soil formation. Dover Publications, INC. New York. USA. 281p.

Jenny, H. 1961. E. W. Hilgard and the birth of modern soil science. Agrochimica. Farallon Publ. Pisa, Italia. 582 pp.

Johnson, D.; R. Booth, A. Whiteley M. Bailey, D. Read, J. Grime, y J. Leake. 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, C. G., J.H. Lawton y M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373-386.

Kappelle, M. N. 1996. Los bosques de roble (*Quercus* de la Cordillera de Talamanca Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica. Universidad de Amsterdam. Heredia. 678pp.

Killham, K. 1994. Soil Ecology. Cambridge University Press, New York, USA. 242 pp.

Knops, J. M. H., D. Tilman, y N. M. Haddad. 1999. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecol. Lett* 2:286-293.

Kraus, T. E. C.; R.J. Zasoski y R.A. Dahlgren. 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.

Krömer, T., S. R. Gradstein y A. Acebey. 2007. Diversidad y ecología de epífitas vasculares en bosques montanos primarios y secundarios de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 42(1):23-33.

Lal, R., 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degrad. Dev.* 17:197-209.

Lark, R.M. 2002. Modelling complex soil properties as contaminated regionalized variables. *Geoderma* 106(3-4):173-190

Lozada, J. R.; E. Arends. 2000. Clasificación ecológica de especies arbóreas, con fines de aprovechamiento forestal, en la Estación Experimental Caparo, Barinas Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 44(1):81-91.

Ma, Q. y Z. Rengel. 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 B. J. Cardinale. 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 M.D Hunter. 2002. Phenotypic diversity influences ecosystem functioning in an oak sandhills community. *Ecology* 83:2084–2090.
- Maestre, F. T. y J. Cortina. 2003. Small-scale spatial variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in a Mediterranean semiarid steppe. *Applied Soil Ecology* 23:199-209.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. Princeton, Nueva Jersey. 179p.
- Mainiero, R. y M. Kazda. 2004. Effects of *Carex restrata* on soil oxygen in relation to soil moisture. *Plant Soil* 270:311–320.
- Manlay, R. J., C. Feller y M.J. Swif. 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.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Trans. Connect. Acad. Arts Sci.* 44:211-35.
- Martínez-Ramos M. 1994. Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. *Bol. Soc. Botánica de México* 54:179-224.
- Mason, C.F. 1976. Decomposition. The Camelot Press Ltd, London, UK. 57 pp.
- Materechera, S. A., A. M. Alston, J. M. Kirby, y A. R. Dexter. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil* 144:297.
- Matteucci, D. S., O.T. Solbrig, J. Morello y G. Halffter. 1999. Biodiversidad y uso de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. Eudeba. UNESCO. Colección CEA No. 24, Buenos Aires. 580 pp.
- Matus, F., C. Lusk, E Maire. 2008. Effects of soil texture, C input rates and litter quality on free organic matter and N mineralization in Chilean rain forest and agricultural soils. *Comm. Plant and Soil Analysis. In press.*
- May, R.M. 1975. Patterns of species abundance and diversity. En: Cody, M.I., y J.M. Diamond (Eds.) *Ecology and Evolution of Communities*. The Belknap Press. Cambridge p. 81-120.
- 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.
- McGrady-Steed, J., P. M. Harris, y P. J. Morin. 1997. Biodiversity regulates ecosystem predictability. *Nature* 390:162–165.
- Menezes, Z., J. Marques, G. Tadeu. 2004. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e materia organica em solos de relevos diferentes. *Pesq. Agropec. Bras.* 39(5):491-499.
- Miranda, F., y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-1979.



- Mittermeier, R. 1997 Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo. *Cemex*, México 501 pp.
- Molina, E. y G. Meléndez. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.
- Montagnini F., C.F. Jordan. 2002. Reciclaje de nutrientes. pp 167-192. *In*: Guariguata M.R., Catan H. (compiladores) Ecología y conservación de bosques neotropicales. Libro Universitario Regional (EULAC-GTZ), Cartago, Costa Rica.
- Moreno, C. E. Y G. Halffter. 2001. Spatial and temporal analysis of the  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\lambda$ , diversities of bats in a fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation*.
- Mulder, C. P H., J. Koricheva, K. Huss-Danell, P. Högberg, y J. Joshi. 1999. Insects affect relationships between plant species richness and ecosystem processes. *Ecology Letters* 2:237–246.
- Murphy, P. G. y A. E. Lugo. 1986. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. *Biotropica* 18:89-96.
- Nardi S, G.D. Concheri, A. Pizzeghello, R. Sturaro. G. Rella y G. Parvoli. 2000. Soil organic matter mobilization by root exudates. *Chemosphere* 5:653–658.
- Negrete-Yankelevich S, C. Fragoso, A. Newton. 2007. Successional changes in soil, litter y macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican cloud forest. *Appl. Soil Ecol.* 35:340-355.
- Neher. D. A. 1999. Soil community composition and ecosystem processes. Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems* 45:159–185.
- Neuman M., y F. Starlinger. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forest. *Forest Ecology and Management* 145:91-106.
- Noss, R. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.
- Olander, L.P., y P.M. Vitousek. 2005. "Short-term controls over inorganic phosphorus during soil and ecosystem development." *Soil Biology and Biochemistry* 37: 651-659
- Oliveira-Filho, A. T., N. Curi, E. A. Vilela, y D. A. Carvalho. 1998. Effects of canopy gaps, topography, and soils on the distribution of woody species in a Central Brazilian deciduous dry forest. *Biotropica* 30:362-375.
- Olsen, S. R. y L.E. Sommers. 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.
- Paine, R.T. 1969. A note on trophic complexity and community stability. *American Naturalist* 103:91-93
- Palm, C. A. y P. A. Sánchez. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 22:330-338.
- Paul, E.A. y F.E. Clark. 1996. *Soil Microbiology and biochemistry*. Academic Press Inc., San Diego, USA. 340 pp.

- Peña, J. 2006. Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. Ed. ECU. Alicante, España.
- Peterson, G. C.R. Allen y C.S. Holling. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems* 1:6-18.
- Pielou, E.C. 1992. Biogeography. Krieger, Malabar, Florida
- Pinochet, D., G. Epple y R. Macdonald. 2001. Fracciones de fósforo orgánico en un transepto de suelos de origen volcánico y metamórfico. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 1:58-69.
- Ponce-Vargas, A., I. Luna, O. Alcántara y C. Ruiz. 2006. Florística del bosque Mesófilo de montaña de monte grande. Lolota. Hidalgo, México. *Revista Mexicana de biódiversidad* 77:177-1990
- Ponge J.F., P. Arpin, F. Sondag, F. Delecour. 1997. Soil fauna and site assessment in beech stands of the Belgian Ardennes. *Can J For Res* 27:2053–2064.
- Porta Cassanellas., J., López-Acevedo Reguerin, M. y Roquero de Labau, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. España. p. 849.
- Porta H, Rueda-Benítez P, F Campos, J.M Colmenero-Flores, J.M. Colorado, M.J. Carmona, A.A. Covarrubias, M. Rocha-Sosa. 1999. Analysis of lipoxygenase mRNA accumulation in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during development and under stress conditions. *Plant Cell Physiol* 40:850-858.
- Porta, J., M. López y C. Roquero. 1994. Edafología. Ediciones Mundi Prensa, México, 807 pp
- Ramirez, G. A. 2006. Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Pontificia Universidad Javeriana. Bogota, Colombia.
- Ranger, J.; R. Marques, J.H. Jussy. 2001. Forest soil dynamics during stand development assessed by lysimeter and centrifuge solutions. En: *Forest Ecology and Management* 144(1-3):129-145.
- Raven, P.H. y L.W. Gilbert. 1975. Coevolution of animals and plants. Texas University Press, Austin, TX, USA.
- Reeves D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till Res* 43(1):131–167
- Richter, D. D. y L. I. Babbar. 1991. Soil diversity in the tropics. *Adv. Ecol. Res.* 21:315-389.
- Rivas, Y., R. Godoy, E. Valenzuela, J. Leiva, C. Oyarzún, M. Alvear. 2007. Actividad Biológica del suelo en dos bosques de *Nothofagus* del centro sur de Chile. *Gayana Botánica* 64:81-92.
- Robertson, G.P. y C.L. Gross. 1994. Assessing the heterogeneity of belowground resources: quantifying pattern and scale. In: M.M. Caldwell & R.W. Pearcy (eds.), *Plant Exploitation of Environmental heterogeneity*: 237-253. *Academic Press*. New York.
- Robinson, D. 1994. Tansley Review, 73. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist* 127:635–674
- Rodríguez-Martín, J.A., y M. López-Arias. 2005. Utilización de técnicas de teledetección y geostatística en la evaluación de la concentración de zinc en suelos de la cuenca del Ebro. X Conferencia Iberoamericana de Sistemas de información Geográfica. 6 y 9 de septiembre. San Juan, Puerto Rico.

- Rodríguez-Franco, A., J. Martín-Pintado, y A Fuente. 1998, A High-Density Thin Layer Confining the H II Region M42: Heinrich Hertz Telescope Measurements A&A, 329, 1097
- Rohlf, F. J. 1998. NTSYS-pc, Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Exete rPublishing, Ltd. Nueva York. 177 pp.
- Rojas, E.L. 1993. Acidez del suelo. En: Rojas, E. L. (Ed.) Manual de suelos plantas y aguas para riego. Instituto Colombiano de Agropecuario. Sierra, A. & L, Bogotá. Pp. 19 - 24.
- Rzedowski, J.1978. La vegetación de México. Limusa. México, D. F. 431-432 pp.
- Rzedowski, J.1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14:3-22.
- Salamon J, M.J Schaefer, B. Alpei, S. Schmid, y S. Scheu. 2003. Effects of plant diversity on Collembola in an experimental grassland ecosystem. *Oikos* 106:51-60
- Sánchez, O. y G. López. 1988. A theoretical analysis of some indices of similarity as applied to biogeography. *Folia Entomol. Mex.* 75:119-145.
- Sánchez-González, A. y L. López-Mata. 2005. Plant species richness and diversity along an altitudinal gradient in the Sierra Nevada, Mexico. *Diversity and Distributions* 11:567-575.
- Sánchez-Rodríguez, E.V., López-Mata, E. Garcia-Moya y R. Cuevas-Guzmán.2003. Estructura y composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque Mesófilo en la sierra de Manantlán, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 73:17-34
- Sands R.; D.R.Mulligan.1990. Water and nutrient dynamics and tree growth. *Forest Ecology and Management*, 30:91-111.
- Saparovek, y O.A. Camargo. 1997. Sampling strategies for tropical fire nutrient cycling studies: a case study in São Paulo, Brazil. *Revista Brasileña de Ciencia do Solo*, 21(4).
- Sarmiento, G. 1992. A conceptual model relating environmental factors and vegetation formations in lowlands of tropical South America. Editado por P. Furley, J. Proctor y J. Ratter. En: Nature and dynamics of forest-savanna boundaries. Londres. Inglaterra. 583-601p.
- Schrumpf, M, G. Guggenberger, G. C. Schubert. C Valarezo y W. Zench. 2001. Tropical montane rain forest soils: development and nutrients status along an altitudinal gradient in the south Ecuadorian Andes. *Die Erde*. 132:43-59.
- Schulin R., R. Webster y R. Meuli. 1994. *Regional soil contamination surveying*. Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL) Environ. Docum. 25. Bern, Switzerland.
- Scott, N. A. 1998. Soil Aggregation and Organic Matter Mineralization in Forest and Graslands: Plant Species effects. *Soil Science Society of American Journal*. 62:1081-1089.
- Scowcroft, P. 1997. Mass and nutrient dynamics of decaying litter from *Passiflora mollissima* and selected

native species in a Hawaiian montane rain forest. *J. Trop. Ecol.* 13:407-426.

Seastedt, T. R. 1984. The Role of Microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology* 29:25-46

Shannon, C.E. y W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 29-125p.

Shipley, B. P. 1990. A test of the Tilman model of plant strategies: relative growth rate and biomass partitioning. *The American Naturalist* 136:139-153.

Simpson H., 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163, 688.

Sing, J. S. y S.R. Gupta, 1977. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The botanical review*, 43(4):449-528.

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

Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. USDA Natural Resource Conservation Service Agriculture Handbook # 436, U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 372 pp.

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

SSSA. Soil Science Society of America. 1997. *Glossary of soil science terms*. SSSA,

Statgraphics Plus. 5.0. 2000. Statistical Graphics Corp.

Stewart, JWB; y H Tiessen. 1987. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry* 4: 41-60.

Stiling, P. 1999. *Ecology: Theories and applications*. New Jersey: Prentice Hall, 3RD. Edition.

Stone, E.L., 1975. Effects of species on nutrient cycles and soil change. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 271:149-162.

Sun, B., Z. Shenglu y Q. Zhao. 2003. Evaluation of temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma* 115:85-99.

Swift M., O. Heal y J. Anderson, 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Studies in ecology volume 5. University of California press. California, Estados Unidos de América.

Symstad, A. J., D. Tilman, J. Willson y J.M.H. Knops. 1998. Species loss and ecosystem functioning: effects of species identity and community composition. *Oikos* 81:389-397.

Thompson, M. y P. Vitousek. 1997. Asymbiotic nitrogen fixation and litter decomposition on a long soil-age gradient in Hawaiian Montane Rain Forest. *Biotropica*, 29(2):134-144.

Tilman D, J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie, E. Sieman. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277:1300-1302.

Tilman, D. 1988. Dynamics and structure of plant communities. Princeton University Press. Shipley, B. y R. H. 360 pp.

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 p. 105-117.

Townsend C.G., N. H. Edwards, K. P. Zetie, C. J. Cooper, J. Rink, y C. J. Foot. 2005. High-density trapping of cesium atoms in a dark magneto-optical trap. *Phys. Rev. A* 53:1702-1714

Trofymow, J. A., D. C. Coleman. 1982. The role of bacterivorous and fungivorous nematodes in cellulose and chitin decomposition. Pp. 117-138 in D. W. Freckman, ed. Nematodes in soil ecosystems. Austin, TX: University of Texas.

Valarezo, C. 2004. Problemas de fertilidad y manejo de los suelos en la región Sur del Ecuador. 6-7. Congreso Ecuatoriano y I Binacional de la Ciencia del Suelo. Loja - Ecuador. 1-3.

Valencia, I.E. y B.A. Hernández. 2002. *Muestreo de suelos, preparación de muestras y guía de campo*. UNAM. 131pp.

Valiente Banuet, A. y E. Ezcurra. 1991. "Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa Luisiana* in the Tehuacán Valley, México". *Journal of Ecology* 79:961-971.

Van der Heijden, M.G.A., J.N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken, I.R. Sanders. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396:69-72.

Van Reeuwijk, L.P. 2006. *Procedures for soil analysis*. 7th Edition. Technical Report 9. Wageningen, Netherlands, ISRIC - World Soil Information.

Velázquez-Rosas N, J Meave, S Vazquez-Santana. 2002. Elevational variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla, southern Mexico. *Biotropica* 34:534-546

Villareal Q., J. A., Villaseñor R., J. L. y R. Medina L., 2006. Tribu Helenieae. En: Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski (eds.). Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 140. Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.

Vinton, M. A. y Burke, I. C. 1995. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology*. 76:1116-1133.

Vitousek, P., D. Turner, W. Parton y R. Sanford, 1994. Litter de composition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms and models. *Ecology* 75(2):418-429.

Walker, B., C.S. Holling, S.R. Carpenter y A. Kinzig. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9: 5. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>

- Walker, B., A. Kinzing y J. Langridge. 1999. Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. *Ecosystems* 2:95- 113.
- Walker, B.H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18-23.
- Wallace, J. M., 2000. North Atlantic Oscillation/Annular Mode: Two paradigms—One phenomenon. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, in press.
- Wangda, P. y M. Osawa. 2006. Structure and regeneration dynamics of dominant tree species along altitudinal gradient in a dry valley slopes of the Bhutan Himalaya Forest Ecology and Management 230:136–150.
- Webster, R. 2000. Is soil variation random? *Geoderma* 97:149-163
- Wienhold Brian J. 2005. Changes in Soil Attributes Following Low Phosphorus Swine Slurry Application to No-Tillage Sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:206-214 . 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA.
- Wijesinghe, D. K, E.A. John, S. Beurskens y M.J. Hutchings. 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.
- Wilcke, W., S. Yasin, U. Abramowski, C. Valerezo, y W. Zech. 2002. Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. Blackwell. *European J. Soil Sci.*: 16-26.
- Williams, L.E.; C.J. Phene, D.W. Grimes, T.J. Trout. 2003. Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrigation Science* 22:11-18.
- Wilson, S.D. y D. Tilman, 1993. Plant competition and resource availability in response to disturbance and fertilization. *Ecology*. 74:599-611.
- Xie, Y.; W. Luo, K. Wang, y B. Ren. 2008. Root growth dynamics of *Deyeuxia angustifolia* seedlings in response to water level. *Aquatic Botany* 89:292–296
- Yi, L., M. Jian y Y. Li. 2007. Soil salt and nutrient concentration in the rhizosphere of desert halophytes. *Acta Ecologica Sinica* 27:3565-357.
- Zhang, J.T. y F. Zhang. 2007. Diversity and composition of plant functional groups in mountain forests of the Lishan Nature Reserve, North China. *Botanical Studies* 48 (3):339-348
- Zhang, J.T., Y. Li y J. Li. 2006. The relationship between environment and plant communities in the middle part of Taihang Mountain Range, North China. *Community Ecology* 7:155-163.
- Zhou, Z. y Z. Shangguan. 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 I. Propiedades químicas y físicas de los perfiles muestreados del Municipio Putla Villa de Guerrero Oaxaca.**

**Bosque Tropical Subcaducifolio**

H	Prof. (cm)	DR (g/cm <sup>3</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	E.P. (%)	Color		pH		Humedad (%)	Textura (%)			Clase Textural	M.O. (%)	C. E. (dSm-1)	C.I.C.T. (cmolk <sup>-1</sup> )	P (ppm)	N (%)
					Seco	Húmedo	H2O	KCL		Arcilla	Limo	Arena						
A1	0-17	2.28	0.92	59.64	10 YR 4/6	7.5 YR 3/3	5.80	5.05	49.46	27	12	61	Migajón arcillo-arenoso	7.35	0.32	17.2	0.980	0.069
A2	18-30	2.47	0.98	60.32	10 YR 5/4	7.5 YR 4/4	5.26	3.94	45.89	27	24	49	Migajón arcillo-arenoso	3.50	0.18	12.0	0.300	0.053
C1	31-50	2.56	1.08	57.81	10 YR 5/6	7.5 YR 3/4	5.20	3.92	48.15	29	22	49	Migajón arcillo-arenoso	2.78	0.19	10.4	0.610	0.012
C2	51-95	2.67	1.08	59.55	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/4	5.21	3.90	46.39	29	22	49	Migajón arcillo-arenoso	2.53	0.16	10.0	0.270	ND
C3	96-125	2.52	1.12	55.55	7.5 YR 5/6	7.5 YR 4/6	5.15	3.87	36.88	25	22	53	Migajón arcillo-arenoso	1.56	0.20	11.06	0.270	ND
A	0-27	2.28	0.90	60.52	10 YR 4/3	10 YR 3/2	6.08	5.25	64.28	21	30	49	Migajón	9.49	0.57	26.8	0.660	0.053
B1	28-45	2.62	1.12	57.25	7.5 YR 5/6	5 YR 4/6	6.07	4.47	43.24	35	28	37	Migajón arcilloso	2.36	0.16	12.0	0.200	0.020
B2	46-70	2.72	1.14	58.08	7.5 YR 5/8	5 YR 4/6	6.01	3.96	42.17	31	40	29	Migajón arcilloso	1.38	0.18	13.6	0.500	0.053
C	71-95	2.67	1.21	54.60	7.5 YR 5/8	7.5 YR 4/6	5.86	3.56	39.91	21	46	33	Migajón	0.67	0.09	17.6	0.300	0.019
A	0-15	2.50	0.99	60.40	7.5 YR 7/8	7.5 YR 4/6	5.51	4.17	43.46	21	32	47	Migajón	2.21	0.12	18.8	0.210	0.244
C1	16-50	2.67	1.06	60.29	10 YR 7/4	10 YR 6/6	5.10	3.45	46.82	18	44	38	Migajón	0.90	0.07	16.8	0.310	0.023
C2	51-90	2.38	1.09	54.20	10 YR 8/6	10 YR 6/6	5.14	3.41	48.35	18	44	38	Migajón	0.85	0.10	14.0	0.280	0.026
C3	91-105	2.63	1.10	58.17	10 YR 8/4	10 YR 6/6	5.21	3.33	51.86	19	36	45	Migajón	0.87	0.09	18.8	0.190	0.020
A1	0-40	2.50	1.02	59.20	10 YR 5/3	10 YR 3/2	6.10	5.00	42.36	28	9	63	Migajón arenoso	5.39	0.19	15.2	0.950	0.002
A2	41-65	2.49	1.26	49.39	10 YR 5/4	10 YR 4/3	5.60	4.20	31.42	30	26	44	Migajón arcilloso	1.25	0.11	13.6	0.640	0.004
A3	66-85	2.63	1.24	52.85	10 YR 5/4	10 YR 4/3	5.20	4.00	32.78	26	28	46	Migajón	0.88	0.06	13.2	0.290	0.010
C	86-147	2.50	1.25	50.00	10 YR 6/4	10 YR 4/4	5.00	3.80	36.89	27	24	49	Migajón arcillo-arenoso	0.52	0.05	14.0	0.130	0.020
A1	0-30	2.50	0.95	62.00	10 YR 5/3	10 YR 4/3	4.90	3.70	58.00	13	7	80	Migajón arenoso	7.76	0.17	16.0	1.760	0.040
A2	31-45	2.50	1.03	58.80	10 YR 6/4	10 YR 4/4	4.80	3.60	50.72	16	8	76	Migajón arenoso	5.70	0.15	14.8	4.370	0.057
B	46-75	2.77	1.19	57.03	10 YR 7/6	10 YR 5/8	4.90	3.70	42.01	13	11	76	Migajón arenoso	0.14	0.07	11.6	4.100	0.015
C	76-84	2.63	1.29	50.95	10 YR 8/6	7.5 YR 7/8	4.80	3.70	44.98	8	12	80	Arena migajonosa	0.78	0.04	14.4	0.340	0.010

## Bosque de Pino

H	Prof. (cm)	DR (g/cm <sup>3</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	E.P. (%)	Color		pH		Humedad (%)	Textura (%)			Clase Textural	M.O. (%)	C. E. (dSm-1)	C.I.C.T. (cmolk <sup>-1</sup> )	P (ppm)	N (%)
					Seco	Húmedo	H2O	KCL		Arcillas	Limos	Arenas						
A1	0-10	2.40	1.25	47.5	7.5YR 6/4	7.5YR 4/3	5.00	4.20	39.16	24	16	60	Migajón arcillo-arenosa	5.00	0.31	27.0	0.874	0.165
B	11-50	2.82	1.03	63.4	7.5YR 5/3	7.5YR 4/4	4.80	4.22	39.31	28	18	54	Migajón arcillo-arenosa	5.17	0.28	29.4	0.299	0.243
C1	51-83	2.55	1.08	57.2	7.5 YR 6/6	7.5YR 5/6	4.50	3.80	36.36	20	24	56	Migajón arcillo-arenosa	5.25	0.27	21.0	0.333	0.052
C2	84-106	2.48	1.38	43.9	7.5 YR 7/6	7.5YR 5/6	4.90	4.38	41.74	20	28	52	Migajón arcillo-arenosa	5.08	0.07	25.5	0.245	0.026
C3	107-126	2.51	1.16	53.7	7.5 YR 6/6	7.5YR 5/6	4.70	4.35	41.84	24	34	42	Migajón	4.51	0.08	23.4	0.186	ND
A	0-20	2.42	1.05	56.6	5.0YR 5/4	5.0 YR 3/2	4.30	3.70	45.65	40	22	38	Migajón Arcilloso	5.17	0.68	28.8	0.815	0.012
Bt	21-44	2.55	1.09	56.8	5.0YR 6/6	5.0 YR 4/3	4.80	4.10	41.92	42	22	36	Arcilloso	4.67	0.54	19.5	0.196	0.152
Bt	45-80	2.50	1.13	54.4	5.0YR 5/6	5.0 YR 5/6	4.90	4.27	47.96	38	28	34	Migajón Arcilloso	4.18	0.45	23.4	0.186	0.030
Bc	81-124	2.81	1.10	60.4	5.0YR 5/6	5.0 YR 5/7	4.90	3.90	33.33	42	24	34	Arcilloso	5.00	0.40	27.0	0.225	0.011
A1	0-15	2.38	1.04	55.8	7.5YR 5/3	7.5YR 4/3	4.70	3.95	49.20	47	23	30	Arcilloso	2.87	0.48	22.5	0.972	0.054
A2	16-40	2.50	0.94	62.0	7.5YR 6/4	7.5YR 5/4	4.51	3.63	41.35	43	25	32	Arcilloso	2.54	0.46	24.2	0.206	ND
A3	41-80	3.85	0.91	76.3	7.5YR 6/4	7.5YR 5/4	4.50	3.66	42.16	41	19	40	Arcilloso	2.38	0.23	16.3	0.117	0.081
C1	81-110	2.38	1.00	57.9	7.5YR 6/4	7.5YR 4/4	4.60	3.70	46.08	35	27	38	Migajón arcilloso	2.79	0.13	19.6	0.245	0.012
C2	111-160	2.78	0.98	64.3	7.5YR 6/4	7.5YR 4/4	4.66	3.80	37.22	39	29	32	Migajón arcilloso	3.61	0.16	24.3	0.117	ND
A1	0-50	2.50	0.90	64.0	10 YR 4/3	10 YR 2/2	5.20	4.73	47.19	13	29	58	Migajón arenoso	4.99	0.24	11.6	0.382	0.150
C1	51-80	2.50	1.26	49.2	10 YR 8/2	10YR 7/4	5.00	4.20	27.35	21	25	54	Migajón arcillo-arenoso	4.56	0.13	10.1	1.208	0.050
C2	81-120	2.50	1.39	44.0	10 YR 8/2	10YR 7/4	4.83	3.81	22.31	25	27	48	Migajón arcillo-arenoso	4.82	0.45	9.1	0.667	ND
A1	0-30	3.00	1.14	61.6	10 YR 8/3	10 YR 6/4	4.25	3.65	28.62	24	28	46	Migajon arcillo-arenosa	5.29	0.17	9.6	1.196	0.150
C1	31-45	2.61	1.28	50.5	10 YR 8/4	10 YR 7/6	4.57	3.79	26.79	28	16	56	Migajon arcillo-arenosa	5.65	0.25	8.2	1.848	0.050
C2	46-110	2.13	1.36	36.1	10 YR 8/4	10 YR 7/6	4.52	3.80	31.87	22	22	56	Migajon arcillo-arenosa	5.56	0.14	6.2	2.115	ND



## Bosque Mesófilo de Montaña

H	Prof.	DR (g/cm <sup>3</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	E.P. (%)	Color		pH		Humedad (%)	Textura (%)			Clase Textural	M.O. (%)	C. E. (dSm <sup>-1</sup> )	C.I.C.T. (cmolkg <sup>-1</sup> )	P (ppm)	N (%)
					Seco	Húmedo	H2O	KCL		Arcillas	Limos	Arenas						
A1	0-25	2.76	0.75	72.40	7.5YR 5/6	7.5YR 3/3	5.96	3.71	19.04	22.0	28.7	49.3	Arcilloso	5.85	0.65	18.3	0.746	0.040
A2	26-60	2.63	0.83	68.62	7.5YR 5/4	7.5YR 4/3	5.94	3.43	13.74	56.8	23.3	19.8	Arcilloso	2.03	0.22	24.9	0.343	0.010
B	61-90	2.28	0.96	57.95	7.5YR 6/6	7.5YR 5/8	6.15	3.36	18.42	60.8	21.3	17.8	Arcilloso	2.83	0.21	27.3	0.117	0.010
C	91-110	2.58	0.92	64.48	7.5YR 6/8	7.5YR 5/6	6.04	3.33	11.87	57.4	22.0	20.6	Arcilloso	1.47	0.15	23.4	0.785	0.020
A1	0-30	2.29	0.75	67.13	10YR 4/4	10YR 3/6	5.35	4.16	16.21	5.4	26.0	68.6	Migajón-arenoso	8.69	0.37	16.2	0.854	0.110
A2	31-48	2.76	0.78	71.65	10YR 5/4	10YR 3/3	5.42	3.91	17.07	4.1	26.6	69.3	Migajón-arenoso	6.02	0.22	22.5	0.972	0.214
A3	49-60	2.49	0.84	66.12	10YR 6/4	10YR 4/3	5.45	3.80	14.75	6.8	29.3	63.8	Migajón-arenoso	4.58	0.19	24.0	0.834	0.132
B	61-93	2.35	0.81	65.46	10YR 5/6	10YR 4/4	5.65	3.76	25.64	6.1	30.0	63.8	Migajón-arenoso	11.49	1.10	21.0	0.520	0.114
C1	94-130	2.44	0.83	66.05	10YR 6/6	10YR 4/6	5.55	3.51	18.98	12.1	31.3	56.6	Migajón-arenoso	1.70	0.12	26.1	0.490	0.086
C2	131-170	2.28	0.79	65.53	10YR 6/6	10YR 4/4	5.50	3.47	24.24	5.4	42.0	52.6	Migajón-arenoso	2.28	0.14	26.4	0.450	0.080
A1	0-35	2.59	1.01	61.12	10YR 4/2	10YR 3/4	5.78	4.12	52.07	22.0	28.7	49.3	Migajón	6.11	0.41	23.7	0.363	0.150
A2	36-85	2.59	1.33	48.80	10YR 5/6	10YR 3/6	5.94	4.25	32.65	28.1	26.0	45.8	Migajón arcillo arenoso	1.48	0.34	17.1	0.088	0.138
B	86-120	2.59	1.48	43.03	10YR 5/6	10YR 3/3	6.23	4.51	27.65	22.8	27.3	49.8	Migajón arcillo arenoso	0.77	0.16	8.4	0.147	0.040
C	121-150	2.62	1.36	47.96	10YR 7/6	10YR 4/3	6.23	5.00	34.26	26.8	36.6	36.6	Migajón	0.30	0.10	13.5	0.333	ND
A1	0-30	2.42	0.95	60.73	10YR 5/2	10YR 2/1	6.05	4.75	76.09	12.1	33.3	54.6	Migajón	6.52	0.43	34.4	1.099	0.007
A2	31-59	2.37	0.95	59.97	10YR 5/3	10YR 3/2	5.60	4.98	44.97	17.8	39.6	42.6	Migajón	4.82	0.22	17.2	0.559	0.155
B	60-101	2.50	1.26	49.46	10YR 6/4	10YR 4/4	5.94	4.91	59.60	31.4	27.3	41.3	Migajón arcilloso	2.27	0.45	15.1	0.215	0.000
C	102-155	2.62	1.10	58.14	10YR 6/4	10YR 4/4	5.95	4.88	23.43	23.8	26.9	49.3	Migajón	1.03	0.48	13.8	2.781	0.000
A1	0-30	2.22	0.92	58.57	10YR 3/2	10YR 2/1	6.48	5.95	65.66	7.4	62.0	30.6	Migajón limoso	8.24	0.38	33.1	2.264	0.012
A2	31-50	2.36	1.10	53.44	10YR 4/3	10YR 3/2	7.12	5.99	55.74	27.4	36.0	36.6	Migajón arcilloso	3.30	0.52	28.5	2.026	0.105
C	51-80	2.38	1.22	48.56	10YR 6/6	10YR 5/6	7.39	6.30	36.12	33.4	32.0	34.6	Migajón arcilloso	1.46	0.34	14.2	1.492	0.121

**Anexo II.** Listado florístico por cobertura vegetal del municipio Putla Villa de Guerrero, Oaxaca

Bosque tropical subcaducifolio

**Familia**

Actinidaceae	<i>Saurauia aspera</i> Turcz. <i>nelsonii</i> Rose <i>radlkoferi</i> Buscal
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch. <i>Oreopanax obtusifolius</i> L.O.Williams
Aspleniaceae	<i>Ctenitis subincisa</i> (Willd.) Ching
Betulaceae	<i>Alnus firmifolia</i> Fernald
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.
Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.
Clethraceae	<i>Clethra mexicana</i> DC.
Dryopteridaceae	<i>Tectaria mexicana</i> (Fée) C. V. Morton
Fabaceae	<i>Acacia cornigera</i> Willd. <i>Inga vera</i> Willd. <i>Hymenaea courbaril</i> L.
Flacourtiaceae	<i>Homalium senarium</i> Sessé & Mociño. <i>Xylosma intermedia</i> Triana & Planch.
Gutifereae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.
Lacistemaceae	<i>Lacistema aggregatum</i> (Berg.) Rusby
Lauraceae	<i>Nectandra globosa</i> Mez
Lauraceae	<i>Nectandra reticulata</i> Britton & P.Wilson
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> Kunth
Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i> D. Don <i>Miconia borealis</i> Gleason <i>glabrata</i> Cogn. <i>purpusii</i> Brandegee
Meliaceae	<i>Guarea glabra</i> Vahl <i>Trichilia havanensis</i> Jacq.
Moraceae	<i>Ficus obtusifolia</i> Roxb.
Myrsinaceae	<i>Icacorea compressa</i> Standl. <i>Parathesis brevipes</i> Lundell.
Myrtaceae	<i>Calyptanthus megistophylla</i> Standl. <i>Eugenia jambos</i> L.
Polygonaceae	<i>Coccoloba barbadensis</i> Jacq.
Rubiaceae	<i>Chiococca alba</i> (L.) Hitchc. <i>Sommeria grandis</i> Standl.
Sapindaceae	<i>Cupania glabra</i> Sw. <i>Serjania cardiospermoides</i> Schltld. & Cham.
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.
Zingiberaceae	<i>Costus scaber</i> Ruiz & Pav.
Zingiberaceae	<i>Renealmia aromatica</i> Griseb.

<b>Familia</b>	
Actinidaceae	<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl. <i>aspera</i> Turcz.
Alliaceae	<i>Bessera elegans</i> Schult.f
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch. <i>Oreopanax langlassei</i> Standl. <i>xalapense</i> Decne. & Planch.
Asteraceae	<i>Vermonia deppeana</i> Less. <i>Eupatorium collinum</i> DC.
Betulaceae	<i>Alnus firmifolia</i> Fernald
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.
Celastraceae	<i>Maytenus staminosa</i> Lundell
Clethraceae	<i>Clethra mexicana</i> DC. <i>hartwegi</i> Britton.
Commelinaceae	<i>Tradescantia zanonía</i> (L.) Sw.
Corylaceae	<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.
Euphorbiaceae	<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.
Fabaceae	<i>Acacia cornigera</i> Willd. <i>Hymenaea courbaril</i> L.
Fagaceae	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl. <i>glaucooides</i> M.Martens & Galeotti
Gesneriaceae	<i>Drymonia serrulata</i> Jacq.
Guttiferaceae	<i>Clusia salvini</i> Beaux.
Icacinaceae	<i>Mappia longipes</i> Lundell
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i> Kunth
Melastomataceae	<i>Clidemia octona</i> (Bonpl.) L.O.Williams <i>rubra</i> (Aubl.) Mart. <i>Leandra cornoides</i> Cogn. in Mart. <i>Miconia</i> sp <i>purpusii</i> Brandegees <i>albicans</i> Steud. <i>borealis</i> Gleason <i>glabrata</i> Cogn. <i>Tibouchina bourgaeana</i> Cog.
Myrsinaceae	<i>Icacorea compressa</i> Standl.
Myrsinaceae	<i>Parathesis brevipes</i> Lundell
Pinaceae	<i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore <i>oocarpa</i> Schiede ex Schltld. <i>pseudoestrobis</i> Lindl. <i>teocote</i> var. <i>quinquefoliata</i> Cham. & Schltld.
Poaceae	<i>Lasiacis procerrima</i> Hitchc.
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L. <i>Sommeria arborescens</i> Schltld

## Bosque mesófilo de montaña

Actinideaceae	<i>Saurauia aspera</i> Turcz. <i>scabrida</i> Hemsl
Araliaceae	<i>Oreopanax sanderianus</i> Hemsl. <i>langlassei</i> Standl.
Arecaceae	<i>Brahea moorei</i> L.H.Bailey in H.E.Moore
Asteraceae	<i>Eupatorium</i> sp. <i>Senecio sanguisorbae</i> DC. <i>angulifolius</i> DC.
Betulaceae	<i>Alnus</i> Kunt
Celastraceae	<i>Maytenus staminosa</i> Lundell
Celastraceae	<i>Zinowiewia concinna</i> Lundell
Cyatheaceae	<i>Cyathea divergens</i> Kunze var. <i>tuerckheimii</i> (Maxan) R. Tryan
Ericaceae	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch
Fabaceae	<i>Calliandra houstoniana</i> Standl.
Fagaceae	<i>Quercus aristata</i> Hook. & Arn. sp.
Garryaceae	<i>Garrya laurifolia</i> Benth.
Gesneriaceae	<i>Moussonia deppeana</i> Klotzsch ex Hanst.
Guttiferae	<i>Clusia salvinii</i> Beaux.
Hamamelidaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.
Icacinaceae	<i>Mappia</i> aff <i>longipes</i> Lundell
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth <i>Nectandra globosa</i> Mez
Malvaceae	<i>Malvaviscus konzattii</i> Greenm. <i>arboreus</i> Cav.
Melastomataceae	<i>Miconia heterothrix</i> Gleason & Wurdack <i>Conostegia arborea</i> (Schlecht)Sehaver Linnaea
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Trichilia havanensis</i> Jacq.
Meliosmaceae	<i>Meliosma dentata</i> Urb.
Myrsinaceae	<i>Parathesis rekoii</i> Standl. <i>Rapanea myricoides</i> (Schltdl.) Lundell
Myrtaceae	<i>Myrciaria floribunda</i> O.Berg <i>Eugenia capuli</i> Schltdl.
Oleaceae	<i>Fraxinus dubia</i> (ex Schult. & Schult.f.) P.S.Green & M.Nee
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> Aubl
Rosaceae	<i>Prunus</i> sp.
Rubiaceae	<i>Somera arborescens</i> Schltdl. <i>Rogiera amoena</i> Planch. <i>Deppea cornifolia</i> Beanth. <i>Deppea pubescens</i> Hemsl. <i>Rhadia</i> sp.
Solanacea	<i>Solanum erianthum</i> D.Don
Tiliaceae	<i>Triumfetta speciosa</i> Seem.