

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SUELO Y AGUA  
INVESTIGACIÓN DE TESIS

CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS Y FISIOGRÁFICOS QUE  
INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DEL CIPRES (*Cupressus lusitanica*, Miller) EN  
HUEHUETENANGO

Ingeniero Agrónomo  
Carlos Humberto Estrada Carrillo  
Investigador

Guatemala octubre 2010

## INDICE GENERAL

TABLA DE CONTENIDO	PÁGINA
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
3 OBJETIVOS .....	5
3.1 General .....	5
3.2 Específicos:.....	5
4 HIPÓTESIS .....	5
5 MARCO TEÓRICO.....	6
5.1 Ecosistema forestal.....	6
5.2 Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica</i> , Miller).....	11
5.2.1 Morfología .....	13
5.2.2 Usos .....	13
5.2.3 Especies .....	13
5.2.4 Clasificación Taxonómica (Standley 1946) .....	15
5.3 Importancia de la especie <i>C. lusitanica</i> en Guatemala .....	17
5.4 Concepto de sitio .....	18
5.5 Calidad de sitio .....	18
5.5.1 Métodos indirectos.....	18
5.5.2 Métodos directos .....	19
5.6 Índice de sitio .....	19
5.6.1 Altura Mayor .....	20
5.6.2 Altura Dominante.....	20
5.6.3 Altura Promedio.....	21
5.7 Factores de crecimiento que influyen en la calidad de sitio .....	21
5.8 Correlación entre factores de crecimiento y calidad de sitio.....	22
5.8.1 Método de componentes principales.....	23

5.8.2	método de correlación canónica .....	26
-------	--------------------------------------	----

## INDICE GENERAL

5.8.3	Regresión Múltiple.....	26
5.8.4	Eliminación de Variables Correlacionadas entre si.....	30
6	METODOLOGÍA .....	32
6.1	Selección de la especie .....	32
6.2	Ubicación .....	29
6.3	Selección de sitios de muestreo y selección de rodales .....	29
6.4	Técnica metodológica .....	31
6.4.1	Identificación de los Índices de Sitio.....	31
6.4.2	Determinación de las Condiciones Fisiográficas .....	32
6.4.3	Determinación de las características edáficas .....	33
6.4.4	Perforación de calicatas .....	33
6.4.5	Toma de muestras de suelo.....	33
6.5	Trabajo de laboratorio.....	34
6.5.1	Determinación de densidad de aparente.....	34
6.5.2	Determinación de la retención de humedad .....	34
6.5.3	Determinación de la textura.....	34
6.5.4	Análisis químico del suelo .....	35
6.5.5	Determinación de la reacción del suelo (pH).....	35
6.5.6	Determinación de la capacidad de intercambio catiónico.....	35
6.5.7	Determinación de los contenidos de materia orgánica.....	35
6.6	Análisis estadístico.....	35
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
8	CONCLUSIONES.....	52
9	RECOMENDACIONES .....	53

10 BIBLIOGRAFÍA .....	54
-----------------------	----

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 distribución natural de ciprés, en México y Centro América.....	17
Figura 2. mapa de ubicación puntos de muestreo.....	30
Figura 3. familia de curvas par Índice de Sitio en ciprés .....	31
Figura 4. Mapa con los puntos de muestreo .....	38
Figura 5. Agua útil de acuerdo con la salinidad presente en el suelo.....	41
Figura 6. Mapa de índice de Sitios en correlación de las variables evaluadas .....	44

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. (factores de crecimiento que influyen en el desarrollo de las especies) ...	22
Cuadro 2. Factores fisiográficos evaluados en rodales de <i>C. lusitanica</i> .....	32
Cuadro 3. Forma del relieve de los sitios evaluados .....	32
Cuadro 4. Posición del sitio en el relieve.....	32
Cuadro 5. Factores de suelo evaluados para el estudio en ciprés .....	33
Cuadro 6. variables incluidas en el análisis de componentes principales .....	43
Cuadro 7. valores propios de los componentes principales .....	46
Cuadro 8. componentes principales .....	47
Cuadro 9. coeficientes de cada variable en cada componente principal .....	48
Cuadro 10. resumen de la regresión con factores.....	50
Cuadro 11. resumen de regresión con componentes principales.....	50



## I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, debido a factores económicos, sociales y técnicos, entre otros, la pérdida de la cobertura forestal asciende a 80,000 Ha/año. Para contrarrestar este efecto, desde el año 1988 a la fecha año 2009, se han implementado proyectos y programas de reforestación, tales como, cinco mil hectáreas, incentivos fiscales, programa de incentivos forestales –PINFOR- y programa de incentivos para pequeños productores –PINPEP-.

Estos programas han sido bien acogidos por la población, incluso, el proyecto cinco mil hectáreas rebasó la meta programada.

En alguna medida, estos proyectos han recuperado áreas desprovistas de árboles, que antes tuvieron bosques y que fueron deforestados.

Las reforestaciones han sido exitosas en algunos sitios, pero en otros se convierten en fracasos, porque la adaptación y crecimiento de los árboles no son los esperados, ejemplo de ello son las plantaciones de Ixcuná, los Aguacatillos, el Cambote, establecidos con las especies, *Pinus oocarpa*, Schiede, *Pinus montezumae*, Lambert, y *Cupressus lusitanica*, Miller.

Estas plantaciones fueron establecidas bajo el programa de Incentivos Fiscales, pero las mismas no llenaron las expectativas, por el escaso crecimiento de los árboles, debido a la poca información que se tiene sobre las condiciones ideales de crecimiento, para determinadas especies.

El adecuado crecimiento de los árboles en un sitio en particular, no solo tiene relación con los factores climáticos, de zonificación y fisiográficos, sino también con las condiciones físico-químicos del suelo prevaleciente en los sitios donde se planta. Estos factores son los que definen los índices de sitio, que son indicadores de crecimiento y desarrollo, específicos para cada especie forestal.

En Guatemala, para la selección de especies destinadas a un proyecto de reforestación, se toma como único criterio, la zona de vida donde se distribuye en forma natural la especie, pero es necesario conocer los factores edáficos (físicos y químicos) donde se desarrollan bien las especies en forma natural.

Este conocimiento permite establecer plantaciones de árboles con las especies que se adapten mejor a las condiciones climáticas (zonas de vida) pero también a las

condiciones de suelo predominantes.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, por medio de esta investigación se evaluaron las condiciones edáficas donde crece, en forma natural, el ciprés en Huehuetenango.

El propósito fue asociar algunas variables físicas, químicas y fisiográficas, de los diferentes sitios con crecimiento natural de la especie. (Ver **cuadro 5** en metodología)

Para diferenciar los sitios se utilizó el criterio de crecimiento en altura (Índice de Sitio) a partir de la familia de curvas de índices de sitio determinadas por Escobar, (1999) para conocer las características física y químicas del lugar (suelo) donde crece en forma natural el ciprés (*Cupressus lusitanica*, Miller).

La investigación tuvo como objetivo obtener información, para generar criterios cuantificables, sobre las condiciones o factores de crecimiento de *C. lusitanica*, para que al establecer una reforestación, se tomen en cuenta las condiciones climáticas, fisiográficas y edáficas apropiadas, especialmente en plantaciones con fines comerciales.

De esa manera las posibilidades para el crecimiento y desarrollo del arbolado aumentarán, debido a que la plantación se establece en condiciones de zona de vida, fisiográficas y de suelo óptimas para la adaptación y crecimiento de la especie en particular.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala se han hecho varias reforestaciones con fines comerciales, pero los resultados en términos de crecimiento y rendimiento, así como la calidad fenotípica de los individuos, no han sido muy halagadores<sup>1</sup>, probablemente, porque no existen estudios suficientes sobre las condiciones biofísicas que influyen en el crecimiento de las especies, esta información permitirá realizar una mejor planificación de los proyectos de reforestación.

La respuesta de estas plantaciones, provoca que las personas que se interesan en la reforestación pierdan interés, pues el bosque en estas condiciones no ofrece ningún incentivo económico. Este problema puede hacer que las reforestaciones a nivel del país disminuyan.

El ciprés común (*Cupressus lusitanica*, Miller) en Huehuetenango, la región de estudio, es utilizado y aprovechado con fines de comercialización, tanto local como internacional, especialmente hacia Japón y China, que compran madera en tablón, de tal manera que tiene importancia social y económica.

Por otro lado, el aprovechamiento de la especie está provocando el desaparecimiento de rodales puros de la misma, es necesario conocer los factores de crecimiento de los árboles para garantizar la recuperación de la masa boscosa en forma eficiente, para que su aprovechamiento sea sostenible.

Es necesario disponer de información de cada especie en particular, esta información debe en alguna medida predecir, en forma eficiente, el crecimiento y desarrollo del arbolado, para evitar el fracaso de las plantaciones.

Si hay buen crecimiento de los árboles, la edad de rotación del bosque disminuye y la explotación forestal en su conjunto, desde la siembra hasta la extracción, será atractiva económicamente, por esta razón es necesario conocer las características de suelo, pues determinan el crecimiento particular de una especie, de acuerdo con los enunciados de Karl Von Liebig “espacio para crecer” y “la ley del mínimo”. (Silva K., 2005).

---

<sup>1</sup> según observaciones del autor de la investigación, en diferentes lugares del país

Para obtener una proyección sobre la rentabilidad que tendrá una plantación se debe tener el conocimiento de las condiciones de suelo (químicas y físicas) donde crece en forma natural, en el caso del estudio el *Cupressus lusitanica* en Huehuetenango.

Para el estudio se utilizó como indicador de productividad, el Índice de Sitio, se correlacionó cada índice de sitio (IS) con las condiciones de suelo (físicas, químicas y fisiográficas) donde crece el ciprés en forma natural, con los datos obtenidos se realizó un análisis de correlación múltiple. La respuesta de crecimiento, constituyó una motivación para dedicarse a la silvicultura con fines comerciales, actividad muy necesaria en Guatemala, desde el punto de vista financiero, aún para el estado, la recuperación de áreas degradadas por el aprovechamiento inadecuado de los bosques, debe por lo menos permitir la recuperación de la inversión monetaria que se ha realizado durante el establecimiento y manejo de la plantación.

No obstante si se repiten constantemente los resultados que se dieron en las plantaciones de Ixcuná, los Aguacatillos, el Cambote, con las especies, *Pinus oocarpa* Schiede. *Pinus montezumae* Lambert. y *Cupressus lusitanica* Miller, en Huehuetenango y de algunas con *Pinus caribaea* en el departamento de Izabal, para citar algunos ejemplos, los propietarios de terrenos con vocación forestal, perderán el interés sobre la recuperación de áreas sin bosque y continuarán con la explotación agrícola y pecuaria, aunque tengan que invertir en fertilización y otros insumos para sostener la actividad productiva, porque la recuperación de la inversión es año con año.

Es necesario proporcionar a los silvicultores herramientas, con las cuales puedan tener la certeza de que las plantaciones de árboles crecerán y desarrollarán en forma apropiada, para que la utilización de la tierra con la actividad forestal sea atractiva y rentable, La información de la investigación, se convertirá en una herramienta que permite comparar las condiciones de suelo y fisiográficas, donde crece el *Cupressus lusitanica*, en Huehuetenango, utilizada apropiadamente puede garantizar que las plantaciones tendrán éxito y desarrollarán hasta convertirse en bosques, los cuales pueden ser aprovechados dentro de una actividad forestal productiva, con fines comerciales si ese fuera el caso.

### III. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo General

Generar información que sirva de base para el establecimiento de plantaciones forestales y la recuperación de los bosques de ciprés en las zonas de crecimiento natural en el departamento de Huehuetenango.

#### 3.2 Específicos:

- 3.2.1 Determinar los factores edáficos (físicos y químicos) que influyen en el crecimiento del *Cupressus lusitanica*, para correlacionar con los índices de sitio en el área de crecimiento natural de la especie, en Huehuetenango.
- 3.2.2 Establecer la correlación que existe entre los factores físicos: (arena, limo, arcilla, pendiente, Densidad Aparente, humedad disponible, infiltración básica) y químicos: (P, K Ca, Mg, Cu, Zn, Fe y Mn disponibles, la CIC, Ca, Mg, Na y K extractables, el %SB, MO y pH)<sup>2</sup> con respecto al crecimiento de los árboles de ciprés.
- 3.2.3 Determinar, si es posible, una ecuación de predicción para el crecimiento en altura del ciprés usando el Índice de Sitio como indicador de calidad, a partir de los valores de las variables edáficas (químicas y físicas) obtenidos en los sitios de muestreo para el estudio.

### IV. HIPÓTESIS

La asociación de los factores edáficos (físicos y químicos) y fisiográficos, permite explicar el índice de sitio (como indicador de crecimiento) de los árboles de *Cupressus lusitanica* Miller, en los bosques naturales de ciprés en Huehuetenango.

---

<sup>2</sup> P = fósforo, K = potasio, Ca = calcio, Mg = magnesio, Cu = cobre, Zn = zinc, Mn = manganeso, Fe = hierro, CIC = capacidad de intercambio catiónico, Na = sodio, PSB = porcentaje de saturación de bases, MO = materia orgánica, pH = potencial de hidrógeno en el suelo

## V. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Ecosistema Forestal

Bosque es una comunidad vegetal, predominantemente de árboles u otra vegetación leñosa, que ocupa una superficie de tierra, ampliando el concepto, puede decirse que "**bosque** es toda aquella superficie de tierra en donde se encuentran creciendo asociaciones vegetales, predominando árboles de diferentes tamaños que han sido explotados o no, capaces de producir madera u otros productos; influyen en el clima y en el régimen hidrológico y además brindan protección a la vida silvestre. (Silva K. 2005)

En su estado natural, el bosque permanece en condiciones autorreguladas durante un largo periodo de tiempo. El clima, el suelo y la topografía de la región determinan los árboles característicos del bosque. En su entorno local, los árboles dominantes están asociados con ciertas hierbas y arbustos. Tanto las plantas altas y grandes como la vegetación baja, que afecta a la composición del suelo, influyen en el tipo de vegetación que se da en el sotobosque.

Alteraciones como los incendios forestales o la tala de árboles por parte de la industria maderera, pueden cambiar el tipo de bosque. Si no se dan estas circunstancias, el desarrollo ecológico puede llevar a la comunidad vegetal a su clímax. En la actualidad, se están llevando a cabo programas para la gestión forestal apropiados, con el fin de mantener y proteger determinados tipos de bosques. En general se establecen ocho tipos fundamentales de bosques, en función del clima y del tipo de hoja. Entre ellos se distinguen los siguientes: (Silva K. 2005).

5.1.1 **Los bosques de coníferas** del norte de Eurasia y de América del Norte que forman un cinturón en las regiones subárticas y alpinas del hemisferio norte. Algunas coníferas del norte de América, también sobreviven en México, la región central de Guatemala y la región montañosa de Honduras, entre las que destaca por su importancia el Ciprés.

5.1.2 **Los bosques lluviosos**: son el bosque tipo mejor conocido de las regiones tropicales, pero en esta región también se encuentran bosques secos y bosques estacionales. La palabra "bosque lluvioso" (**rainforest**) se usa ahora para

describir a algunos bosques húmedos en los trópicos que no son "verdaderos" bosques lluviosos.

El sentido tradicional del término "bosque lluvioso" o **selva** es el de un bosque tropical con abundante y constante abastecimiento de lluvia y con árboles de hoja ancha.

Los bosques tropicales húmedos con árboles caducifolios son llamados comúnmente "bosques estacionales", debido a que experimentan una clara estación seca.

**5.1.3 El bosque templado:** Justo al sur de los bosques boreales septentrionales existe una comunidad boscosa decidua que viene a ser como una "transición" entre el bosque boreal y los bosques de hojas anchas de lugares más cálidos.

En el este de Norte América, los árboles dominantes de este bosque de transición son los arces, hayas y abedules, los cuales atraen multitudes cada año durante el otoño debido a sus espectaculares cambios de color. Los árboles de hoja ancha del Este de América del Norte muestran un hermoso colorido durante el otoño.

En este bosque crecen los arces de azúcar, de los cuales se extrae la savia que luego se hierve para hacer el jarabe de arce, este bosque también es habitado por el ave "carpintero chupador de savia" que, como lo sugiere el nombre, inusualmente incluye savia en su dieta.

Sin embargo, estos bosques no solamente tienen árboles caducifolios sino que también se encuentran muchas coníferas, las cuales continúan en los bosques boreales más al norte, hay muy pocas áreas en la zona templada donde el bosque esté formado exclusivamente de árboles caducifolios o por coníferas.

**5.1.4 Bosque deciduo o caducifolio** Los bosques deciduos o caducifolios (de hojas anchas) se encuentran en toda la zona templada donde el clima es húmedo. En las áreas más frías, los árboles son deciduos y muchos animales invernan o migran hacia el sur durante el invierno.

Durante el verano, estos bosques se convierten en el hogar temporal de muchas aves migratorias que vienen debido a la variedad de fuentes alimenticias durante esta época del año, tales como insectos y frutas. Los insectos son extremadamente abundantes en estos bosques debido a la gran cantidad de hojas.

En zonas más al sur, los árboles mantienen sus hojas todo el año y los bosques tienen una apariencia exuberante, casi tropical.

**5.1.5 Tundra alpina:** Con frecuencia, las cadenas montañosas interrumpen los bosques templados y, en altas elevaciones, el clima llega a ser demasiado severo para que pueda desarrollarse un bosque; con pequeños arbustos e hierbas. Es fácil observar la "*línea de árboles*" en las laderas montañosas -- por encima de este nivel, no crecen árboles.

A estas altitudes, los árboles son reemplazados por arbustos o, en algunos casos, formas atrofiadas, parecidos a arbustos, de algunas especies arbóreas (sauces, por ejemplo). Los cambios de vegetación en las montañas son tan bruscos que el ascenso de unos pocos cientos de metros equivale a trasladarse cientos de kilómetros hacia el norte.

**5.1.6 El bosque seco de coníferas:** Los bosques secos de coníferas son típicamente abiertos, con grandes espacios entre los árboles por donde la luz solar puede llegar al suelo y donde crecen hierbas y arbustos.

La mayoría de los bosques templados son de árboles de hoja ancha. Sin embargo, estos árboles requieren mucha agua debido a que pierden grandes cantidades de ella a través de sus hojas. En algunas áreas, el suelo es demasiado seco y arenoso para que los árboles de hoja ancha puedan crecer y las coníferas se adueñan de ellos. Lo mismo que en las coníferas de los bosques boreales más al norte, a través de sus agujas se evapora muy poca agua, por lo que requieren mucho menos humedad que los árboles deciduos.

Las coníferas en estos bosques templados son pinos, que tienen formas diferentes a las coníferas de los bosques boreales, ya que aquellos no tienen necesidad de crecer altos y con formas piramidales para deshacerse de la nieve, en una región que es cálida la mayor parte del año, incluso en invierno.

Los pinos también crecen en áreas que tienen suficiente humedad para que crezcan las hayas y otros árboles deciduos. Pero ¿Qué impide que los árboles de hoja ancha dominen estas áreas? Simplemente, *El fuego*, los pinos dependen del fuego para crecer en áreas que de otra manera, serían ocupados por los robles y encinos. Los pinos tienen una corteza gruesa que no se quema fácilmente, protegiendo la madera que está debajo. Las yemas de sus tallos están rodeadas por masas espesas

de agujas que arden a una temperatura baja que no daña las yemas. Los árboles de hoja ancha no tienen estas defensas, incluso un pequeño fuego los elimina.

Lo anterior da como resultado que en áreas con fuegos relativamente pequeños y frecuentes, los robles y similares no llegan a tener el tiempo necesario para alcanzar el tamaño para desplazar a los pinos. Inclusive, algunos pinos requieren de fuego para liberar las semillas de sus conos.

**5.1.7 El bosque lluvioso templado:** Los bosques lluviosos templados se desarrollan en el clima fresco y húmedo de la costa occidental de América del Norte, estados norteamericanos de Washington y Oregon y en Columbia Británica (Canadá).

Usualmente, se dice que los bosques lluviosos templados naturales, que no han sido talados, son bosques de "viejo crecimiento" debido a que los árboles son muy viejos y muy grandes. Estos árboles son, principalmente, coníferas, abeto de Sitka, abeto occidental, cedro rojo occidental, 'abeto' de Douglas. Muchos tienen más de 500 años de edad. Siempre hay algunos árboles jóvenes en los bosques de viejo crecimiento. Cuando cae un árbol viejo, se crea un espacio abierto por donde la luz solar puede llegar hasta el suelo y empiezan a crecer nuevas plantitas de árboles. En este ambiente húmedo, las bacterias y los hongos empiezan a descomponer el tronco caído, creando un lugar perfecto para las plántulas.

Aún cuando las coníferas sean los árboles dominantes, es posible encontrar algunos de hoja ancha, como el arce de hoja ancha. Los musgos y helechos prosperan en el hábitat húmedo del bosque lluvioso templado, dándole al bosque una exuberante apariencia lo cual comúnmente se asocia más con los bosques tropicales.

Las aves son abundantes pero pueden ser difíciles de ver si permanecen en el dosel del bosque ya que los árboles pueden tener 70 metros de alto o más. Es fácil observar agujeros en los troncos de los árboles, hechos por los pájaros carpinteros ('picamaderos').

Los gigantescos árboles coníferos del bosque lluvioso templado son mantenidos por altos niveles de precipitación. Con frecuencia los árboles llegan a tener 1 metro o más de diámetro, y las ramas inferiores se encuentran a 15 metros sobre el nivel del suelo. Estos bosques son remanentes de los vastos bosques de coníferas que cubrían

un área mucho mayor hace millones de años.

Aún cuando presentan una apariencia exuberante, los bosques lluviosos templados carecen de la diversidad de especies vegetales y animales que se encuentra en el bosque lluvioso tropical.

En estas áreas templadas, usualmente hay solamente dos o tres especies de coníferas que son especialmente abundantes, con otras especies esparcidas, y unas pocas especies de hoja ancha localizadas en áreas abiertas y soleadas., aunque el bosque lluvioso templado presenta la misma apariencia en todas partes de su limitado rango, hay diferentes especies arbóreas en áreas diferentes.

Por ejemplo, el abeto de Sitka es uno de los árboles más abundante cerca de la costa pero su rango se limita a más o menos 15 kilómetros de la costa debido a que necesita mucha humedad que es suministrada por la neblina que cubre las regiones costeras. Después de esta distancia del océano, otras especies dominan el bosque lluvioso templado.

La madera del abeto de Sitka es valiosa por su pulpa, por esta razón, ha sido sembrado en plantaciones comerciales lejos de su hábitat natural de la costa occidental de Norte América.

**5.1.8 El bosque boreal:** El bosque boreal es una franja de coníferas que se extiende a través de América del Norte, Europa y Asia y que, antes de su explotación y de los asentamientos, cubría casi todas las latitudes norteadas del globo. Las principales coníferas son píceas, pinos y abetos.

En las regiones más al norte, el bosque boreal es gradualmente menos denso, se encuentran grupos de árboles pequeños y descarnados, finalmente, el bosque boreal da paso a la tundra. En algunas áreas montañosas el bosque boreal puede extenderse hacia el sur, mas de lo usual, en las montañas Apalaches.

El alerce, con sus hojas deciduas en forma de aguja, es un árbol común en los bosques boreales. En general, la biodiversidad de estas regiones parece ser baja, con grandes superficies dominadas por una sola especie de árbol, la mayor parte de la vida en estos bosques está oculta. Las especies animales grandes se presentan en cantidades relativamente bajas, y durante el invierno puede haber áreas que asemejen a un bosque "vacío". Pero, aún cuando apenas haya 10 especies de árboles en todo un

bosque, hay varios miles de especies de hongos micorrízicos que crecen bajo tierra.

Las ramas muertas tienden a apilarse alrededor de las bases de los árboles, y algunas partes del bosque pueden llegar a ser demasiado espesas y oscuras, impidiendo el crecimiento de las plantas más pequeñas, el suelo se cubre con una capa de agujas, las cuales son ásperas y no se descomponen fácilmente.

Las condiciones frías y la corta estación de crecimiento reduce la velocidad de descomposición por bacterias, por lo que el suelo permanece pobre, los árboles solamente pueden tener acceso a los nutrientes de las hojas caídas en asociación con los hongos.

Las grandes redes superficiales de las raíces de estos árboles están rodeadas por capas de estos hongos, extendiéndose hacia arriba, los hongos descomponen las agujas, liberando productos químicos que pueden ser absorbidos por los árboles. Los hongos se benefician al recibir otros nutrientes, directamente de las raíces del árbol, que ellos no pueden producir.

El *pino blanco oriental* tiene agujas largas y duras. En ciertas áreas es posible encontrar unos cuantos árboles de hoja ancha reunidos en grupos esparcidos, pero los árboles en el bosque boreal son casi exclusivamente siempre-verdes con hojas en aguja.

Las agujas son delgadas y agrupadas, lo que les permite desprenderse de la nieve y bloquear el viento. Ellas tienen una cubierta cerosa que ayuda a evitar las pérdidas de agua, y contienen una savia espesa y azucarada que evita el congelamiento durante el invierno.

El número y tipos de animales que viven en los bosques boreales están influenciados por estas agujas. Estos bosques no pueden mantener un número grande de especies animales vegetarianas que, en regiones más al sur, se comen las hojas más suaves y más digeribles de los árboles de hoja ancha. Las agujas son indigeribles para casi todos los animales, desde el caribú y pequeños roedores hasta la mayoría de las aves.

## 5.2 Ciprés (*Cupressus lusitanica*, Miller)

Según Standley, 1946 los cipreses son árboles de hojas perennes, corteza fibrosa, a veces se descascara, color gris o café grisáceo. Hojas aromáticas, opuestas,

escamiformes, densamente imbricadas, con ramas terminales anguladas en plantas jóvenes. Flores solitarias, diminutas, terminando en bifurcaciones cortas, el estambre y el pistilo en ramas separadas, estróbilos en forma ovoide u oblongo, es amarillo, consiste de 6 a 12 estambres por inflorescencia, cada estambre con 2 a 6 células, de antera globosa, colgantes.

Los pistilos florecen en forma sub globosa, los conos globosos o subglobosos, maduran en la segunda estación y están compuestos de 6 a 12 capas superpuestas, moderadamente lignificados, normalmente con una secreción en el ápice allanado, en cada capa se produce una semilla, por lo tanto en cada fruto hay numerosas semillas comprimidas, anguladas, aladas, normalmente las más pequeñas son estériles, tienen 3 a 4 cotiledones.

Ciprés es el nombre común de varios árboles y arbustos del grupo de las coníferas, del género *Cupressus*. Es nativo de la región mediterránea, es una planta de hoja perenne que recuerda la forma piramidal de algunos álamos y alcanza con frecuencia una altura de más de 25 m.

Forma una madera amarilla o rojiza, de vena apretada y tan resinosa que resiste la putrefacción incluso después de una inmersión prolongada en agua. Se cultiva para formar setos protectores, para repoblar o como planta ornamental y es un árbol común en los cementerios. También se cultiva con mucha frecuencia en los jardines y con fines ornamentales el ciprés de Arizona procedente del norte de México y del suroeste de los Estados Unidos.

Es un árbol de zonas cálidas o templadas, de crecimiento rápido, que puede alcanzar los 20 m de altura con un diámetro aproximado de unos 60 cm. Es una conífera de hojas perennes, de la familia de las *Cupresáceas* y pertenece al grupo de las gimnospermas.

Crece naturalmente en cualquier parte del mundo, con las temperaturas y suelos adecuados, pero es cultivado comercialmente en África oriental, Sudáfrica y Nueva Zelanda.

Muchas de las especies se cultivan como árbol ornamental en parques y jardines de Europa y en Asia se sitúan junto a los templos. En Argentina el ciprés de la cordillera es la conífera de mayor extensión geográfica

### 5.2.1 Morfología

Tiene forma piramidal, su crecimiento es rápido en los primeros años de vida, pero se vuelve lento después y puede alcanzar los 300 años de vida. Posee un tronco recto y de corteza delgada en la que se forman fisuras longitudinales. Las hojas son muy pequeñas (2-6 mm de longitud) con forma de escama, alineadas en parejas opuestas y decusadas.

Florece a finales del invierno y en un mismo ejemplar se producen flores masculinas y femeninas; las masculinas forman conos ovales de color verdoso que cuelgan de las puntas de las ramas, los femeninos son ligeramente esféricos, se componen de alrededor de 12 escamas y al desarrollarse se convierten en una gámbula globular de 3x4 cm, de color verde al principio tornándose a rojizo y marrón al alcanzar la madurez.

### 5.2.2 Usos

Su madera es de color pardo amarillento claro, de textura fina y, generalmente, de grano recto; no es resinosa y suele desprenderse de ella un aroma similar al del cedro. Se la suele utilizar para la construcción de cajas, y las mejores selecciones de ella pueden utilizarse también en tablas decorativas, pilotes, tornería, chapas de guitarras, se utiliza en cosmética

### 5.2.3 Especies

El número de especies reconocidas de cipreses en todo el mundo varía bastante, entre 16 y 25 o quizá más. Esto es debido a que la mayor parte de las poblaciones son pequeñas y se encuentran aisladas, por lo que es difícil clasificarlas según el rango de especie, subespecie o variedad.

#### **A. Especies del Nuevo Mundo**

Estos cipreses tienden a tener conos con relativamente pocas escamas (entre 4-8, raramente más en *C. macrocarpa*), cada escama con una espina prominente y estrecha. Pruebas genéticas muy recientes evidencian que están menos emparentados con las especies del Viejo Mundo de lo que se pensaba anteriormente, teniendo más parentesco con los *Callitropsis* y *Juniperus*. Por lo tanto, se está considerando un cambio en la clasificación genérica en un futuro, ya sea a los *Callitropsis* o a un nuevo género.

El ciprés de Monterrey (*Cupressus macrocarpa*) propio de la costa californiana del Pacífico, es un árbol que puede alcanzar hasta 46 m de altura y 3 m de circunferencia. Suele ser simétrico, pero adopta formas extravagantes por la acción del viento. El llamado cedro de Portugal (*Cupressus lusitanica*) es un verdadero ciprés, muy cultivado por el efecto decorativo de sus ramas abiertas. Este árbol es de crecimiento natural en Guatemala.

Los llamados falsos cipreses son especies muy cultivadas en jardinería; uno de los más usados para este fin y del que se han obtenido numerosas variedades, es el llamado cedro de Oregon o ciprés de Lawson (*Chamaecyparis lawsoniana*) originario de Estados Unidos.

El ciprés calvo o de los pantanos (*Taxodium distichum*) es una especie de México y el sur de los Estados Unidos muy apreciada por su madera; es caducifolio, con un enorme tronco de hasta 52 m de altura; en realidad es de la familia Taxodiaceae crece junto a pantanos y corrientes de agua y emite unas raíces aéreas o neumatóforos que asoman por encima de la superficie y suelen aprovecharse para construir cuadernas para embarcaciones de madera.

## **B. Especies del Viejo Mundo**

Estos cipreses tienden a tener conos con más escamas (entre 8-14, raramente 6 en *C. funebris*), cada escama con una ancha y corta cresta, no una espina. *Cupressus sempervirens* es la especie tipo del género y define el nombre ciprés.

*Cupressus americana* Trautv.

*Cupressus cashmeriana* Royle ex Carr. - ciprés de Bután

*Cupressus chengiana* S.Y.Hu - ciprés de Cheng

*Cupressus duclouxiana* Hickel - ciprés de Yunnan

*Cupressus dupreziana* A. Camus - ciprés del Sahara

*Cupressus atlantica* Gaussen (*C. dupreziana* var. *atlantica*) - ciprés de Marruecos

*Cupressus funebris* Endl. - ciprés llorón.

*Cupressus gigantea* W. C. Cheng & L. K. Fu - ciprés del Tibet

*Cupressus leylandii* A.B.Jacks. & Dallim.

*Cupressus sargentii* Jeps.

*Cupressus sempervirens* L. - ciprés del Mediterráneo originario de la zona que le da su

nombre

*Cupressus sphaerocarpa* Parl.

*Cupressus torulosa* D. Don - ciprés del Himalaya

#### 5.2.4 Clasificación Taxonómica

El ciprés que crece en forma natural en los bosques de Guatemala pertenece a la familia *Cupressaceae*. En esta familia taxonómica existen otras especies como: el ciprés común es *Cupressus sempervirens*.

El ciprés de Arizona es *Cupressus arizonica*; el ciprés de Monterrey es la especie *Cupressus macrocarpa*; el llamado cedro de Portugal que se clasifica como *Cupressus lusitánica*, es el ciprés común de Guatemala.

El cedro de Oregon o ciprés de Lawson es *Chamaecyparis lawsoniana*; el ciprés de los pantanos corresponde a *Taxodium distichum*, de la familia *Taxodiaceae*.

El ciprés de Guatemala (*Cupressus lusitánica*, Miller) tiene la clasificación siguiente:

Reino:	Plantae
División:	Pinophyta
Clase:	Pinopsida
Orden:	Pinales
Familia:	Cupressaceae
Género:	Cupressus
Especie.	<i>C. lusitánica</i>

(cedro blanco; teotlate) son nombres distintivos usados en México, es una especie de ciprés nativo de México y de Centroamérica: Guatemala, El Salvador y Honduras. Y ha sido extensamente introducido en Belice, Nicaragua y Costa Rica. Crece a altitudes de 1500-3500 msnm. Se le llama también Ciprés de Portugal.

El nombre *C. lusitánica* se debe a su introducción en Portugal en el siglo XVII en el Convento de Buçaco. Después, los ejemplares allí cultivados se enviaron a otros países de Europa y a Brasil, desde entonces continua llamándose con el mismo nombre. En México les molesta que se le llame ciprés de Portugal porque se niega el verdadero origen de esta conífera. Y de hecho prefieren usar su sinónimo del nombre

científico: *Cupressus lindleyi*.

El cedro blanco llega a medir de 30 a 40 m de altura, incluso más en su hábitat natural. Cuenta con un tronco recto de 1,5 a 2 m de diámetro, corteza rojiza marrón en especímenes jóvenes y grisácea o blanquecina en los ejemplares centenarios.

La copa es cónica, con ramas extendidas, monopódicas. La corteza es fisurada y el follaje es denso. Las hojas son escamosas, con márgenes lisos y enteros. Los conos son casi redondos, de 12 a 15 mm. ubicados a lo largo de las ramas. Fructifica a partir de agosto a enero. La maduración de sus frutos se da de octubre a enero, se abren los conos con gran cantidad de semillas aladas.

Forma bosques puros en su hábitat natural, donde generalmente prevalece el clima frío húmedo, con suelos profundos y alto contenido de materia orgánica.

#### 5.2.5 Cultivos y usos

Prefiere el riego moderado y suelo arenoso; aunque también se adapta a suelos pobres en materia orgánica. Se desarrolla al sol y es muy resistente a las bajas temperaturas; Crece muy bien en condiciones templadas y frías, pero crece mejor a media sombra.

Es un árbol muy longevo, de rápido crecimiento y resistente a la sequía. Se ha introducido en diversas partes del mundo y es cultivado tanto por su valor ornamental como por su madera y es un árbol muy utilizado como cerco vivo. Se ha plantado ampliamente para su producción comercial en la industria papelera: a altas altitudes en Colombia (3300 msnm), Bolivia y Sudáfrica, y cerca del nivel del mar en Nueva Zelanda donde está completamente naturalizado.

En Colombia se plantan estos cipreses para crear cortinas cortavientos y luchar contra la erosión del suelo causadas por actividades humanas en las laderas de las montañas.

Ha sido plantado en lugares de clima templado como ornamental cerca del nivel del mar y se ha desarrollado bien: Buenos Aires, (Argentina); Austin, Texas y en las Islas Británicas, puede alcanzar una altura de 30 m en las Islas Británicas.

Está siendo plantado en la provincia argentina de San Luis, Argentina a 1500 msnm con fines de forestación para crear bosques artificiales en una tierra originalmente desprovista de ellos en el sentido estricto (ya que la vegetación natural allí es de matorral alpino) en un clima muy similar al de su lugar de origen.

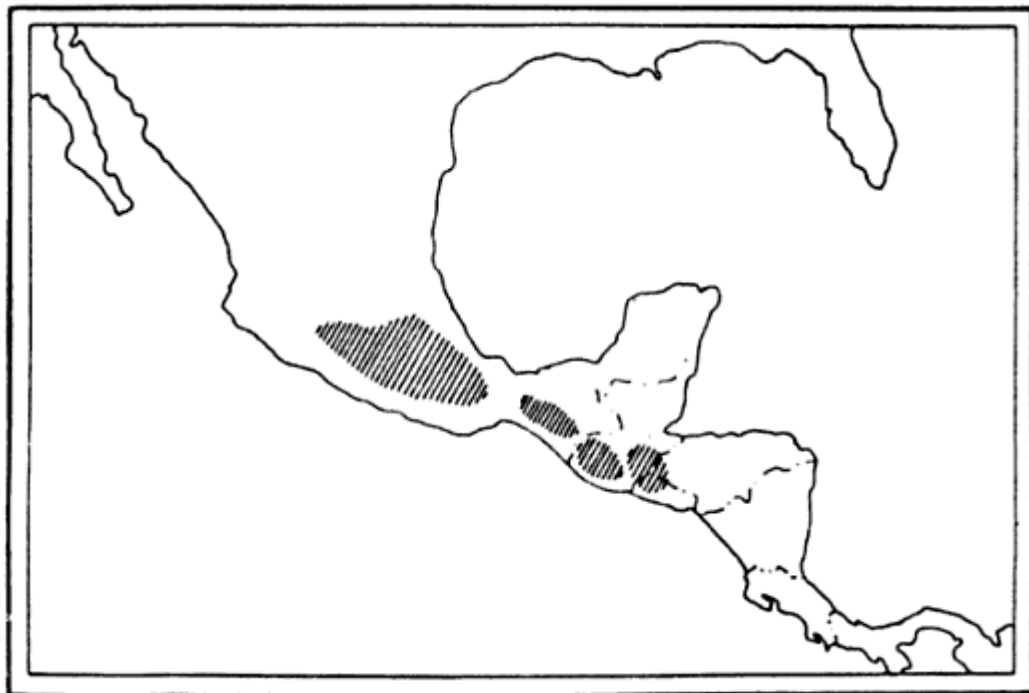
### 5.3 Importancia de la Especie (*C. Lusitanica*) en Guatemala

La madera de ciprés es muy apreciada, principalmente para ebanistería. Por otro lado, también es sujeto de exportación, por lo que es de importancia económica y puede convertirse en un rubro importante en la adquisición de divisas para Guatemala.

La especie *Cupressus lusitánica*, se distribuye en Centroamérica desde el Sur de México hasta Honduras.

En las zonas montañosas de Guatemala, se puede encontrar en la meseta de los Cuchumatanes, en la sierra madre (Montañas del altiplano Occidental del País) y la Sierra de las Minas

En Guatemala existen dos zonas de vida en las cuales la especie *Cupressus lusitánica* crece en forma natural, estas son, Bosque muy húmedo Montano Bajo Sub tropical y bosque muy húmedo Montano Subtropical, como se aprecia en la Figura 1



**Figura 1** Distribución natural de ciprés (*Cupressus lusitánica*. Mill.) en México y América Central<sup>3</sup>

Lógicamente, el crecimiento es diferente en cada zona de vida y aún dentro de cada zona, el crecimiento de la especie puede variar, debido a los factores de crecimiento que influyen en el desarrollo de los árboles, en cada sitio donde crece. (Escobar, 1999).

<sup>3</sup> Plano tomado de la colección de guías silviculturales del CATIE

Generalmente crece en suelos muy húmedos con buena permeabilidad, ricos en materia orgánica. Por lo general, la especie aparece en los bosques clímax del altiplano, asociado con *Abies Guatemalensis* y algunas especies del género *Pinus*.

#### 5.4 Concepto de Sitio

Según la sociedad de forestales de EE. UU, se define como un área en términos de su ambiente, la cual tiene la capacidad de soportar una vegetación particular. Pero esta vegetación se evalúa en función de las especies arbóreas, y se define una calidad de sitio para cada especie en particular.

Según Salas G. (1974), el sitio es un lugar definido en la superficie de la tierra, con condiciones particulares, sobre el cual influyen los factores de crecimiento, suelo, clima, vegetación, topografía, material original y el ser humano.

Como se anotó en los párrafos anteriores, cada especie forestal tiene un crecimiento definido por la productividad del sitio, puesto que cada especie responde en forma diferente a la interacción de los factores de crecimiento, o a un factor específico, de allí que algunos árboles crecen en sitios anegados (sauce, *Taxodium mucronatum*, pochote, *Pachira acuatica*) mientras que otros mueren en sitios con estas características (ciprés, *Cupressus lusitanica*, pino del caribe, *Pinus caribaea*)

#### 5.5 Calidad de Sitio

Es el carácter o cualidades distintivas que define en forma relativa el grado de productividad de un lugar, considerando que la productividad es el resultado de la asociación de todos los factores de crecimiento que interactúan en un lugar, lo cual determina el desarrollo y el tipo de vegetación que crece en ella.

La posibilidad o capacidad de crecimiento en un sitio es dinámico, de tal manera que puede ser modificada por el manejo forestal, especialmente con actividades que influyen sobre los factores de crecimiento. Heirberg y White, 1976.

Según Carmean, (1967) y Clutter *et al.* (1983). los métodos para determinar la calidad de sitio son los siguientes:

##### 5.5.1 Métodos indirectos

- A. *Estimación a través de la relación de las especies del sotobosque.* La relación se realiza a través de la evaluación de la densidad y variabilidad de los diferentes

individuos vegetales dentro del sitio evaluado, ya que entre más ocupado este el sitio, mayor será la posibilidad de soportar el crecimiento de una especie forestal.

- B. *Estimación a través de los factores climáticos, edáficos y topográficos.* En este caso se establecen las condiciones generales de adaptación de especies forestales y al momento de plantar o introducir una especie se buscan esas características para tener la oportunidad de crecimiento de la especie.

#### 5.5.2 Métodos directos:

- A. *Por registro histórico de rendimiento,* lo cual se obtiene a través de parcelas de medición permanente, en las cuales se miden año con año, las variables dasométricas (altura, diámetro) de los árboles, y se relaciona la edad con el incremento (crecimiento en volumen) de los árboles medidos, dependiendo de la especie que tenga la parcela de medición permanente.
- B. *Estimación a partir de datos de volumen del rodal.* Con la utilización de los pares de datos altura-diámetro (pares alométricos) se obtiene la capacidad productiva en volumen del sitio evaluado, para hacer una relación de productividad o calidad de sitio.
- C. *Estimación a partir de datos de altura del rodal.* Generalmente la estimación de datos de altura se obtienen por medio de un análisis fustal, a través de obtener pares alométricos de edad-altura (al mismo tiempo que el diámetro-altura) de árboles dominantes de un arbolado natural, los cuales son tumbados y analizados, de tal manera que se obtienen pares de datos como en las parcelas de medición permanente. La diferencia estriba en que los datos son una estimación del crecimiento histórico del árbol muestra (dominante) dentro del arbolado, además se evalúan por lo menos 30 o más árboles dominantes en diferentes sitios dentro del bosque natural (Escobar, 1999).

#### 5.6 Índice de Sitio

Según Revolorio Q. A de J. (1996) este es un término que define una calidad de sitio, se obtiene por medio de la altura de los cien árboles dominantes por hectárea a una edad determinada, Para verificar la altura dominante, se obtiene una muestra del bosque, con un área definida, para obtener una relación matemática del número de

árboles dominantes.

El índice de sitio es útil para estimar la calidad de un sitio, no obstante el índice de sitio como estimador de la calidad tiene algunas limitaciones. Las cuales son las siguientes:

5.6.1 La altura sólo es uno de los componentes del volumen y el índice de sitio no es indicador de la productividad en volumen.

5.6.2 El índice de sitio provee poca información sobre las relaciones ecológicas que influyen en la productividad alcanzada.

5.6.3 Durante la estimación del índice de sitio, se necesita mucha precisión para la elaboración de la familia de curvas de índice de sitio. Existen varias formas de definir las alturas dominantes por hectárea.

#### A. Altura Mayor

*Son los cien árboles más altos por hectárea en un bosque determinado.* En un bosque debido a la variabilidad genética y a los factores de crecimiento, se establece una competencia por espacio para crecer entre los árboles, lo cual hace que algunos desarrollen más rápido en altura, de forma que dominan el dosel del bosque y se convierten en los árboles más altos del mismo.

Los árboles con estas características reflejan el potencial productivo del sitio. Por esta razón, la altura mayor es un buen indicador, para determinar la relación matemática, por medio de una familia de curvas de Índice de Sitio, a través de una ecuación de la forma  $Y = a + b * (\text{Log } X)$ . En donde X es la edad del árbol.

#### B. Altura Dominante

Es el promedio de altura de los cien árboles con mayor diámetro por hectárea, en un bosque en particular.

De acuerdo con lo expresado en el ítem de altura mayor, los árboles que crecen más rápido dentro del arbolado, tienen más espacio para crecer, por lo cual el incremento de estos árboles será mejor, por lo cual el diámetro de los mismos es

mayor.

Entonces, si medimos los diámetros de los cien árboles más gruesos, por asociación, serán los árboles dominantes o más altos dentro del dosel y así obtenemos la capacidad productiva de un sitio.

De acuerdo con Montero y Ortega, (1988) la altura dominante como indicador de la productividad de un sitio, puede provocar las desventajas siguientes:

- ✓ Dificultad para interpretar al establecer los límites en la dinámica de crecimiento de los árboles dominantes, en bosques naturales.
- ✓ Puede establecerse un intercambio entre los árboles dominantes, en las primeras etapas de crecimiento del arbolado, aunque esta asociación se da únicamente en los primeros dos o tres años, de acuerdo con los datos obtenidos a partir de estudios de plantaciones de rápido crecimiento.
- ✓ Puede existir una condición genética de crecimiento o de tipo edáfico, por el cual los árboles son dominantes, aunque esto es problema solamente en unidades de muestreo muy pequeño.

### C. Altura Promedio

Esta altura es definida como la altura de los árboles con área basal promedio dentro de un bosque. Por analogía si los mayores árboles son los más gruesos, los árboles de diámetro promedio serán los que tendrán la altura promedio dentro del rodal.

## 5.7 Factores de Crecimiento que Influyen en la Calidad de Sitio

De acuerdo con Donoso, (1987), La lluvia y la temperatura son los factores climáticos que tienen mayor influencia sobre la distribución y crecimiento de los bosques, por lo cual se pueden usar como indicadores de la productividad forestal.

La altitud sobre el nivel del mar, es un factor que influye directamente sobre los cambios de temperatura, es por ello que las especies tienen rangos altitudinales, porque está asociada con los cambios de temperatura, ya que debido a la altitud el aire se hace menos denso y más seco, por lo tanto, tiene menos capacidad de absorber el calor.

Según Barros (1981) y Auten (1945), La topografía se relaciona con los microclimas, además, a través de sus tres componentes, aspecto, exposición y posición, pueden modificar el contenido de humedad del suelo y el régimen de nutrición del sitio, por lo cual tiene una marcada influencia sobre el crecimiento.

De acuerdo con Hocker, (1984). Cualquier característica ambiental se constituye en un factor que influye en el crecimiento de un árbol

Los factores que influyen en el crecimiento de los bosques se pueden clasificar en tres grandes grupos. Cada factor se presenta en el Cuadro # 1

**Cuadro 1.** (Factores de crecimiento que influyen en el desarrollo de las especies)

CLIMÁTICOS	FISOGRÁFICOS	EDÁFICOS	
		Factores físicos	Factores químicos
Precipitación Temperatura Luminosidad (horas luz, calidad) Evapotranspiración potencial Humedad relativa Velocidad del viento	Latitud – longitud Exposición Topografía Relieve Altura sobre el nivel del mar Pendiente	Arena, limo, arcilla (textura) Humedad Disponible Densidad Aparente Infiltración base Profundidad radicular Profundidad efectiva	P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Na, CIC Saturación de bases (%SB) Potencial de hidrógeno (pH) Contenido de M.O disponibles y extractables

### 5.8 Correlación entre Factores de Crecimiento y la Calidad de Sitio

Según Santalo (1980). La relación entre los factores ambientales y el crecimiento de una especie forestal en particular, es posible analizarla por la interacción de los factores y el crecimiento, a través de cuantificar la interacción de los factores de crecimiento entre si y la forma en que interactúan.

Se debe recordar que el bosque es un sistema dinámico, autónomo, formado por una comunidad natural y su medio ambiente físico.

Hay que tomar en cuenta las complejas interacciones entre los factores del sistema, para el caso particular del estudio los árboles de ciprés y los factores edáficos anotados anteriormente, los cuales interactúan entre si y hacia el crecimiento de los árboles para proporcionar un determinado Índice de Sitio.

### 5.8.1 Método de componentes principales

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión en el número de variables. Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo es reducirlas a un menor número, pero perder la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores son una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí.

Este análisis garantiza que las variables generadas por este procedimiento están incorrelacionadas entre sí, lo que asegura la inexistencia de multicolinealidad entre estas *variables ficticias*, pueden ser utilizadas como estimadores para un modelo de regresión, previa interpretación de su significado. El inconveniente de este procedimiento es que no se garantiza que estas *variables ficticias* conserven el poder explicativo sobre las variables que se tratan de explicar

Es una herramienta estadística multivariada, en este caso se obtienen funciones lineales de tipo  $Y = f(x)$  que influyen en la variable dependiente, pero es necesario que tengan una varianza máxima entre sí, para evitar la multicolinealidad, al momento de realizar la correlación. (Santalo, 1980. y Sharma, 1996).

**A.** Los alcances de un análisis de componentes principales son:

- ✓ Reducir la dimensión del problema, para futuros análisis.
- ✓ Eliminar en lo posible, algunas de las variables originales si éstas no aportan información con sentido, sobre la variable dependiente o explicada.
- ✓ Obtener funciones lineales que expliquen el comportamiento de los factores de crecimiento, sobre la respuesta de la especie evaluada.

El análisis de componentes principales puede encuadrarse dentro del conjunto de técnicas multivariantes conocidas como métodos factoriales, se pretende sintetizar un gran conjunto de datos, crear estructuras de interdependencia entre variables cuantitativas para crear unas nuevas variables que son función lineal de las originales y de las cuales se puede hacer una representación gráfica.

El objetivo del análisis de componentes principales es reducir la dimensión de un conjunto de  $p$  variables a un conjunto  $m$  de menor número de variables para facilitar la interpretación de los datos. Las nuevas variables (los componentes principales) determinan lo esencial de las variables originales, son una combinación lineal de ellas

que además tienen propiedades interesantes:

- ✓ Son ortogonales (cada componente representa una dirección del espacio de las variables originales)
- ✓ Cada puntuación está incorrelacionada con la anterior
- ✓ La primera componente es la que más varianza contiene y la j-ésima tiene más varianza que la j-1 ésima...
- ✓ Las primeras j componentes dan la solución de mínimos cuadrados del modelo  $Y = X B + E$

Si hay relaciones estocásticas entre las “p” variables originales, se puede condensar esa información en otras “m” variables que explican sólo la variación del sistema, descartando la información redundante, con esto se consigue eliminar la colinealidad entre variables al momento del análisis de correlación.

El método de componentes principales, permite la sustitución de variables por agrupaciones (funciones) de las mismas, sin perder mucha información, para este método se construyen funciones con varianza máxima, de tal manera que no exista correlación entre las variables independientes evaluadas.

Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales, habrá pues, que estudiar tanto el signo como la magnitud de los coeficientes. Esto no siempre es fácil, y es de vital importancia el conocimiento que el experto tenga sobre la materia de investigación.

#### **B. Fases de un análisis de componentes principales**

- ✓ Análisis de la matriz de correlaciones

Un análisis de componentes principales tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total.

- ✓ Selección de los factores

La elección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo factor debe recoger la máxima variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente.

Del total de factores se elegirán aquellos que recojan el porcentaje de

variabilidad que se considere suficiente. A éstos se les denomina componentes principales.

✓ Análisis de la matriz factorial

Una vez seleccionados los componentes principales, se representan en forma de matriz. Cada elemento de ésta representa los coeficientes factoriales de las variables (las correlaciones entre las variables y los componentes principales).

La matriz tendrá tantas columnas como componentes principales y tantas filas como variables.

Entonces una alternativa es la aplicación de un análisis factorial, recomendable cuando el número de variables con altas correlaciones es elevado y resulta difícil determinar cuáles de ellas constituyen la causa determinante de la variabilidad de las variables endógenas, cuyo objetivo es reducir la dimensión de la matriz de variables explicativas.

El análisis factorial se caracteriza por construir variables que son una combinación lineal de las originales, de modo que se maximiza el poder explicativo de las causas comunes que ocasionan la variabilidad del conjunto de variables explicativas.

Además, este análisis garantiza que las variables generadas por este procedimiento están incorrelacionadas entre sí, lo que disminuye la multicolinealidad entre estas *variables ficticias*, pudiendo ser utilizadas como regresores en un modelo de regresión, previa interpretación de su significado.

**Los componentes principales son nuevas variables con las propiedades siguientes:**

1. Conservan la variabilidad inicial: la suma de las varianzas de los componentes es igual a la suma de las varianzas de las variables originales y la varianza generalizada de los componentes es igual a la original. Se comprueba el primer punto. Como  $\text{var}(z_h) = \lambda_h$  y la suma de los valores propios es la traza de la matriz:

$$\text{tr}(S) = \text{Var}(x_1) + \dots + \text{Var}(x_p) = \lambda_1 + \dots + \lambda_p;$$

Por tanto,

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i) = \sum_{i=1}^p \lambda_i = P$$

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(z_i).$$

Las nuevas variables  $z_i$ , tienen conjuntamente la misma variabilidad que las variables originales. Los componentes principales también conservan la Varianza generalizada, (determinante de la matriz de covarianzas de las variables). Como el determinante es el producto de los valores propios, llamando  $S_z$  a la matriz de covarianzas de los componentes, que es diagonal con términos  $\lambda_i$ :

$$|S_x| = \lambda_1 \dots \lambda_p = \prod_{i=1}^p \lambda_i$$

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(z_i) = |S_z|.$$

2. La proporción de variabilidad explicada por un componente es el cociente entre su varianza, el valor propio asociado al vector propio que lo define, y la suma de los valores propios de la matriz. En efecto, la varianza del componente  $h$  es  $\lambda_h$ , y la suma de las varianzas de las variables originales es  $P$

$\sum_{i=1}^p \lambda_i$ , igual, a la suma de las varianzas de los componentes.

La proporción de variabilidad total explicada por el componente  $h$  es  $\lambda_h/P$ .

3. Las covarianzas entre cada componente principal y las variables  $X$  vienen dadas por el producto de las coordenadas del vector propio que define el componente por su valor propio.

### 5.8.2 Método de Correlación Canónica

Según Gauch, HG. (1976) El análisis de correlación canónica puede ser un instrumento adecuado para tratar los supuestos en los que se dispone de información de un conjunto numeroso de variables que pueden agruparse en dos grupos, el primero formado por las variables independientes y el segundo por las dependientes, es posible que dentro de cada grupo se observe un elevado grado de correlación entre las variables.

Una posibilidad para resolver este problema es eliminar variables que estén altamente correlacionadas, seleccionando las que estén menos correlacionadas entre sí y que además mantengan una influencia sobre las variables endógenas fácilmente interpretable. (Hotelling, H. 1936).

Cuando se pretende explorar la estructura de datos multidimensionales y las relaciones complejas que se establecen entre dos grupos de variables, el modelo multivariante de correlaciones canónicas constituye una excelente técnica que revela al menos la correlación máxima que se puede obtener entre las funciones lineales de dichos grupos de descriptores

El método de las correlaciones canónicas, desarrollado inicialmente por Hotelling, (1936) es una generalización de la regresión múltiple que tiene por objeto encontrar la correlación máxima entre las combinaciones lineales (variables canónicas) de dos grupos de descriptores.

Para Legendre & Legendre (1979). La correlación canónica es utilizada como una técnica exploratoria, no es comúnmente utilizada para probar hipótesis específicas.

Se utiliza cuando ambos conjuntos de variables se encuentran al menos en un nivel (a escala) de intervalo. Usualmente se utiliza la correlación canónica cuando las variables de cada conjunto pueden ser agrupadas conceptualmente, pero se quiere ver si existen subconjuntos particulares que se relacionen con subconjuntos del otro conjunto de variables, de manera que no se desea sumar cada conjunto para calcular una puntuación total.

En la correlación canónica, los coeficientes de las variables indican en cierta forma la importancia de cada variable, lo cual facilita la interpretación.

Con la correlación canónica se obtienen valores de "b" como coeficientes que determinan el peso o influencia (correlación) que tiene esa variable en particular sobre la variable dependiente, en este caso el crecimiento del ciprés (*Cupressus lusitanica*) expresado en altura por medio del Índice de Sitio.

Mediante el análisis de correlación canónica se pueden obtener diferentes grupos de variables como combinación lineal de las variables de input, que maximizan la correlación con otro grupo de variables que representan al conjunto de los outputs. Sobre la base de estas variables, se pueden realizar entonces los análisis, si es

necesario se pueden transformar.

El análisis de correlación canónica puede ser un instrumento adecuado para tratar los supuestos en los que se dispone de información de un conjunto numeroso de variables que pueden agruparse en dos grupos, el primero formado por las variables explicativas y el segundo por las explicadas y, además, dentro de cada grupo se observa un elevado grado de correlación entre las variables.

### 5.8.3 Regresión Múltiple (método stepwise)

La regresión múltiple, método stepwise consiste en que cada variable independiente (factores de componentes principales, explicados anteriormente) se prueba en forma secuencial, para evaluar su influencia sobre la variable dependiente.

Para la presente investigación, el Índice de Sitio, con la finalidad de obtener una ecuación de predicción, si es que las variables introducidas en la regresión pueden explicar la variable dependiente.

### 5.8.4 Eliminación de Variables correlacionadas entre si

Otra posibilidad, para resolver el problema de tener una gran número de variables es eliminar variables que estén altamente correlacionadas entre sí, seleccionando las que estén menos correlacionadas y que además mantengan una influencia fácilmente interpretable, sobre las variables endógenas.

De acuerdo con Barrientos (1982), se puede evaluar si es justificable la introducción desde el punto de vista estadístico de variables discriminadas, mediante el análisis de las correlaciones existentes entre las variables explicativas, para nuestro caso, de los índices de Sitio obtenidos.

En ocasiones, la dificultad que entraña encontrar una buena base de datos puede justificar la selección de las mejores variables de entre las disponibles, ya que las variables que tienen mucha correlación entre si, al momento de realizar cualquier análisis estadístico, se presenta el fenómeno de colinealidad y los resultados no son confiables. (Santalo, 1980).

Por tal razón, cuando se dispone de una base estadística suficientemente amplia es necesario prescindir de algunas variables para evitar la colinealidad en la evaluación estadística de regresión, esta selección puede implicar pérdida de información,

relacionada con las variables que no se han introducido en el estudio.

La pérdida de la mencionada información se evita al realizar la discriminación con criterio técnico y con propiedad, justificada por medio de la alta correlación que existe entre las variables para anularlas y trabajar con las que indiquen y satisfagan a criterio del investigador, la respuesta que se busca, en este caso el crecimiento de los árboles de ciprés, reflejada por el índice de sitio.

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 Selección de la especie

La selección de la especie se realizó debido a la importancia que el ciprés tiene en Huehuetenango, desde el punto de vista comercial, forestal y ecológico, además porque el autor al ser asesor de algunos trabajos de investigación para tesis de grado, que son trabajos preliminares sobre el ciprés, *Cupressus lusitanica*, en Huehuetenango, especialmente la de Índice de Sitio, por Escobar, (1999). Se utilizaron los resultados para la ejecución del presente trabajo de investigación.

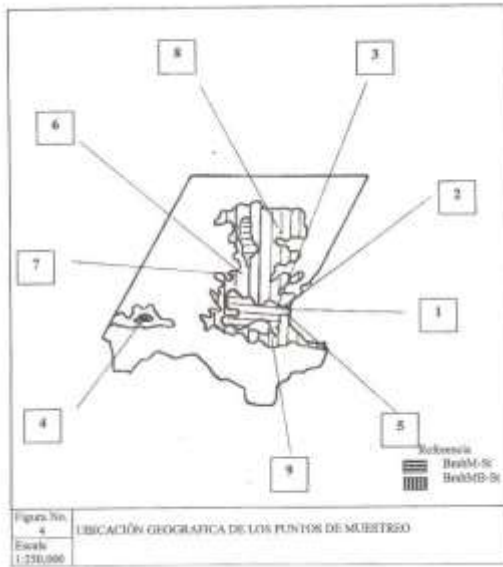
### 6.2 Ubicación

El estudio se realizó en las montañas de Huehuetenango, en las zonas de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) donde el *Cupressus lusitánica* crece en forma natural, específicamente en las montañas La Magdalena, Quilín Novillo, El Pericón, Peña Blanca, El retiro, en los municipios de Todos Santos, San Juan Ixcoy, Chiantla, Aguacatán, Cuilco, en el departamento mencionado.

### 6.3 Selección de los Sitios de Muestreo y Selección de Rodales

Para la selección de los sitios de muestreo se utilizó el mapa de índice de sitio, elaborado por Escobar, según se observa en la Figura # 2<sup>4</sup>

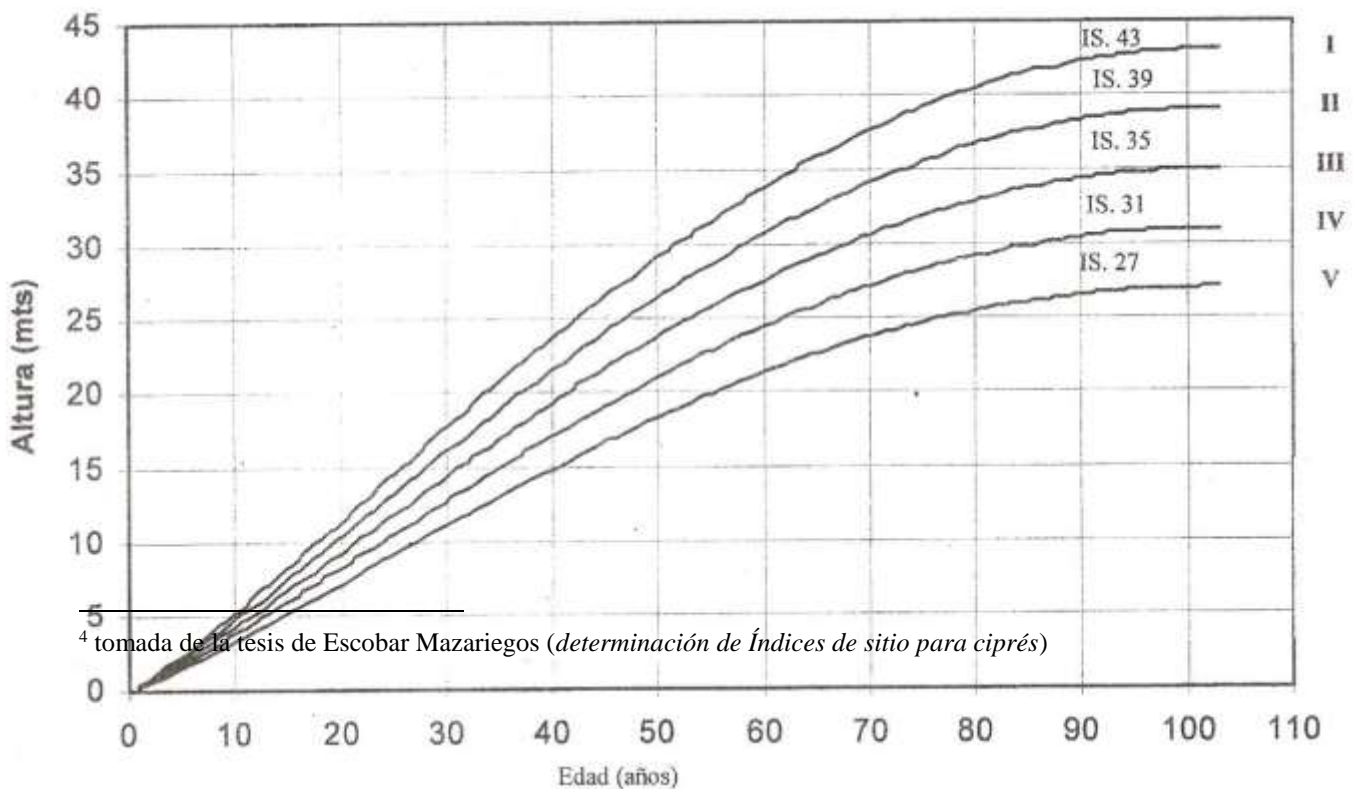
Inicialmente, los lugares en donde Escobar extrajo las muestras para el análisis fustal fueron una parcela para el presente estudio, como puntos de muestreo, estos sitios ya cuentan con su indicador de calidad (potencial de crecimiento) y se correlacionó con las variables edáficas y fisiográficas que se obtuvieron.



**Figura 2.** Mapa de ubicación puntos de muestreo

Con la finalidad de aumentar el tamaño de la muestra, se eligieron otros sitios de muestreo dentro de los bosques naturales de ciprés, en Huehuetenango.

Se obtuvieron datos de edad-altura para obtener el Índice de Sitio de cada lugar con el fin correlacionar con la familia de curvas de Índice de Sitio (IS) propuestas por Escobar. De acuerdo con la Figura # 3



<sup>4</sup> tomada de la tesis de Escobar Mazariegos (*determinación de Índices de sitio para ciprés*)

### Figura 3. Familia de curvas para Índice de Sitio en ciprés<sup>5</sup>

De esta forma se determinaron los Índices de Sitio en otros lugares dentro en las zonas de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB-S) y Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical (bmh-MB-S) en diferentes lugares con crecimiento natural de ciprés en Huehuetenango. Para definir las zonas de muestreo se tomaron los rodales, en la medida de lo posible, sin intervención del hombre, poco alterados.

Ya identificados los sitios de muestreo se procedió a recolectar la información correspondiente, de acuerdo con la siguiente secuencia.

#### 6.4 Técnica Metodológica

##### 6.4.1 Identificación de los Índices de Sitio

Para conocer el índice de sitio, en un rodal elegido como muestra, se procedió a identificar los árboles dominantes del mismo (100 arb/Ha). A estos se les midió la altura con el hipsómetro y se determinó la edad utilizando el barreno de presler.

En algunos lugares, donde estaba autorizado un aprovechamiento forestal, después del apeo de los árboles (los dominantes) se aprovechó el apeo, para medir la altura real con cinta y se contaron los anillos en el tocón, para determinar la edad (con excepción de los sitios evaluados por Escobar) con el fin de obtener el Índice de Sitio que corresponde en cada uno de los sitios de muestreo, sobre la base de la familia de curvas diseñadas por (Escobar, 1999) Ver Figura # 3

Cada índice de sitio se consideró en forma preliminar una parcela de muestreo. De esta forma se obtuvieron 25 sitios de muestreo, por lo tanto se levantaron 50 muestras de suelo para análisis de laboratorio, debido a la separación de horizontes realizada.

---

<sup>5</sup> Elaborada por (Escobar Mazariegos 1999) tesis de grado

Después de obtenido el Índice de Sitio en cada punto de muestreo se procedió a obtener las variables fisiográficas y edáficas, de acuerdo con la secuencia siguiente. (No en forma estricta).

#### 6.4.2 Determinación de las Condiciones Fisiográficas

Las variables de carácter fisiográficos que se evaluaron en este grupo de factores de crecimiento se enumeran en el Cuadro # 2.

**Cuadro 2.** Factores fisiográficos evaluados en rodales de *C. lusitanica*

Latitud – Longitud
Exposición al viento y a la luz
Pendiente
Posición en el relieve (cima, escarpe, parte baja)
Altura sobre el nivel del mar

Para determinar la exposición de la pendiente del terreno, con respecto al eje de coordenadas (norte-sur, este-oeste) se utilizó una brújula, y se midió sobre la longitud de la pendiente dominante en la parcela.

Por otro lado, en cada punto de muestreo, se midió la altura sobre el nivel del mar, por medio del GPS calibrado. Al mismo tiempo se tomaron las coordenadas geográficas, para la elaboración de mapas en Arc-View. Con la finalidad de obtener un mapa base de las calidades de sitio de la especie. Para la forma del relieve se utilizó el código propuesto por TOBIAS, H. (1997) anotados en el Cuadro # 3: La Fisiografía también se anotó de acuerdo con la propuesta de Hugo Tobías, ver Cuadro # 4

**Cuadro 3.** Forma del relieve de los sitios evaluados

Forma	Código
Convexo	1
Recto	2
Cóncavo	3

**Cuadro 4.** Posición del sitio en el relieve

Terraza	Planicie
Pendiente Convexa	Pendiente Cóncava

fondo de valle	depresión
Escarpe	Talud

#### 6.4.3 Determinación de las características edáficas

Las variables usadas entre los factores edáficos se enumeran en el Cuadro # 5:

**Cuadro 5.** Factores de suelo y sitio evaluados para el estudio en ciprés

FISICAS	QUÍMICAS
Textura (% de arena, limo, arcilla)	Elementos Intercambiables
Densidad Aparente	Elementos Disponibles
Capacidad de campo -cc-	Potencial de Hidrógeno -pH-
Punto de Marchitez Permanente -PMP-	Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC-
Humedad Disponible (retención de humedad)	% de saturación de bases -SB-
Drenaje (infiltración base)	Contenido de Materia Orgánica -MO-
Profundidad Efectiva	
FISIOGRÁFICAS: Pendiente y altura sobre el nivel del mar	

Con respecto al drenaje, se determinó la infiltración base y para ello se utilizó el método de Porchet (Reeve, SE, 1957), se anotaron los valores de conductividad hidráulica o infiltración base de cada sitio de muestreo. La medición de la pendiente se realizó con clinómetro, utilizando la longitud de la pendiente dominante y la altura sobre el nivel del mar con altímetro y GPS.

#### 6.4.4 Perforación de calicatas

Las calicatas se elaboraron en cada parcela de muestreo, con el fin de determinar la estructura del suelo, la profundidad efectiva de las raíces, definir las diferentes capas del suelo, hacer una clasificación preliminar, verificar material original, descripción de color, profundidad de horizontes, consistencia y para determinar si existen horizontes que impiden el crecimiento de las raíces.

#### 6.4.5 Toma de muestras de suelo

Para efectuar los análisis correspondientes, se tomaron muestras de suelo a dos

profundidades, con el fin de evaluar el suelo de acuerdo con los parámetros normales, de 0 a 30 cm; de 30 a 50 cm. A esta profundidad se encuentra la mayoría de raíces de los árboles en zonas subtropicales, observado por el autor, durante la investigación.

A estas profundidades existen los mayores cambios en la concentración de los elementos minerales, entre las capas superficiales y las capas más profundas.

## 6.5 Trabajo de Laboratorio

Las muestras obtenidas en cada localidad, se llevaron al laboratorio de la FAUSAC, para el análisis correspondiente.

### 6.5.1 Determinación de densidad de aparente

La densidad aparente se determinó pesando 40 gramos de suelo cernido y homogéneo, se colocó la muestra en una probeta de 100 ml. Luego se le aplicaron algunos golpes secos, en la base de la probeta, para compactar la muestra, después se midió el volumen compactado y se utilizó la fórmula siguiente para obtener la densidad aparente.

Densidad aparente (dens. Apar.) = peso de la muestra / volumen de la muestra

### 6.5.2 Determinación de la retención de humedad

La humedad del suelo se evaluó a una presión de 1/3 de atmósfera o sea la capacidad de campo (cc). Además se midió la humedad a 15 atm. de presión (punto de marchites permanente PMP) utilizando un horno de presión y plato poroso para extraer el agua de la muestra, la capacidad de campo y el punto de marchites permanente se calculan así:

$$PMP \text{ o } cc = (\text{masa de agua retenida (a } 1/3 \text{ o } 15 \text{ atmósferas)} / \text{peso seco}) * 100$$

Para ello se secó la muestra en un horno, como en el paso anterior. Luego se obtuvo la humedad efectiva del suelo, restando los valores de retención de humedad a 15 y a 1/3 de atmósfera. Los datos obtenidos se utilizaron para la correlación y la regresión.

### 6.5.3 Determinación de la textura

En este caso se secó la muestra al aire libre, se desmenuzó el suelo sin romper las partículas, se tamizó con malla de dos milímetros y se tomó una sub-muestra para

los análisis. la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla, se usó el método de Bouyucos. La clase textural se determinó utilizando el triángulo de texturas, del Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA)

#### 6.5.4 Análisis químico del suelo<sup>6</sup>

Para determinar las concentraciones de los elementos minerales (mayores y algunos menores) se utilizaron los métodos de *Carolina del Norte, la colorimetría, la espectrofotometría, el método de absorción atómica, la turbidimetría y el método de digestión de Kjeldahl.*

#### 6.5.5 Determinación de la reacción del suelo (pH)

Para la determinación de la reacción del suelo, se usó el método del potenciómetro, (Díaz - Romeu; Baleri, 1967. Berch, F. 1995).

La acidez intercambiable no se midió porque la reacción de las muestras de suelo no fueron suficientemente ácidas como para que se considerará necesario.

#### 6.5.6 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico

En este caso se utilizó el método del acetato de amonio 1 normal con pH 7.0, de acuerdo con la metodología descrita por Díaz-Romeu y Balerdi, (Díaz-Romeu, 1967).

#### 6.5.7 Determinación de los contenidos de materia orgánica

Los contenidos de materia orgánica de las muestras fueron determinados por medio de la metodología propuesta por Walkey y Black.<sup>7</sup>

### 6.6 Análisis Estadístico

Fue necesario determinar que variables del conjunto de factores edáficos influyen directamente en el crecimiento (altura, diámetro, volumen) de la especie y determinan una calidad de sitio en particular.

Las características fisiográficas por ser variables no numéricas, no se les realizó análisis porque no se pueden correlacionar entre sí, ni contra la variable dependiente en este caso el Índice de Sitio, para el análisis de componentes principales únicamente

---

<sup>6</sup> Los métodos fueron los utilizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la USAC, (información proporcionada por el Ing. Ms. C. Aníbal Sacbajá (2005)

<sup>7</sup> *Ibíd*em FAUSAC

se utilizaron, la pendiente y la altura sobre el nivel del mar que si son variables numéricas.,

Es necesario hacer una aclaración más, ya que las profundidades de muestreo, 0-30 y 30-50 se separaron, con el fin de realizar un análisis exploratorio de las mismas, para verificar algunos datos que pueden introducir errores al momento de los análisis.

El gran número de datos (variables) y el poco tamaño de la muestra (baja cantidad de observaciones) al momento de realizar la correlación, puede provocar colinealidad y por ende errores en los resultados del análisis de correlación.

Posterior a la exploración y discriminación de variables, se realizó el análisis de componentes principales, con las variables que se eligieron como las que pueden proporcionar información sobre el crecimiento del ciprés, dichas variables aparecen en el cuadro 6, incluido en tema de Resultados y Discusión, por medio del cual se determinaron los factores principales,

El resultado de este análisis arrojó cuatro factores principales, el primer factor con tres variables significativas, el segundo con tres variables significativas, el tercer factor con una variable significativa y el cuarto factor con dos variables significativas.

La magnitud de los coeficientes de las variables significativas, indica la importancia que tiene cada variable, al momento de realizar la interpretación.

#### 6.6.1 Fases de un análisis de componentes principales

- A. Análisis de la matriz de correlaciones:** Un análisis de componentes principales tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total.
- B. Selección de los factores:** La elección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; y así sucesivamente, hasta alcanzar la máxima variabilidad o se considere suficiente. A éstos se les denomina componentes principales.
- C. Análisis de la matriz factorial:** Seleccionados los componentes principales, se representan en forma de matriz. Cada elemento de ésta representa los coeficientes factoriales de las variables (*las correlaciones entre las variables*

*y los componentes principales)*

**D. Interpretación de los factores:** Para que un factor sea fácilmente interpretable debe tener las siguientes características, las cuales son difíciles de conseguir. Los coeficientes factoriales deben ser próximos a 1, una variable debe tener coeficientes elevados sólo con un factor, no deben existir factores con coeficientes similares.

Además, se ejecutó una regresión por el método stepwise utilizando los cuatro factores determinados a través de los componentes principales, en los cuatro componentes principales del análisis son nueve variables las que influyen en el crecimiento del ciprés, estas son:

1. factor 1 (densidad aparente, magnesio, y CIC)
2. factor 2 (calcio, % SB, y pH)
3. factor 3 (fósforo)
4. factor 4 (Materia Orgánica y Humedad Disponible).

Los factores obtenidos a través los componentes principales, fueron las variables utilizadas para obtener una ecuación de predicción. Pero como resultado no se obtuvo ningún modelo de predicción para el Índice de Sitio.

## **7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **7.1 Sitios de Muestreo**

Como se anotó en el acápite de la metodología, se obtuvieron 25 sitios de muestreo, como se observa en la Figura # 4, de tal manera que se identificaron 25 índices de sitio en las dos zonas de vida con presencia natural de ciprés (*Cupressus lusitanica*).

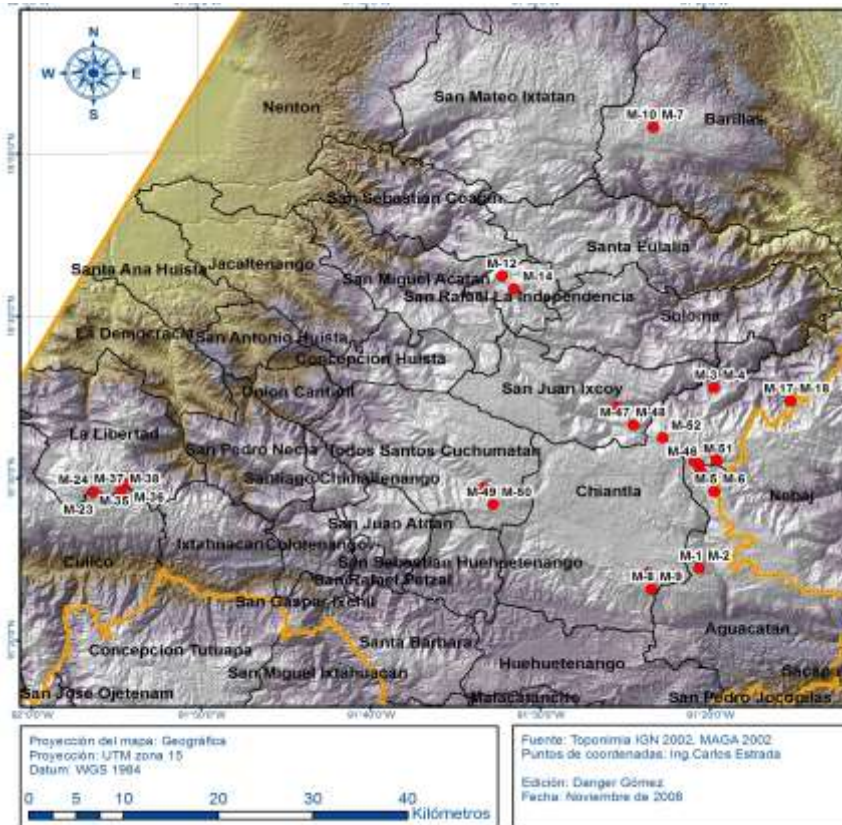


Figura 4. Mapa con los puntos de muestreo

## 7.2 Discriminación de Variables

Antes de principiar la discusión sobre los resultados de los análisis realizados, es necesario discutir lo siguiente:

Se separaron los datos de los diferentes horizontes, es decir, las profundidades de muestreo, de 0 – 30 cm. Y de 30 – 50 cm. Con el propósito de realizar un análisis exploratorio de las variables.

Por medio de la exploración inicial se discriminaron algunas variables por su alta correlación entre sí, por ejemplo, los elementos disponibles y los elementos intercambiables (calcio, magnesio, potasio, etc.) ya que provocan colinealidad durante el análisis.

De acuerdo con lo expresado, la discriminación de las variables se logró de la manera siguiente:

7.2.1 El Ca, Mg, Na, K y %SB valores que se obtuvieron por medio del análisis de las muestras de suelo, son elementos disponibles y elementos extractables, de tal manera que se puede eliminar los extractables, que son elementos retenidos por

las arcillas a través de las cargas iónicas de las mismas. Estos elementos de acuerdo con la dinámica del suelo son cedidos hacia la solución del suelo y se convierten en elementos disponibles, entonces es suficiente con evaluar un grupo de estos, lógicamente es mejor utilizar los elementos disponibles, (según Berch ,1995)

7.2.2 Estos dos grupos de elementos (disponibles y extractables) tienen muy alta correlación entre sí, por lo que provocan colinealidad al efectuar el análisis estadístico.

7.2.3 En lo que respecta al sodio (Na), este es un elemento que puede llegar a provocar problemas en la absorción de los nutrientes, cuando el pH este arriba de 7 y la presencia del sodio mismo sea alto (meq/100 grs.) entonces, las plantas tienen problemas al absorber agua y los otros nutrientes presentes en la solución, ya que necesita mucha fuerza de succión para introducirla en las raíces, tal como se ilustra en la Figura # 5. Pero, este no es el caso de los resultados de la muestra.

El Sodio es uno de los elementos nocivos sobre la textura de suelos y cosechas.

Una alta concentración de Sodio dispersa las partículas coloidales de suelo y se vuelve duro y resistente a la penetración de agua.

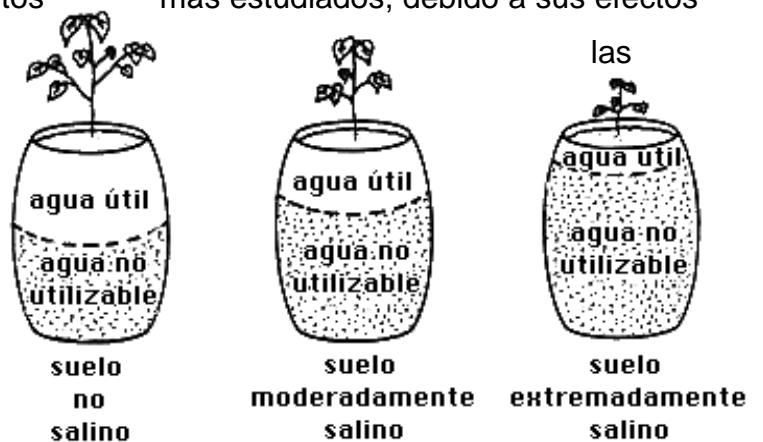


Figura 5. Agua útil de acuerdo con la salinidad presente en el suelo

La acumulación de presión osmótica en el suelo debido a la alta concentración de Sodio hace que las raíces de las plantas tengan dificultades para la absorción de agua.

Las plantas son sensibles a los cambios de salinidad del suelo y cuando esta sobrepasa un cierto límite, su crecimiento se transforma, reduciendo, por lo tanto, su productividad.

La concentración de sales solubles eleva la presión osmótica de la solución del suelo, Si se toma en cuenta que el agua tiende a pasar de las soluciones menos

concentradas a las más concentradas, para diluir éstas últimas e igualar la presión osmótica de ambas.

Se entiende entonces que, cuando la concentración salina en la solución del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua tenderá a salir de las plantas hacia la solución del suelo.

Debido a este efecto se plantea la teoría de la sequedad fisiológica, en la que se postula que en medios salinos, aunque exista una humedad elevada, las plantas sufren estrés hídrico, se secan y acaban muriendo.

7.2.4 En lo que respecta a la saturación de bases (%SB) ocurre lo mismo que en la relación de elementos disponibles y extractables, que existe muy alta correlación entre sí, ya que la SB es alta o baja, según sea la presencia de los elementos o bases intercambiables y por ende disponibles en un momento dado dentro del suelo.

7.2.5 Por otro lado, los elementos menores como Cobre, Manganeso, Zinc, no se tiene información sobre que estos elementos influyan en el crecimiento y la adaptación de los cipreses, anotada como el Índice de Sitio en el presente estudio. Además, la naturaleza del suelo juega un papel fundamental en la disponibilidad de los micronutrientes. Las tres causas de deficiencia de los micronutrientes son: a) baja concentración de un elemento en el suelo, b) presencia de una forma química que no puede ser utilizada por la planta, y c) efecto antagónico entre distintos elementos.

Pero, estas causas están relacionadas con las propiedades del suelo, por ejemplo el pH elevado de los suelos ocasiona la retención de estos elementos, fijándolos en formas no disponibles para las plantas (Fancelli, 2006).

El contenido total de un nutriente en el suelo no siempre se relaciona con la fertilidad química pero es un indicador a utilizar para tener una aproximación de la riqueza potencial del elemento, (Ratto, SE, 2006).

7.2.6 En cuanto al hierro, este puede llegar a ser tóxico, siempre y cuando el pH del suelo este en rango menores a 4, en estas condiciones el hierro está soluble en forma de FeOH (hidróxidos de hierro) y se convierte en elemento tóxico, porque enmascara a otros nutrientes, que dejan de ser absorbidos por la planta y son

absorbidos los FeOH.

De acuerdo con los rangos de pH obtenidos en los suelos muestreados, los valores son adecuados, de tal manera que no se presume un problema por solubilidad de Fe.

### 7.3 Factores Edáficos que Influyen en el Crecimiento de Ciprés

Después de la discriminación teórica y técnica de las variables, se incluyeron tres de carácter físico, ocho de carácter químico y dos se refieren a la fisiografía del lugar. Se incluyen y discuten de la manera siguiente,

#### 7.3.1 Factores Físicos

Para las variables físicas que se discriminaron, se hace una anotación variable por variable, de la forma siguiente:

- A. La textura del suelo determina la densidad aparente, por lo cual las variables arcillas, limos y arenas como variables, pueden ser eliminadas porque la densidad aparente, explica por sí sola, la relación porcentual entre ellas.
- B. Por otro lado, la capacidad de campo, y el punto de marchites permanente son variables porcentuales de retención de agua, de tal manera que el agua disponible es la simple resta entre el PMP y la cc.

Para el caso particular del estudio, con el agua disponible que se analice es suficiente para explicar la correlación con el Índice de Sitio,

#### 7.3.2 Factores Químicos

Las variables químicas que se incluyeron dentro del análisis de componentes principales se describen a continuación, de acuerdo a como se discriminaron en su oportunidad.

- A. Elementos disponibles, los cuales se encuentran en la solución del suelo, específicamente, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, la categoría de elementos disponibles indica que son los más fácilmente absorbidos por las plantas, por lo cual se incluyen en el análisis.
- B. La capacidad de intercambio catiónico –CIC- que es la capacidad que tienen los suelos de almacenar elementos, que posteriormente son cedidos a la solución

del suelo, se tomó como variable dentro del análisis ya que obviamente influye en el Índice de Sitio de los árboles, incluyendo el ciprés.

- C. El porcentaje de saturación de bases (%SB) que se refiere a la cantidad de elementos de carácter básico que saturan o no la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, está íntimamente relacionado con la disponibilidad y absorción de los elementos por las raíces, de tal manera que se incluyó como variable en el análisis de componentes principales.
- D. El pH del suelo, que determina directamente la solubilidad de los elementos nutricionales es importante como variable de crecimiento, ya que aunque exista alta concentración de elementos nutricionales si el pH no es adecuado, los elementos no están disponibles, por que no están en solución y no pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas.
- E. La materia orgánica, es un componente muy versátil dentro del suelo, como humus influye en la capacidad de retención de nutrientes –CIC-, además en algunas variables físicas como la textura y retención de humedad, por esta razón se incluye dentro del análisis.

### 7.3.3 Factores Fisiográficos

Debido a que la mayoría de factores fisiográficos que se tomaron en el campo no son numéricas, no pueden ser incluidas en un análisis estadístico paramétrico, entonces, solamente se incluyó la altura sobre el nivel del mar y la pendiente, que si son variables numéricas.

Cuando es necesario (obligatorio) utilizar variables no paramétricas, se utilizan pruebas no paramétricas, que permiten convertir las variables en paramétricas utilizando secuencias especiales, propuestas por los autores de cada método no paramétrico que ha sido propuesto.

Las variables, paramétricas, incluidas para el análisis de componentes principales se anotan en el Cuadro # 6.

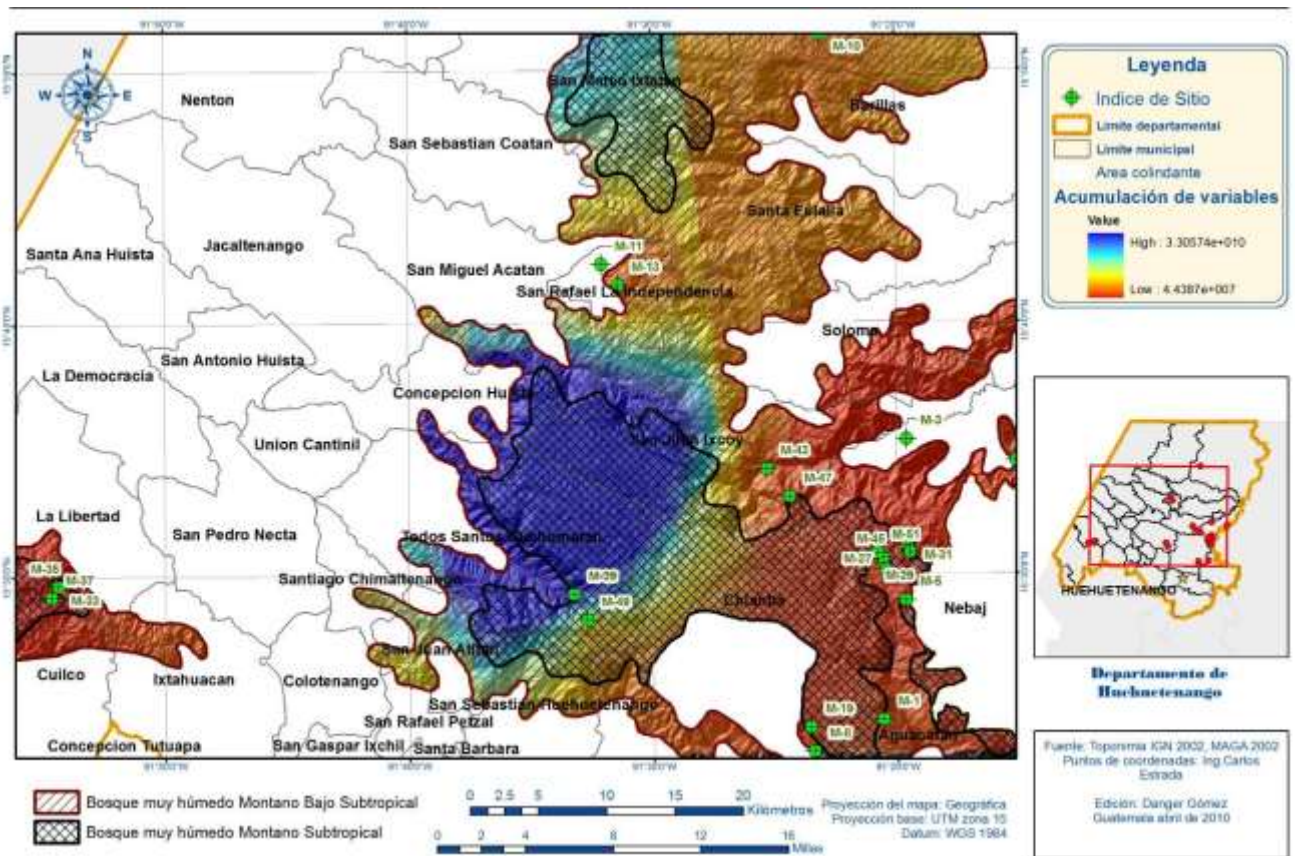
**Cuadro 6.** Variables incluidas en el análisis de componentes principales

dep/indep	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
IS	D. A	H. D	I Base	P	K	Ca	Mg	CIC	% SB	%MO	pH	ASNM	Pend.
39	0.976	5.85	23.653	3.36	88	4.37	1.8	19.6	45.72	0.98	5.8	3021	65
43	0.870	7.37	4.804	2.43	18	2.5	0.62	32.8	15.13	6.28	5.3	3139	30
35	0.800	6.86	11.338	2.73	23	2.18	0.41	28	12.04	5.46	5	3111	10
31	1.333	9.18	12.225	1.8	78	18.41	16.86	7.6	100	1.74	7.4	2585	25
39	0.976	3.66	23.679	2.96	110	5.3	2.36	18.8	45.14	0.89	5.9	2842	20
43	1.026	6.75	6.890	2.03	95	12.17	9.1	19.2	100	2.94	6.3	2594	15
31	1.111	3.34	7.761	2.19	43	5.3	16.45	6	100	1.16	7.6	2796	50
39	0.777	9.76	6.508	3.12	320	6.86	2.21	28	32.57	10.65	5.8	2856	55
39	0.816	8.3	6.613	3	70	4.68	1.8	45.6	100	12.56	7.3	2500	50
35	0.800	16.23	3.710	3.46	210	4.99	0.87	30.8	28.69	11.48	5.2	3090	40
35	0.909	10.44	8.887	3.34	220	4.99	0.77	28	29.59	6.07	5.3	2850	45
39	0.808	16.24	1.749	2.82	73	0.94	0.26	28.4	8.31	22.18	5	3154	30
35	0.808	14.31	3.301	3.4	315	5.3	1.34	29.6	37.42	10.17	5.5	3356	75
39	0.755	12.36	0.802	7.41	200	10.92	1.34	32.4	50.25	21.95	5	3050	20
39	0.741	9.14	1.152	5.05	208	10.61	1.18	30	55.66	20.55	4.6	3091	70
39	0.769	7.99	1.561	6.15	215	9.98	0.93	30.8	48.05	15.33	4.4	3091	50
39	0.769	8.81	1.022	4.28	128	12.79	0.93	33.09	51.18	18.48	5	3200	60
39	0.741	9.04	1.766	4.01	163	13.73	0.98	31.3	23.82	18.26	4.8	3200	21
39	0.755	8.55	1.936	4.66	160	8.74	1.13	29.13	20.7	4.06	4.8	3190	55
31	1.081	10.28	24.789	33.96	218	19.34	3.24	15.65	100	9.46	6.2	3028	49
31	1.081	7	27.713	3.95	53	24.96	0.51	29.13	98.44	2.94	7.1	1973	70
39	0.800	14.8	14.887	3.13	38	11.86	0.62	37.83	36.27	17.18	5.1	3113	63
31	0.889	10.75	20.728	2.85	113	29.95	1.08	30.43	100	9.04	6.3	2873	25
35	0.976	17.86	12.374	7.24	178	29.33	2.52	24.35	100	14.84	7.4	3280	67
39	0.800	12.06	20.167	2.8	80	29.33	0.72	40	87.56	15.49	6.2	3000	63

A continuación se incluye un mapa que delimita las zonas de vida con crecimiento natural de ciprés, en Huehuetenango, con los puntos de muestreo y las 13 variables que resultaron significativas dentro del análisis de componentes principales, integradas entre sí por medio del programa Arc View utilizando la herramienta Spatial Analysis.

Para aumentar y mejorar la comprensión se incluye el Cuadro # 7 con el número de muestra, las coordenadas y el Índice de Sitio,<sup>8</sup> en cada uno de los puntos de muestreo, para correlacionar con el mapa de la figura 6.

<sup>8</sup> Los # arábigos indican altura del árbol a 40 años de edad, # romanos calidad de sitio de I a V



**Figura 6. Mapa de índice de Sitios en correlación con las variables evaluadas**

#### 7.4 Correlación que Existe entre los Factores Físicos, Químicos y Fisiográficos con relación al crecimiento de los árboles.

Después de la exploración y discriminación de variables, se realizó un análisis estadístico de componentes principales, con el software “Statistic”.

Los resultados se presentan en el Cuadro # 8. Aparecen los valores propios de cada componente principal y la varianza que puede explicar cada uno de los componentes principales.

La varianza total explicada por los factores obtenidos se obtiene de sumar los valores de varianza que explican cada una de las variables significativas dentro de cada componente o factor.

Además se anota la varianza acumulada, hasta obtener la varianza total explicada por los cuatro componentes principales.

**Cuadro 7.** Variables incluidas en el análisis de componentes principales

No. Muestra	IS	Calidad de Sitio	Coord_X	Coord_Y
M-1	39	II	677848	1703613
M-3	43	I	679437	1724182
M-5	35	III	679443	1712370
M-8	39	II	672803	1701266
M-10	31	IV	672998	1753810
M-11	43	I	657040	1736883
M-13	31	IV	658274	1735395
M-15	39	II	679536	1716503
M-17	39	II	687500	1722650
M-19	35	III	672505	1703064
M-21	35	III	679392	1716820
M-23	39	II	613900	1712250
M-25	35	III	679392	1716820
M-27	39	II	677959	1714605
M-29	39	II	679727	1715868
M-31	39	II	679725	1715872
M-33	39	II	617200	1713225
M-35	39	II	617300	1713250
M-37	39	II	616800	1712400
M-39	31	IV	655113	1712747
M-43	31	IV	669203	1721956
M-45	39	II	677750	1715500
M-47	31	IV	670908	1719946
M-49	35	III	656091	1710851
M-51	39	II	677350	1715800

En los resultados se observa que unidos los cuatro componentes explican el 76.8 % de la varianza.

Dentro del análisis se le solicitó al programa determinar hasta ocho factores o componentes, pero únicamente aportó cuatro componentes principales o factores.

Al utilizar únicamente dos componentes la varianza explicada decae hasta el 56.72 % y si se utilizan tres sube hasta 68 %, utilizando cuatro factores se llega al 76.8

%, por lo que razonablemente, decimos que se tienen cuatro componentes principales en nuestro análisis.

Para el caso de las correlaciones de los componentes principales, se presenta el Cuadro # 9, con los valores de correlación de cada componente. Se utilizó un valor de 0.7 o más de correlación para aceptar las variables, según lo recomendado por la bibliografía.

**Cuadro 8. Valores propios de los componentes principales**

Eigen values (cor. ls. Sta) Análisis: componentes principales				
Factor	Eigen values	% total Variance	Cumulative Eigen values	Cumulative Variance %
1	5.084289	39.10992	5.084289	39.10992
2	2.289551	17.61193	7.37384	56.72184
3	1.496989	11.5153	8.870829	68.23714
4	1.11318	8.56292	9.984009	76.80007

De acuerdo con los resultados del cuadro 9, se observa que el primer componente (factor) tiene correlación negativa con la densidad aparente y con el magnesio disponible y una alta correlación positiva con la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Se puede afirmar que la densidad aparente y el magnesio si tienen efecto sobre el índice de sitio (como indicador de crecimiento del ciprés).

Y, como es obvio esperar, la CIC (variable química del suelo), que influye sobre la presencia o ausencia de fertilidad en los suelos, muestra alta correlación positiva con el Índice de Sitio del ciprés en Huehuetenango.

El segundo componente (factor) tiene alta correlación positiva con las variables calcio disponible, % de saturación de bases (SB) y con el pH, ya que según los resultados del análisis de componentes principales, los coeficientes están arriba de 0.70 que es el rango propuesto como válido.

Este componente principal muestra que el Índice de Sitio, tiene respuesta con el pH, la saturación de bases y el calcio, es decir con variables químicas del suelo.

Lo anterior indica que el Índice de Sitio (utilizado como indicador de crecimiento)

del ciprés en los sitios de muestreo responde al pH del suelo, al calcio disponible (calcio en solución) dentro del suelo y a la saturación de bases, variable que indica el equilibrio de cada una de las bases del suelo y su relación con la CIC (capacidad de intercambio catiónico) que ya se tomó en cuenta en el primer factor.

**Cuadro 9<sup>o</sup>.** Componentes principales

(cor. is.sta)				
Factor de Carga (variación máxima)				
Análisis: componentes principales				
Las cargas marcadas son > 0.70				
	1er. Factor	2do.Factor	3er. Factor	4to. Factor
D_A_	<b>-0.750914</b>	0.457137	0.059615	-0.368788
HUM_DISP	0.312419	0.18436	0.17588	<b>0.72566</b>
INF_BASE	0.029148	0.562618	0.281193	-0.687034
P	-0.065402	0.147255	<b>0.859052</b>	-0.047344
K	0.029008	-0.185012	0.586223	0.487956
CALCIO	0.0947	<b>0.836331</b>	0.175959	0.088179
MAGNESIO	<b>-0.93002</b>	0.198898	-0.206884	-0.001756
CIC	<b>0.898534</b>	0.006842	-0.238619	0.220135
SB	-0.364466	<b>0.858264</b>	0.029499	-0.07522
MO	0.512561	-0.032194	0.037284	<b>0.720339</b>
pH	-0.490643	<b>0.748252</b>	-0.145919	-0.188599
ASNM	0.20722	-0.51122	0.321652	0.517433
PENDIENT	0.281452	0.35809	0.299175	0.183926
Expl.Var	3.107155	3.041583	1.542405	2.292866
Prp.Totl	0.239012	0.233968	0.118647	0.176374

El tercer componente (factor) manifiesta correlación positiva con el fósforo, y si se toma en cuenta el conocimiento teórico sobre el crecimiento y desarrollo de las coníferas en general, la asociación de las raíces de los árboles con algunos hongos del suelo para la formación de micorrizas, tiene que ver con la disponibilidad y absorción del fósforo en el suelo. Por lo tanto es de esperar que este elemento (variable fósforo en el estudio) tenga efecto positivo sobre el Índice de Sitio del ciprés que se tomo con variable de crecimiento para el ciprés en este estudio en particular.

En cuanto al cuarto componente (factor) dentro de este tiene alta correlación positiva la humedad disponible y los contenidos de materia orgánica de la muestra de suelo, como resulta obvio estas variables tienen alta correlación con el índice de sitio, lo que se refleja en el cuarto componente principal.

<sup>9</sup>Los datos en color rojo dentro del cuadro 9, son las variables que tienen alta correlación con el Índice de Sitio, de acuerdo con el criterio de un valor mayor a 0.70 de correlación.

Si se toma en cuenta la teoría sobre la relación suelo-agua-plantas, se sabe que los elementos en solución dentro del suelo, están disponibles por la adecuada cantidad de humedad dentro del mismo, pues la única forma de ser absorbidos es utilizando el agua como vehículo de ingreso (transportador) hacia la pared celular de las raíces.

La materia orgánica además de aumentar la capacidad de los suelos para retener humedad, también pone a disposición, nutrientes en la rizósfera y en la solución del suelo para que las raíces puedan absorberlos.

Por otro lado, se obtuvieron los coeficientes de cada una de las variables dentro de cada componente, resultados que se muestran en el cuadro #. 10, los coeficientes de las variables altamente correlacionadas se resaltan con color diferente para una mejor visualización.

**Cuadro 10<sup>10</sup>.** Coeficientes de cada variable dentro de cada componente principal

Factor Score Coefficients (cor. is.sta)				
Coeficientes de cada factor				
Rotation: Varimax raw = rotación: variación máxima				
Extraction: Principal components = componentes principales				
	Factor	Factor	Factor	Factor
	1	2	3	4
Dens. Aparente	<b>-0.214641</b>	0.06357	0.064285	-0.020742
HUM. DISP.	-0.00916	0.168507	-0.005403	<b>0.386864</b>
INF. BASE	0.223519	0.126751	0.245425	-0.426005
P	-0.016723	-0.032262	<b>0.595449</b>	-0.12554
K	-0.126054	-0.071944	0.355112	0.198925
CALCIO	0.102563	<b>0.338471</b>	0.031182	0.101005
MAGNESIO	<b>-0.403161</b>	0.007592	-0.149818	0.266487
CIC	<b>0.36472</b>	0.13739	-0.212807	-0.030968
SB	-0.065741	<b>0.297761</b>	-0.042767	0.1266
MO	0.064462	0.113483	-0.08435	<b>0.333664</b>
pH	-0.105623	<b>0.244969</b>	-0.136825	0.096887
ASNM	-0.079505	-0.157608	0.193359	0.179538

<sup>10</sup>Los datos en color rojo dentro del cuadro 10, son los valores que tienen los coeficientes de variables que tienen alta correlación con el Índice de Sitio, anotadas en el cuadro 9

PENDIENTE	0.117281	0.163934	0.145047	0.04813
-----------	----------	----------	----------	---------

## 7.5 Predicción del Crecimiento en Altura como Indicador de Calidad de Sitio.

Los valores de los coeficientes se multiplicaron por las variables significativas de cada componente, con el propósito de realizar una regresión.

La regresión se ejecutó para verificar si se puede obtener una ecuación que estime los índices de sitio (como valor de crecimiento) a partir de los factores o de las variables incluidas dentro del estudio que proporcione valores de IS predichos por una función o ecuación estadística.

La regresión no proporciona ninguna ecuación, ya que los parámetros estadísticos que se utilizan para verificar los resultados, el R cuadrado y el nivel de probabilidad de cometer el error tipo uno al aceptar que si hay ecuación, es muy alto, como se muestra en el Cuadro 11.

Debido a que las variables (datos tomados y discriminados) utilizadas en forma independiente para una regresión, provocan colinealidad entre si, por lo tanto los resultados del análisis no son confiables, porque se provoca mucho ruido al realizar la prueba estadística, no se obtiene una ecuación que prediga el crecimiento del ciprés a partir de dichos datos.

Con los resultados obtenidos con la prueba de regresión, utilizando los factores 1, 2, 3, 4, obtenidos a través del análisis de componentes principales. Se determinó que no existe una ecuación que prediga y explique el Índice de Sitio en ciprés, porque los valores de  $R^2$  y el  $R^2$  ajustado son muy bajos, además, el nivel de probabilidad (p-level) de la regresión es muy alto.

En función de los resultados observados en los cuadros 11 y 12, se puede afirmar que los factores o componentes principales no pueden predecir el Índice de sitio del ciprés.

En cuanto al resultado de la regresión que estima el factor 1, al observar el p-level = 0.31 (nivel de probabilidad) se observa que está muy por encima del error aceptado 0.05.

Se descarta entonces que se pueda determinar una ecuación o función estadística para predecir el índice de sitio del ciprés en los sitios con crecimiento

natural de la especie en Huehuetenango.

Lo cual indica que la probabilidad de cometer el error tipo 1 si se acepta la regresión es muy alto, por lo tanto, se rechaza la probabilidad de encontrar una ecuación a partir de la regresión.

**Cuadro 11.** Resumen de la regresión con factores

Summary of Stepwise Regression; DV: IS - Resumen de la regresión paso a paso VD=IS							
	Step +in/ -out	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> - square change	F - to entr/rem	nivel de Probabilidad	Variables Incluidas
FACTOR_1	1	0.210294	0.044224	0.044224	1.064206	0.312984	1

El cuadro # 12 (resumen de la regresión) muestra de nuevo que el nivel de probabilidad (p-level) es muy alto para aceptar la hipótesis, además los valores de R y R<sup>2</sup> son bastante bajos, lo cual indica que no hay suficiente asociación entre las variables de los factores de los componentes principales y el índice de sitio (como indicador de crecimiento) para que se encuentre una ecuación de predicción.

**Cuadro 12.** Resumen de regresión con componentes principales

Regression Summary for Dependent Variable: IS (new.sta)						
R= .21029406 R <sup>2</sup> = .04422359 Adjusted R <sup>2</sup> = .00266809						
F(1,23)=1.0642 p<.31298 Std.Error of estimate: 3.6684						
		St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(23)	p-level
Intercepto			29.13185	7.585122	3.840657	0.000835
FACTOR_1	0.210294	0.203852	0.00237	0.0023	1.031603	0.312984

Algunos de los resultados que se obtuvieron para y durante la ejecución de la metodología, se colocan a continuación en forma resumida:

1. se identificaron 25 sitios de muestreo, con su indicador de crecimiento (Índice de Sitio –IS-) Se extrajeron 50 muestras de suelo, dos para cada sitio de muestreo, horizonte A y Horizonte B.

2. Existe alta correlación entre los factores físicos y factores químicos entre sí.

Debido a la gran cantidad de variables y por el bajo número de observaciones realizadas, al realizar el análisis existe colinealidad, de tal manera que los resultados de la correlación y regresión no son válidos, por esta razón se realizó un análisis exploratorio de todos los datos, posteriormente se discriminaron algunas variables

3. Se ejecutó un análisis de componentes principales, el cual reveló cuatro componentes principales, que explican el 76.8 % de la varianza.

Para el análisis de componentes principales se utilizaron trece variables, de las cuales tres son factores físicos, ocho son factores químicos y dos son factores fisiográficos del suelo.

Las variables que tienen correlación en cada uno de los componentes principales son:

- ✓ factor 1; Densidad Aparente, Magnesio y Capacidad de Intercambio Catiónico.
  - ✓ Factor 2; Calcio disponible, Saturación de Bases y pH (reacción del suelo).
  - ✓ Factor 3; Fósforo disponible.
  - ✓ Factor 4; Humedad Disponible, Materia Orgánica
4. Dentro de la determinación de los factores oblicuos para el análisis jerárquico, se comprobó que la pendiente y la altura sobre el nivel del mar de los sitios de muestreo, tienen correlación con el factor 3 y el factor 4 respectivamente.

## 8 CONCLUSIONES

1. Los factores edáficos que más influyen en el crecimiento de los árboles de ciprés en las zonas de crecimiento natural son: densidad aparente, magnesio disponible, capacidad de intercambio catiónico, calcio, saturación de bases y el pH.
2. La correlación que existe entre los factores de crecimiento es alta, especialmente entre las variables que salieron significativas en el análisis de componentes principales, ya que explican hasta el 76 % de la varianza en el análisis
3. De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio, no se pudo establecer una ecuación de predicción para el crecimiento del ciprés.
4. se acepta la hipótesis planteada, ya que la asociación de los factores edáficos (físicos, químicos y fisiográficos) pueden explicar hasta el 76.5 % la variabilidad

en el crecimiento de los árboles dentro del bosque de ciprés en Huehuetenango

## **9 RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda realizar un muestreo y análisis de suelos correspondiente, previo a establecer una plantación forestal, para compararlo con los resultados del presente estudio, especialmente con los anotados en la conclusión 1 conclusiones
2. Se recomienda realizar otra investigación, pero incluir o aumentar los sitios de muestreo (número de observaciones) con el propósito de eliminar la colinealidad entre variables independientes, para utilizar todas las variables en una regresión.

## X. BIBLIOGRAFÍA

1. Auten, J. 1945. Prediction of site index for yellow poplar from soil and topography. *Journal of Forestry* 43(9):665-668.
2. Barbosa Isolan, F. 1972. Estudio da qualide de sitio para *Pinus caribaea* Morelet var *Hondurensis*. Tese MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 83 p.
3. Barrientos, M; Álvarez, V. 1982. Algunas transformaciones para los análisis de varianza. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Centro de Estadística y Cálculo. 163 p.
4. Berch, F. 1995. Nutrición vegetal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 157p.
5. Carmean, W. 1967. Soil survey refinements for predicting black oak site quality in southeastern Ohio. *Soil Sci. Amer. Proc.* 31:805-810.
6. Díaz-Romeu, R; Baleri, F. 1967. Determinación de la capacidad de intercambio de Cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA. 3 p.
7. Dolon, PC. 2003. Criterios e indicadores para evaluar la sostenibilidad de un proyecto de ordenación forestal comunitaria en Filipinas (en línea). *Unasylva* 54(2). Consultado 20 agosto 2006. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/y5189s/y5189s09.htm>
8. Donoso, Z. 1987. Ecología forestal: el bosque y su medio ambiente. Chile, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales / Editorial

Universitaria. 369 p.

9. Escobar Mazariegos, MA. 1999. Determinación de índices de sitio para *Cupressus lusitanica* Miller. en Huehuetenango. Tesis Ing. For. Huehuetenango, Guatemala, USAC, CUNOROC. 81 p.
10. Fancelli, AL. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. p. 11-27. *In* Vázquez, M (ed). Micronutrientes en la agricultura. Buenos Aires, Argentina, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 207p.
11. Gauch, HG; Wentworth, TR. 1976. Canonical correlation analysis as an ordination technique. *Vegetatio* 33(1) 17 -19 p.
12. Heiberg, S; White, D. 1956. A site evaluation concept. *Journal of Forestry* 54(1): 7-10.
13. Hocker, H. 1984. Introducción a la biología forestal. México, AGT. p. 275-280.
14. Hotelling, H. 1936. Relations between two sets of variables. *Biometrika* 28:321-377.
15. Legendre, L; Legendre, P. 1979. *Écologie numérique (2): la structure des données écologiques*. Masson, Paris, Université du Québec. 254 p.
16. Ortega, A; Montero, G. 1988. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales: revisión bibliográfica. *Ecología (ES)* (2):155-184.
17. Ratto, SE. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. *In* Vázquez, M (ed). 2006. Micronutrientes en la agricultura. Buenos Aires, Argentina, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 207 p.
18. Reeve, RC; Luthin, JN. 1957. Methods of measuring soil permeability. *In* Luthin, JN (ed). *Drainage of agricultural lands*. Madison, Wisconsin, US, American Society of Agronomy. v. 7.
19. Revolorio Q, A de J. 1996. Evaluación de la calidad de sitio para *Pinus oocarpa* Schiede, en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera de la Sierra de las Minas, Guatemala. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 45 p.
20. Russell, EJ; Wild, A. 1992. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas, según Russell. trad. Por P. Urbano Terrón y C. Rojo Hernández. Madrid, España, Mundi-Prensa. 1045 p.
21. Salas, G De las. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. *Bosques de Colombia (CO)* 1(2):15-30.
22. Santalo, L. 1980. Probabilidad e inferencia estadística. 3 ed. Argentina, OES,

Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 137 p.

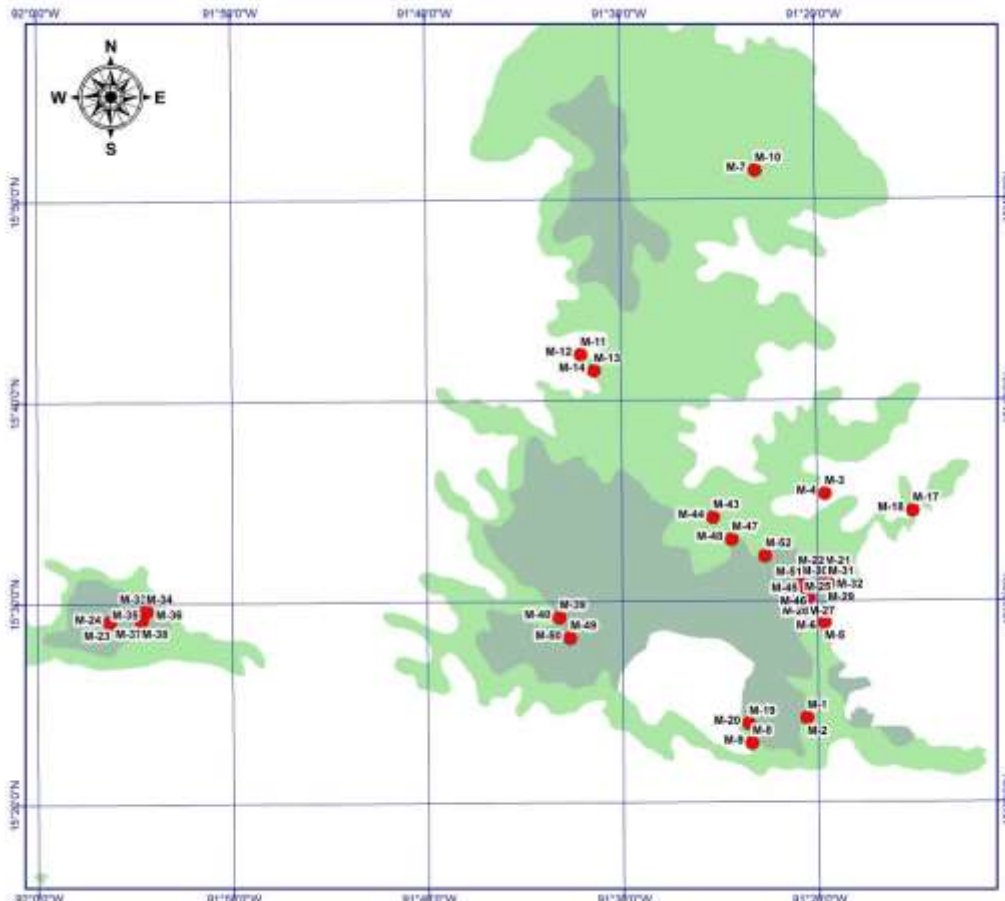
23. Sharma, S. 1996. Applied multivariate techniques. US, John Wiley. 512 p.
24. Silva Kewitz, A. 2005. Factores limitantes y ley del mínimo (en línea) Chile, La Tierra y su Entorno. Consultado 12 ago 2006. Disponible en [http://www.latierraysuentorno.cl/Factores\\_limitantes.htm](http://www.latierraysuentorno.cl/Factores_limitantes.htm)
25. Standley, PC; Steyermark, JA. 1946. La flora of Guatemala. Chicago, US, Chicago Natural History Museum, Fieldiana Botany. tomo 1, 478 p.
26. Tobías, H. 1997. Guía para descripción de suelos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 73 p.

# ANEXOS



Anexo 1 Distribución de los sitios de muestreo en las zonas de vida con crecimiento natural de ciprés

### Mapa Base. Ubicación geográfica de las Muestras



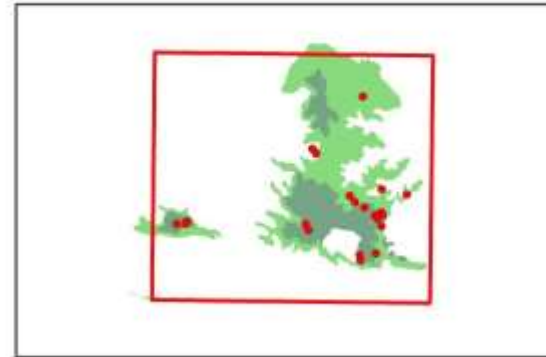
Proyección del mapa: Geográfica  
 Proyección: UTM zona 15  
 Datum: WGS 1984



Fuente: Toponimia IGN 2002, MAGA 2002  
 Puntos de coordenadas: Ing. Carlos Estrada

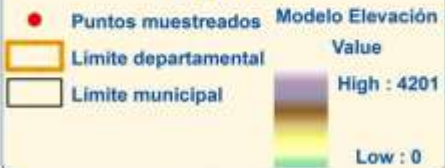
Edición: Colaboración Ing. Danger Gómez  
 Fecha: Noviembre de 2008

### BASE DE DATOS DE LAS MUESTRAS



■ bnh-M  
 ■ bnh-MB

### Leyenda



**Departamento de Huehuetenango**

## Anexo 2 Distribución de contenido porcentual de las Arcillas de acuerdo con resultados de laboratorio

### Mapa de distribución espacial Arc.



### Leyenda

- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal

Anexo 3 Distribución de contenidos porcentuales de Arenas, de acuerdo con resultados de laboratorio

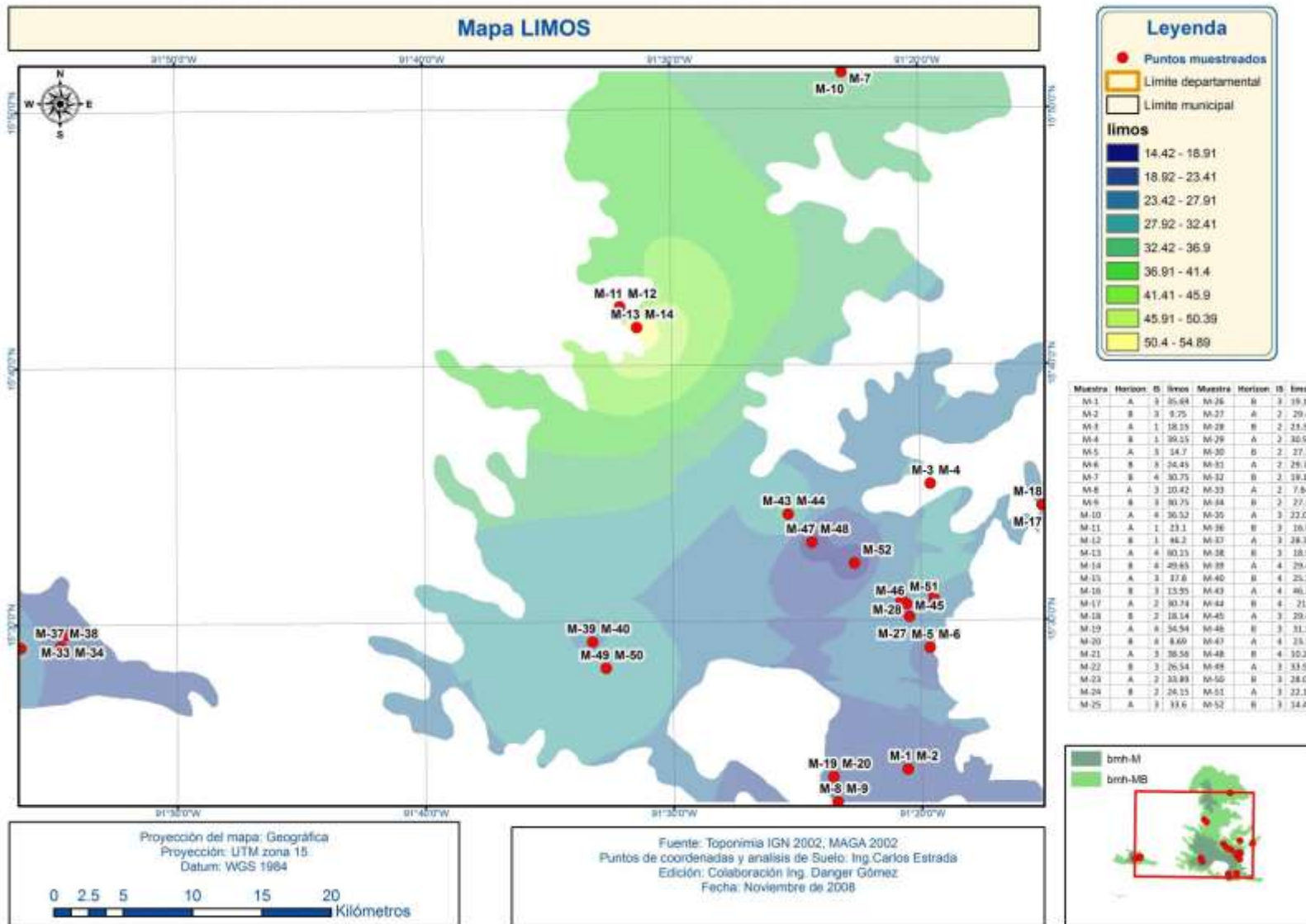
### Mapa de distribución espacial de Arenas



### Leyenda

- Puntos muestreados
- Limite departamental

## Anexo 4 Contenido porcentual de Limos dentro de la textura de los suelos muestreados



## Anexo 5 Distribución de la concentración de Calcio (resultados de laboratorio)

### Mapa Base. Distribución espacial del Ca



### Leyenda

- Puntos muestreados
- Limite departamental
- Limite municipal

## Anexo 6 Distribución de la Capacidad de Intercambio Catiónico

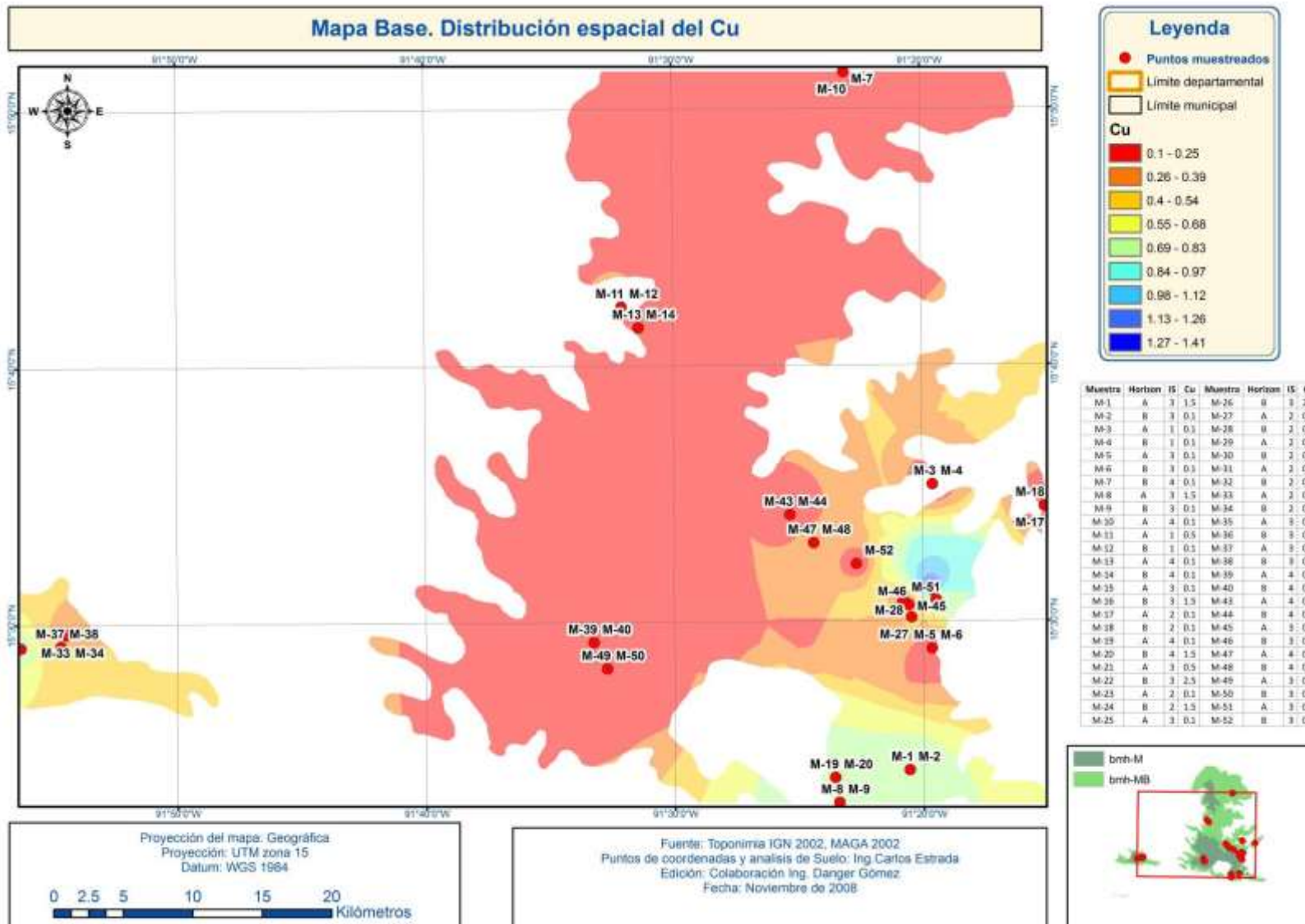
### Mapa Base. Distribución espacial del CIC



### Leyenda

- Puntos muestreados
- Límite departamental
- Límite municipal

## Anexo 7 Distribución de los contenidos de Cobre de acuerdo con resultados de laboratorio



## Anexo 8 La Densidad Aparente en los suelos de acuerdo con los resultados de laboratorio

### Mapa DEAP



### Leyenda

- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal

## Anexo 9 Distribución de los contenidos de Hierro en los suelos con ciprés

### Mapa Base. Distribución espacial del Fe



### Leyenda




- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal

## Anexo 10 La disponibilidad de humedad a 15 atmósferas de presión

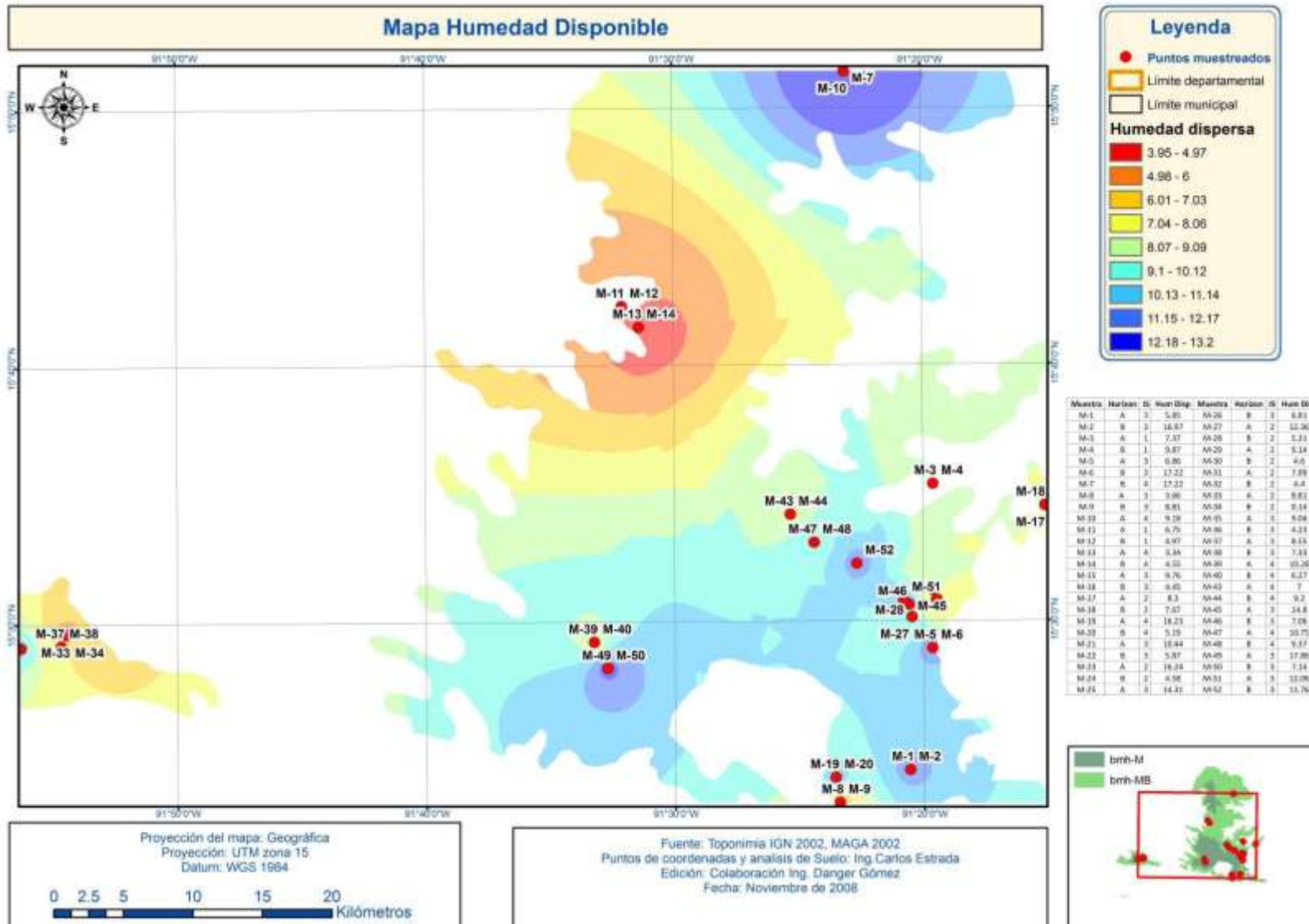
### Mapa Hum 15



### Leyenda

-  Puntos muestreados
-  Limite departamental
-  Limite municipal

Anexo 11 Distribución de Humedad Disponible (diferencia entre 15 atmósferas y 0.33 atmósferas)



Anexo 12 Humedad Disponible a 0.33 atmósferas de presión o la capacidad de campo.

### Mapa Hum. 0.33



### Leyenda

- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal

## Anexo 13 Velocidad de Infiltración en los suelos dentro de las zonas de vida con ciprés

### Mapa Infiltración Básica



### Leyenda

- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal
- ▭ Infiltración Básica

## Anexo 14 Concentración de Potasio en los suelos muestreados

### Mapa Base. Distribución espacial del K

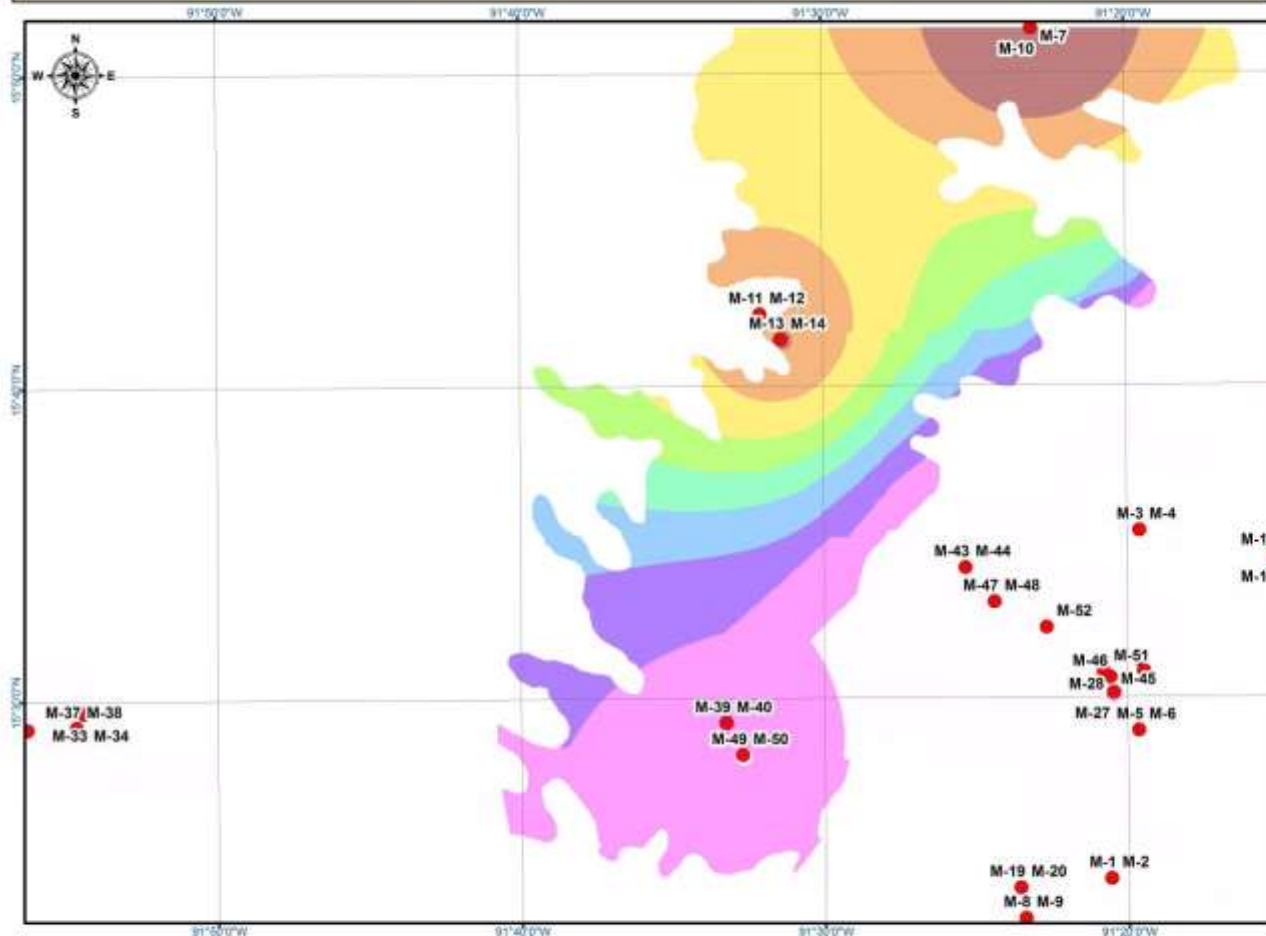


### Leyenda

- Puntos muestreados
- ▭ Límite departamental
- ▭ Límite municipal

## Anexo 15 Concentración del Magnesio disponible en los suelos muestreados

### Mapa Base. Distribución espacial del Mg



**Leyenda**

- Puntos muestreados
- ▭ Límite departamental
- ▭ Límite municipal

**Mg**

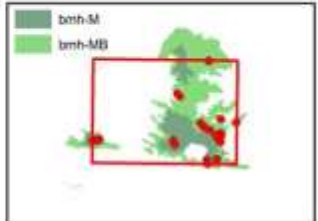
- 0.41 - 2.36
- 2.37 - 4.31
- 4.32 - 6.26
- 6.27 - 8.2
- 8.21 - 10.15
- 10.16 - 12.1
- 12.11 - 14.05
- 14.06 - 15.99
- 16 - 17.94

Muestra	Horizon	IS	Mg	Muestra	Horizon	IS	Mg
M-1	A	1	1.8	M-26	B	3	8.91
M-2	B	8	0.87	M-27	A	2	1.84
M-3	A	1	0.63	M-28	B	2	4.63
M-4	B	1	1.33	M-29	A	2	1.28
M-5	A	3	0.41	M-30	B	2	0.67
M-6	B	3	0.86	M-31	A	2	0.91
M-7	B	4	19.02	M-32	B	2	0.48
M-8	A	3	2.36	M-33	A	2	0.93
M-9	B	3	0.82	M-34	B	2	0.41
M-10	A	4	14.86	M-35	A	3	0.96
M-11	A	1	0.11	M-36	B	3	0.41
M-12	B	1	19.12	M-37	A	3	1.23
M-13	A	4	16.45	M-38	B	3	0.57
M-14	B	4	15.93	M-39	A	4	3.24
M-15	A	3	2.21	M-40	B	4	5.55
M-16	B	3	2.21	M-41	A	4	0.51
M-17	A	2	1.8	M-42	B	4	0.51
M-18	B	2	1.13	M-43	A	3	0.63
M-19	A	4	0.87	M-44	B	3	0.82
M-20	B	4	0.94	M-45	A	4	1.08
M-21	A	3	0.77	M-46	B	4	1.18
M-22	B	3	0.57	M-47	A	3	2.52
M-23	A	2	0.26	M-48	B	3	2
M-24	B	2	0.57	M-49	A	3	0.72
M-25	A	3	1.34	M-50	B	3	0.51

Proyección del mapa: Geográfica  
 Proyección: UTM zona 15  
 Datum: WGS 1984

0 2.5 5 10 15 20 Kilómetros

Fuente: Toponimia IGN 2002, MAGA 2002  
 Puntos de coordenadas y análisis de Suelo: Ing. Carlos Estrada  
 Edición: Colaboración Ing. Danger Gómez  
 Fecha: Noviembre de 2008



## Anexo 16 Concentración del Manganeso disponible en las zonas de vida con ciprés

### Mapa Base. Distribución espacial del Mn



### Leyenda

- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal

## Anexo 17 Concentración de Materia Orgánica en los suelos muestreados

### Mapa Base. Distribución espacial del MO



### Leyenda

- Puntos muestreados
- Limite departamental
- Limite municipal

## Anexo 18 Concentración de Sodio en los suelos muestreados

### Mapa Base. Distribución espacial del NA



### Leyenda

- Puntos muestreados
- Límite departamental
- Límite municipal

## Anexo 19 Concentración del Fósforo en los suelos muestreados

### Mapa Base. Distribución espacial del P



### Leyenda

- Puntos muestreados
- ▭ Límite departamental
- ▭ Límite municipal

Anexo 20 El pH en los suelos muestreados correlaciona con Arcillas y Materia Orgánica de los suelos

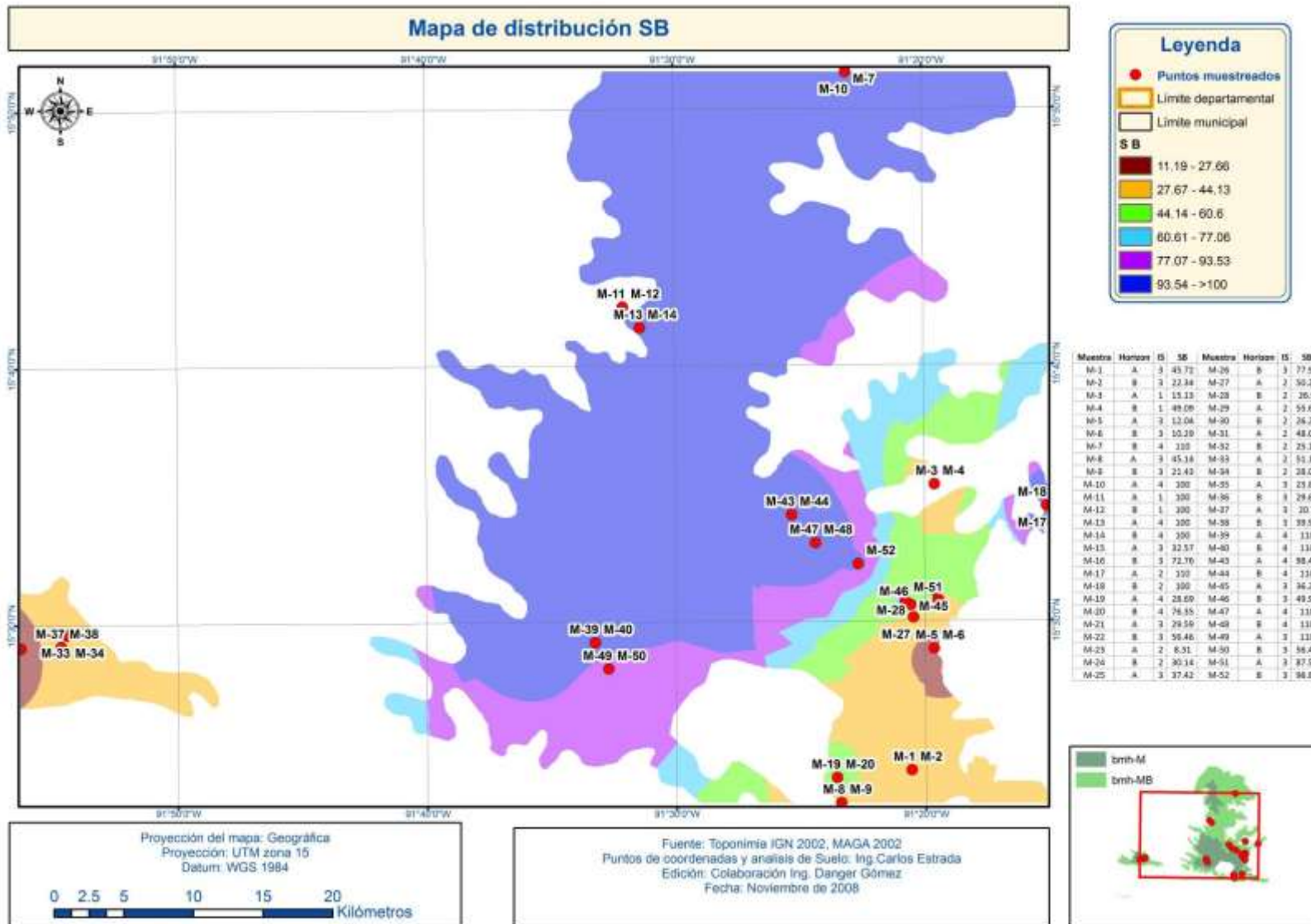
### Mapa Base. Distribución espacial del PH



### Leyenda

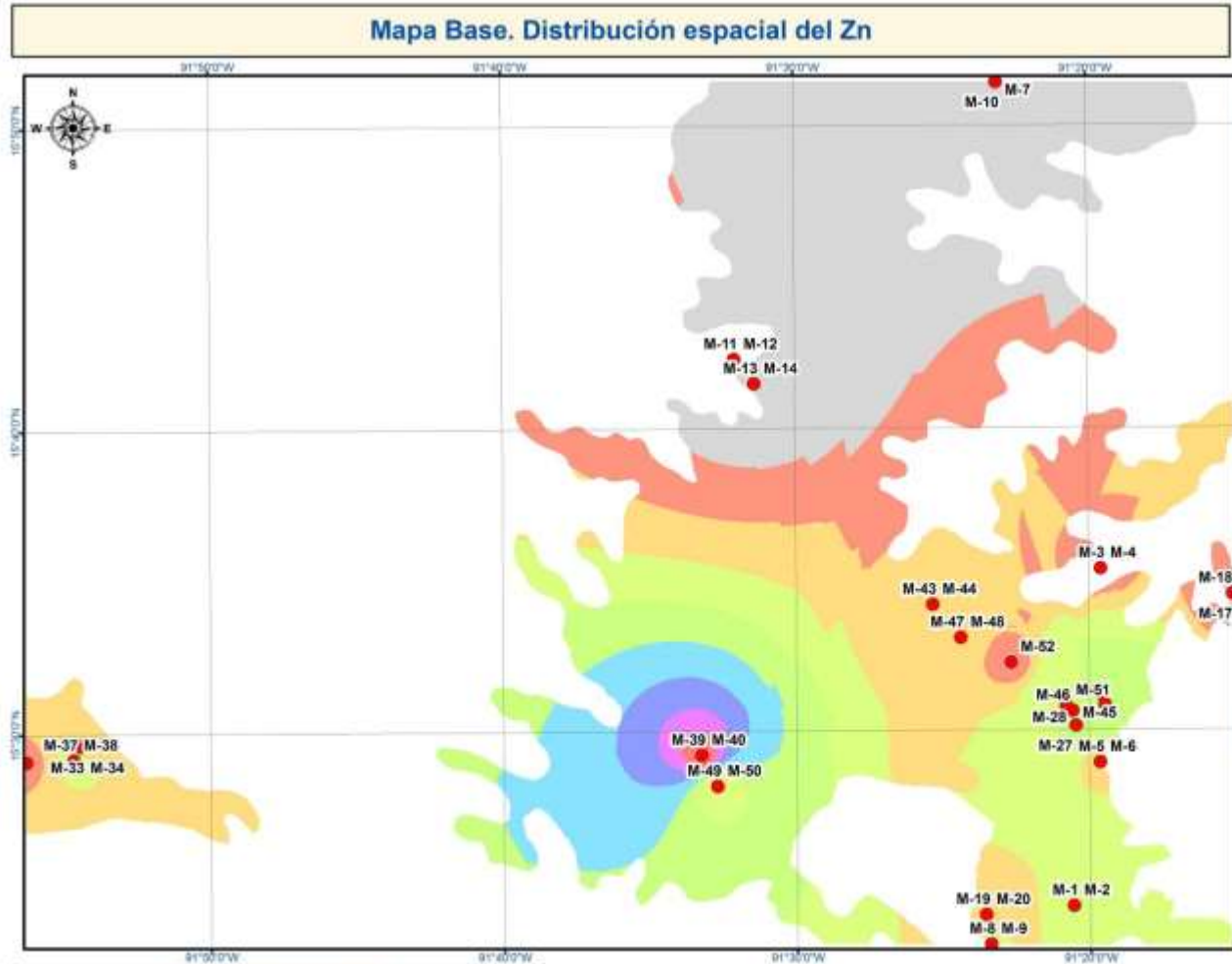
- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal

## Anexo 21 La Saturación de Bases dentro de los suelos muestreados



## Anexo 22 Concentración del Zinc en los suelos muestreados

### Mapa Base. Distribución espacial del Zn



**Legenda**

- Puntos muestreados
- ▭ Limite departamental
- ▭ Limite municipal

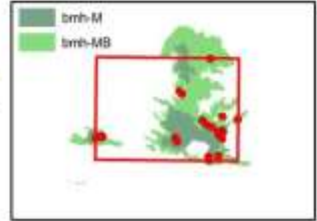
**Zn**

- 0.1 - 0.62
- 0.63 - 1.13
- 1.14 - 1.65
- 1.66 - 2.17
- 2.18 - 2.68
- 2.69 - 3.2
- 3.21 - 3.72
- 3.73 - 4.23
- 4.24 - 4.75

Muestra	Horizon	IS	Zn	Muestra	Horizon	IS	Zn
M-1	A	3	2.5	M-26	B	3	3
M-2	B	3	1	M-27	A	2	4
M-3	A	1	0.5	M-28	B	2	1
M-4	B	1	1	M-29	A	2	4
M-5	A	3	1	M-30	B	2	0.5
M-6	B	3	1.5	M-31	A	2	3
M-7	B	4	0.1	M-32	B	2	1.5
M-8	A	3	2.5	M-33	A	2	2.5
M-9	B	3	1	M-34	B	2	0.5
M-10	A	4	0.5	M-35	A	3	2.5
M-11	A	1	1	M-36	B	3	0.5
M-12	B	1	0.1	M-37	A	3	2.5
M-13	A	4	0.1	M-38	B	3	1.5
M-14	B	4	0.1	M-39	A	4	4.5
M-15	A	3	1.5	M-40	B	4	5
M-16	B	3	5	M-41	A	4	2.5
M-17	A	2	0.5	M-42	B	4	0.1
M-18	B	2	0.5	M-43	A	3	3.5
M-19	A	4	1	M-44	B	3	2
M-20	B	4	1.5	M-45	A	4	1.5
M-21	A	3	2	M-46	B	4	1
M-22	B	3	1.5	M-47	A	3	1.5
M-23	A	2	0.5	M-48	B	3	1.5
M-24	B	2	1	M-49	A	3	0.5
M-25	A	3	1.5	M-50	B	3	0.5

Proyección del mapa: Geográfica  
 Proyección: UTM zona 15  
 Datum: WGS 1984

Fuente: Toponimia IGN 2002, MAGA 2002  
 Puntos de coordenadas y analisis de Suelo: Ing. Carlos Estrada  
 Edición: Colaboración Ing. Danger Gómez  
 Fecha: Noviembre de 2008



Anexo 23 Cuadro original con los datos de todos los puntos de muestreo antes de la discriminación de variables

Muestra	Horizon	IS	arenas	Arc.	limos	DeAp	Hum0.33	Hum15	Hum Disp	infiltr básica	Pend	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	ClC	Ca	Mg	Na	K	SB	MO	pH
M-1	A	3	46.58	17.73	35.69	0.98	38.71	32.86	5.85	23.652737	65	3.36	88	4.37	1.8	1.5	2.5	27	33.5	19.6	5.74	2.14	0.47	0.62	45.72	0.98	5.8
M-2	B	3	22.13	68.12	9.75	0.85	46.11	29.14	16.97	23.652737	65	2.43	68	4.06	0.87	0.1	1	2.5	17	31.2	4.99	1.11	0.41	0.46	22.34	10.17	5.2
M-3	A	1	45.23	36.62	18.15	0.87	36.94	29.57	7.37	4.8035071	75	2.43	18	2.5	0.62	0.1	0.5	8	7.5	32.8	3.49	0.82	0.4	0.25	15.13	6.28	5.3
M-4	B	1	45.23	15.62	39.15	0.75	40.68	30.81	9.87	4.8035071	75	3.48	103	11.23	1.33	0.1	1	6.5	16	36	14.47	1.97	0.38	0.85	49.09	13.37	5.2
M-5	A	3	50.78	34.52	14.7	0.8	40.16	33.3	6.86	11.33765	25	2.73	23	2.18	0.41	0.1	1	13.5	2.5	28	2.25	0.49	0.37	0.27	12.04	5.46	5
M-6	B	3	66.23	30.32	24.45	0.69	57.94	40.72	17.22	11.33765	25	2.5	30	3.12	0.66	0.1	1.5	29	3	50.8	3.74	0.78	0.36	0.23	10.29	20.55	4.8
M-7	B	4	55.73	13.52	30.75	1.6	57.94	40.72	17.22	12.22531136	30	2.09	48	18.09	19.02	0.1	0.1	1	3	2.8	6.99	5.39	0.36	0.23	110	0.72	8.4
M-8	A	3	21.46	68.12	10.42	0.98	12.24	8.58	3.66	23.678509	63	2.96	110	5.3	2.36	1.5	2.5	22	42.5	18.8	5.24	2.1	0.57	0.58	45.14	0.89	5.9
M-9	B	3	51.53	17.72	30.75	0.87	36.85	28.04	8.81	23.678509	63	2.38	23	3.43	0.82	0.1	1	1.5	16.5	26.4	3.99	0.95	0.47	0.25	21.43	7.28	5.3
M-10	A	4	45.23	18.25	36.52	1.33	41.56	32.38	9.18	12.22531136	30	1.8	78	18.41	16.86	0.1	0.5	0.5	3.5	7.6	10.73	7.65	0.42	0.37	110	1.74	7.9
M-11	A	1	21.38	55.52	23.1	1.03	32.93	26.18	6.75	6.889565121	10	2.03	95	12.17	9.1	0.5	1	5	56.5	19.2	10.98	7.2	0.49	0.56	110	2.94	6.3
M-12	B	1	18.23	35.57	46.2	1.18	21.89	16.92	4.97	6.889565121	25	2.19	53	17.47	19.12	0.1	0.1	0.1	2	10.8	12.72	8.43	0.36	0.35	110	1.96	8.2
M-13	A	4	17.93	21.92	60.15	1.11	11.73	8.39	3.34	7.760826953	25	2.19	43	5.3	16.45	0.1	0.1	0.1	2	6	10.48	7.61	0.65	0.25	110	1.16	8.2
M-14	B	4	24.23	26.12	49.65	1.08	18.72	14.17	4.55	7.760826953	55	2.13	55	6.55	15.93	0.1	0.1	0.1	4	13.2	13.72	7.32	0.46	0.47	110	3.54	7.7
M-15	A	3	31.88	30.32	37.8	0.78	37.29	27.53	9.76	6.508085701	20	3.12	320	6.86	2.21	0.1	1.5	0.5	45	28	5.74	1.4	0.52	1.46	32.57	10.65	5.8
M-16	B	3	20.03	66.02	13.95	0.98	35.35	30.9	4.45	6.508085701	20	4.61	185	7.49	2.21	1.5	5	9.5	74	15.6	7.73	2.22	0.65	0.74	72.76	2	6.2
M-17	A	2	45.99	23.27	30.74	0.82	41.08	32.78	8.3	6.6132081	15	3	70	4.68	1.8	0.1	0.5	1.5	9	45.6	61.13	2.8	0.46	0.54	110	12.56	7.3
M-18	B	2	27.09	54.77	18.14	1.11	42.39	34.72	7.67	6.6132081	15	3.06	50	6.24	1.13	0.1	0.5	1	10	43.6	493.9	1.48	0.41	0.41	>	5.5	7.4
M-19	A	4	48.09	16.97	34.94	0.8	48.97	32.74	16.23	3.7102987	50	3.46	210	4.99	0.87	0.1	1	0.5	24.5	30.8	6.24	1.27	0.43	0.9	28.69	11.48	5.2
M-20	B	4	16.59	74.72	8.69	1.08	32.61	27.42	5.19	3.7102987	50	4.66	60	4.37	0.39	1.5	1.5	19.5	48	18	8.73	4.28	0.43	0.31	76.35	0.83	6.6
M-21	A	3	18.43	33.01	38.56	0.91	37.09	26.65	10.44	8.8867335	55	3.64	220	4.99	0.77	0.5	2	2	92.5	28	5.99	0.9	0.44	0.95	29.59	6.07	5.3
M-22	B	3	15.54	57.92	26.54	1.08	28.24	22.37	5.87	8.8867335	55	4.09	335	4.37	0.57	2.5	1.5	25.5	33	13.2	5.24	0.66	0.45	1.1	56.46	0.79	5.7
M-23	A	2	39.69	26.42	33.89	0.81	50.49	34.25	16.24	1.7494263	50	2.82	73	0.94	0.26	0.1	0.5	5.5	3.5	28.4	1.25	0.33	0.4	0.38	8.31	22.18	5
M-24	B	2	18.98	56.87	24.15	1	29.16	24.58	4.58	1.7494263	50	3	123	1.56	0.57	1.5	1	27	16.5	11.2	1.75	0.74	0.42	0.47	30.14	1.96	4.8
M-25	A	3	41.03	25.37	33.6	0.81	42.74	28.43	14.31	3.3009059	40	3.4	315	5.3	1.34	0.1	1.5	0.5	53.5	29.6	6.99	1.85	0.96	1.28	37.42	10.17	5.5
M-26	B	3	11.34	69.47	19.19	1.05	39.5	32.69	6.81	3.3009059	40	4.32	68	6.55	3.91	2.5	3	18.5	37.5	19.2	9.23	4.81	0.43	0.33	77.99	0.34	6.3
M-27	A	2	36.83	33.77	29.4	0.75	42.85	30.49	12.36	0.8021043	45	7.41	200	10.92	1.34	0.5	4	38	40.5	32.4	12.97	1.81	0.65	0.85	50.25	21.95	5
M-28	B	2	31.29	45.32	23.39	0.95	32.96	27.65	5.31	0.8021043	45	4	33	3.74	4.63	0.5	1	25	5	19.6	3.99	0.58	0.38	0.32	26.9	1.33	4.9
M-29	A	2	30.6	38.45	30.95	0.74	43.08	33.94	9.14	1.1520214	30	5.05	208	10.61	1.18	0.5	4	37.5	41.5	30	13.22	1.89	0.61	0.97	55.66	20.55	4.6
M-30	B	2	17.93	54.77	27.3	0.98	32.82	28.22	4.6	1.1520214	30	3.57	45	4.06	0.67	0.5	0.5	22.5	4.5	18.4	3.49	0.58	0.43	0.32	26.23	3.52	5.1
M-31	A	2	30.53	39.69	29.78	0.77	40.7	32.71	7.99	1.5608219	20	6.15	215	9.98	0.93	0.5	3	39.5	28	30.8	11.73	1.23	1.04	0.79	48.05	15.33	4.4
M-32	B	2	41.79	39.02	19.19	0.93	32.92	28.52	4.4	1.5608219	20	3.84	35	3.74	0.46	0.5	1.5	24.5	7.5	16.09	2.74	0.41	0.61	0.28	25.12	3.68	4.5
M-33	A	2	38.18	54.18	7.64	0.77	41.86	33.05	8.81	1.0217073	70	4.28	128	12.79	0.93	0.1	2.5	17.5	36	33.09	14.47	1.23	0.57	0.64	51.18	18.48	5
M-34	B	2	29.78	42.92	27.3	0.82	37.84	37.7	0.14	1.0217073	70	3.84	105	4.99	0.41	0.5	0.5	16	4.5	26.52	5.24	0.49	1.04	0.66	28.04	6.06	5.5
M-35	A	3	53.93	24.02	22.05	0.74	41.91	32.87	9.04	1.7658037	50	4.01	163	13.73	0.98	0.1	2.5	14.5	34	31.3	14.47	1.07	0.57	0.74	23.82	18.26	4.8
M-36	B	3	31.88	51.32	16.8	0.85	38.13	33.9	4.23	1.7658037	50	3.95	118	5.3	0.41	0.5	0.5	11	3.5	23.48	4.74	0.41	1.17	0.65	29.69	4.89	5.4
M-37	A	3	27.68	43.97	28.35	0.75	40.48	31.93	8.55	1.9361586	60	4.66	160	8.74	1.13	0.5	2.5	37	21.5	29.13	9.23	1.19	0.61	0.31	20.7	4.06	4.8
M-38	B	3	40.28	40.82	18.9	0.95	35.92	28.59	7.33	1.9361586	60	3.73	53	3.74	0.57	0.5	1.5	39.5	6	21.3	2.99	0.49	0.61	0.62	39.99	12.83	4.9
M-39	A	4	50.78	19.82	29.4	1.08	25.16	14.88	10.28	24.78866	21	33.96	218	19.34	3.24	0.1	4.5	5	45	15.65	17.22	2.96	0.35	0.82	110	9.46	6.2
M-40	B	4	50.78	24.02	25.2	1.14	20.23	13.96	6.27	24.78866	21	50.48	138	15.91	5.55	0.1	5	7.5	43.5	16.96	11.98	5.1	0.52	0.62	110	5.31	6.3
M-43	A	4	10.88	42.92	46.2	1.08	33.93	26.93	7	27.712506	55	3.95	53	24.96	0.51	0.1	2.5	1.5	20	29.13	27.45	0.45	0.35	0.43	98.44	2.94	7.1
M-44	B	4	48.68	30.32	21	1.05	36.3	27.1	9.2	27.712506	55	2.69	95	38.06	0.51	0.1	0.1	0.5	4	35.65	29.59	0.62	0.35	0.87	110	9.24	7.8
M-45	A	3	36.08	34.52	29.4	0.8	48.17	33.37	14.8	14.8867443	49	3.13	38	11.86	0.62	0.1	3.5	7	51.5	37.83	12.23	0.78	0.39	0.32	36.27	17.18	5.1
M-46	B	3	27.68	40.82	31.5	0.83	37.42	30.36	7.06	14.8867443	49	3.35	38	11.86	0.82	0.1	2	5.5	31	28.26	11.48	0.86	0.39	1.38	49.95	8.67	5.4
M-47	A	4	40.28	36.62	23.1	0.89	43.18	32.43	10.75	20.727589	70	2.85	113	20.95	1.08	0.1	1.5	1	39	30.43	29.94	1.44	0.23	0.79	110	9.04	6.3
M-48	B	4	13.27	76.52	10.21	1.08	41.28	31.91	9.37	20.727589	70	4.17	68	19.97	1.18	0.5	1	1.5	17	25.22	23.7	1.32	0.23	0.44	110	2.06	6.6
M-49	A	3	44.88	21.17	33.95	0.98	37.82	19.96	17.86	12.373824	63	7.24	178	29.33	2.52	0.1	1.5	1.5	107.5	24.35	26.21	2.51	0.3	0.64	110	14.84	7.4
M-50	B	3	31.88	40.07	28.05	1	28.72	21.58	7.14	12.373824	63	4.5	58	9.05	2	0.1	1.5	3.5	11.5	14.78	6.99	0.86	0.19	0.31	56.48	4.57	5.9
M-51	A	3	29.02	48.85	22.13	0.8	51.34	39.28	12.06	20.166932	67	2.8	80	29.33	0.72	0.1	0.5	1.5	21								

Anexo 24 Cuadro de muestras discriminadas, analizadas con la herramienta componentes principales

No. Muestra	IS	Dens. Apar.	Hum. Disp.	Infilt. Base	P	K	Ca	Mg	CIC	SB	MO %	pH	ASNM	Pend.	Coord. X	Coord. Y
M-1	39	0.976	5.85	23.653	3.36	88	4.37	1.8	19.6	45.72	0.98	5.8	3021	65	677848	1703613
M-3	43	0.87	7.37	4.804	2.43	18	2.5	0.62	32.8	15.13	6.28	5.3	3139	30	679437	1724182
M-5	35	0.8	6.86	11.338	2.73	23	2.18	0.41	28	12.04	5.46	5	3111	10	679443	1712370
M-8	39	0.976	3.66	23.679	2.96	110	5.3	2.36	18.8	45.14	0.89	5.9	2842	20	672803	1701266
M-10	31	1.333	9.18	12.225	1.8	78	18.41	16.86	7.6	100	1.74	7.4	2585	25	672998	1753810
M-11	43	1.026	6.75	6.89	2.03	95	12.17	9.1	19.2	100	2.94	6.3	2594	15	657040	1736883
M-13	31	1.111	3.34	7.761	2.19	43	5.3	16.45	6	100	1.16	7.6	2796	50	658274	1735395
M-15	39	0.777	9.76	6.508	3.12	320	6.86	2.21	28	32.57	10.65	5.8	2856	55	679536	1716503
M-17	39	0.816	8.3	6.613	3	70	4.68	1.8	45.6	100	12.56	7.3	2500	50	687500	1722650
M-19	35	0.8	16.23	3.71	3.46	210	4.99	0.87	30.8	28.69	11.48	5.2	3090	40	672505	1703064
M-21	35	0.909	10.44	8.887	3.34	220	4.99	0.77	28	29.59	6.07	5.3	2850	45	679392	1716820
M-23	39	0.808	16.24	1.749	2.82	73	0.94	0.26	28.4	8.31	22.18	5	3154	30	613900	1712250
M-25	35	0.808	14.31	3.301	3.4	315	5.3	1.34	29.6	37.42	10.17	5.5	3356	75	679392	1716820
M-27	39	0.755	12.36	0.802	7.41	200	10.92	1.34	32.4	50.25	21.95	5	3050	20	677959	1714605
M-29	39	0.741	9.14	1.152	5.05	208	10.61	1.18	30	55.66	20.55	4.6	3091	70	679727	1715868
M-31	39	0.769	7.99	1.561	6.15	215	9.98	0.93	30.8	48.05	15.33	4.4	3091	50	679725	1715872
M-33	39	0.769	8.81	1.022	4.28	128	12.79	0.93	33.09	51.18	18.48	5	3200	60	617200	1713225
M-35	39	0.741	9.04	1.766	4.01	163	13.73	0.98	31.3	23.82	18.26	4.8	3200	21	617300	1713250
M-37	39	0.755	8.55	1.936	4.66	160	8.74	1.13	29.13	20.7	4.06	4.8	3190	55	616800	1712400
M-39	31	1.081	10.28	24.789	33.96	218	19.34	3.24	15.65	100	9.46	6.2	3028	49	655113	1712747
M-43	31	1.081	7	27.713	3.95	53	24.96	0.51	29.13	98.44	2.94	7.1	1973	70	669203	1721956
M-45	39	0.8	14.8	14.887	3.13	38	11.86	0.62	37.83	36.27	17.18	5.1	3113	63	677750	1715500
M-47	31	0.889	10.75	20.728	2.85	113	29.95	1.08	30.43	100	9.04	6.3	2873	25	670908	1719946
M-49	35	0.976	17.86	12.374	7.24	178	29.33	2.52	24.35	100	14.84	7.4	3280	67	656091	1710851
M-51	39	0.8	12.06	20.167	2.8	80	29.33	0.72	40	87.56	15.49	6.2	3000	63	677350	1715800

## Anexo 25

### ➤ MATERIALES

Para la realización del estudio, se utilizaron los siguientes insumos y materiales.

- ✓ Los bosques de ciprés con crecimiento natural de la especie en Huehuetenango.
- ✓ Diferentes reactivos, para la determinación de la acidez (pH) y de las sales minerales (Na, Ca, Mg, K, Mn, Fe, P, Zn) del suelo.
- ✓ Barreno para evaluar la infiltración, por el método de Porchet.
- ✓ Agua para prueba de infiltración.
- ✓ Hidrómetro de Bouyoucos, para determinar la textura de las muestras de suelo
- ✓ Metro, Hipsómetro, brújula
- ✓ Horno para secado de la muestra
- ✓ Bolsas para las muestras de suelo
- ✓ Pala para muestreo
- ✓ Computadora
- ✓ Paquetes estadísticos para realizar las evaluaciones: como SAS y STATISTIC
- ✓ Personal, equipo y cristalería de laboratorio de suelos de la FAUSAC



