

SISTEMA DE CLASIFICACION DE INDICE DE SITIOS PARA Eucalyptus  
deglupta BL. EN TURRIALBA, COSTA RICA

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Segundo V. Jadán Peralta

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Ciencias Forestales  
Turrialba, Costa Rica  
Marzo, 1972

SISTEMA DE CLASIFICACION DE INDICE DE SITIO PARA EUCALYPTUS  
DEGLUPTA BL., EN TURRIALBA, COSTA RICA

Tesis

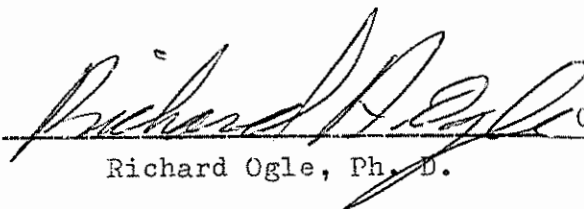
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar al grado de


Magister Scientiae

en el

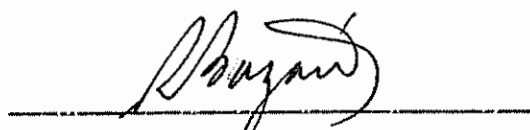
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:

  
Richard Ogle, Ph. D. Consejero

  
Pablo Rosero, M.S. Comité

  
Thomás A. Mckenzie, M.F. Comité

  
Rufo Bazán, Ph. D. Comité

Marzo, 1972

DEDICATORIA

A Virgilio, mi padre

A Rosario, mi madre

A mis hermanos

A Inés

## AGRADECIMIENTO

Para la feliz culminación de la presente investigación ha recibido ayuda de varias personas y el autor gustaría hacerles notorio su agradecimiento.

Al Dr. Gilberto Páez, no sólo por su desinteresada y asidua colaboración en lo referente a los análisis estadísticos, sino también por su orientación y ayuda en el cuerpo de la tesis.

Al Dr. Richard Ogle, Consejero Principal, por su valiosa ayuda en el planeamiento del presente estudio.

A los demás miembros de su Comité Consejero:

Ing. Pablo Rosero, por su amistad, ayuda y enseñanzas;

Ing. Thomás A. Mckenzie, y Dr. Rufo Bazán por sus valiosas sugerencias.

El apoyo moral y material, fueron buenos incentivos para la feliz consecución del presente trabajo.

A las siguientes Instituciones:

Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA que le concedió la beca para realizar sus estudios de postgrado.

Al Ministerio de la Producción del Ecuador por la licencia permitida durante el tiempo de duración de sus estudios; y,

A todos sus profesores y personal auxiliar del Departamento Forestal, del Laboratorio de Suelos y del Centro de Computación Electrónica que ayudaron a la recolección, análisis de laboratorio y análisis estadísticos de los datos.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Loja, provincia del mismo nombre, Ecuador, el 6 de mayo de 1940. Los estudios primarios y secundarios los realizó en su lugar natal.

En 1961 ingresó en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Loja, donde obtuvo su título de Ingeniero Agrónomo en Junio de 1967.

En marzo del año que se graduó fue nombrado Auxiliar de la Agencia de Extensión Agrícola de Loja, pasando casi inmediatamente a desempeñar el cargo de Ingeniero Forestal en el Proyecto de "Desarrollo Forestal de Noroccidente" (Proyecto 127 de Fondo Especial de NW. UU.). En 1969 fue incorporado al Servicio Forestal del Ecuador, en la Sección de Inventarios Forestales, donde permanece hasta la fecha.

En septiembre de 1970 ingresó al Departamento de Ciencias Forestales del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en Turrialba, Costa Rica, graduándose en marzo de 1972.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION .....	1
1.1. Importancia del problema.....	2
1.2. Objetivo.....	3
1.3. Alcance de la investigación.....	4
2. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1. Calidad del sitio.....	5
2.2. Índice de sitio.....	6
2.3. Definición de índice de sitio.....	9
2.4. Propiedades del suelo y sus relaciones con los índices de sitio.....	10
2.4.1. Propiedades físicas de los suelos fo- restales.....	10
2.4.2. Propiedades químicas de los suelos fo- restales.....	17
2.4.2.1. Reacción del suelo (pH).....	18
2.4.2.2. Influencia de los nutrientes en el desarrollo de los árbo- les.....	19
2.4.2.3. Funciones de los nutrientes..	20
2.4.3. Características fisiográficas.....	23
2.4.3.1. Información acerca del suelo.	24
3. MATERIALES Y METODOS .....	27
3.1. Localización del estudio .....	27
3.1.1. Relieve.....	27
3.1.2. Condiciones ecológicas.....	27
3.2. Proceso experimental .....	28
3.2.1. Definición de la población y unidades muestrales.....	28
3.2.2. Plan de muestreo .....	30
3.3. Toma de datos .....	30
A. Trabajo de campo .....	30
3.3.1. Datos para la determinación de las cla- ses de sitio .....	30
3.3.2. Elección de los perfiles y toma de mues- tras de suelo .....	31
B. Trabajo de laboratorio	
3.3.3. Análisis físicos .....	33

	<u>Página</u>
3.4. Análisis de los datos .....	35
3.4.1. Clases de sitio .....	36
3.4.2. Análisis de los factores edáficos .....	37
3.4.3. Identificación de las clases de sitio mediante las variables del suelo.....	38
4. RESULTADOS .....	40
4.1. Formación de las clases de sitio .....	40
4.1.1. Crecimiento inicial y su forma de expresi ón.....	40
4.1.2. Clases de sitio .....	41
4.1.3. Representación de las clases de sitio..	41
4.1.4. Ritmo de crecimiento del <u>Eucalyptus de             glupta</u> Bl., tomando variaciones de cre cimiento y tiempo.....	43
4.2. Características de los sitios estudiados.....	43
4.2.1. Descripción fisiográfica de los perfí les.....	46
4.3. Estudio del crecimiento de los árboles con re lación a los factores del suelo.....	49
4.4. Relación entre los factores físico-mecánicos y el crecimiento del <u>Eucalyptus deglupta</u> Bl.....	50
4.4.1. Identificación de las clases de sitio mediante las variables físicas.....	55
4.5. Relación de los factores químicos y el creci miento del <u>Eucalyptus deglupta</u> Bl. ....	56
4.5.1. Identificación de las clases de sitio mediante las variables químicas.....	62
4.6. Relación entre los factores fisiográficos y el crecimiento del <u>Eucalyptus deglupta</u> Bl.....	63
4.6.1. Identificación de las clases de sitio mediante las variables fisiográficas...	67
5. DISCUSION .....	69
6. CONCLUSIONES .....	76
7. RESUMEN .....	78
7a. SUMMARY .....	81
8. LITERATURA CITADA .....	84
APENDICES .....	88

## 1. INTRODUCCION

El aumento de consumo de madera en el mundo se ha convertido en un incentivo para extender áreas de reforestación con especies prometedoras y de rápido crecimiento.

Para climas tropicales y húmedos se han elegido especies de eucaliptos de climas homólogos del cuál fueron originarios. Una de esas especies es el Eucalyptus deglupta Bl. probablemente única en su género adaptada a condiciones tropicales húmedas y a precipitaciones de 3.500 a 5.000 mm anuales (24).

Se ha experimentado esta especie en parcelas de ensayo en Honduras, Costa Rica, Panamá, Brazil y Colombia, obteniéndose alagados resultados en su primera y segunda etapa de introducción. Para entrar en su tercera etapa de evaluación comercial y poder planificar un rendimiento de la especie con buena productividad hace necesario estudiar las clases de sitio y características favorables del suelo para el buen desarrollo de la especie.

Un dasónomo no puede conocer la máxima productividad de un sitio sin la predicción confiable de las tierras forestales (6). Pues, la predicción de la productividad de las tierras con vocación forestal es esencial para el silvicultor dedicado al manejo de los bosques. Esta predicción puede ser estimada directamente en los bosques establecidos, correlacionando la altura y edad de los árboles dominantes y codominantes (10), o la altura correspondiente al medio de los árboles de la parcela, mayor que el 90 % de la altura total de los do-



minantes (9). Con estas estimaciones se puede conocer la cantidad de madera que puede producir un sitio dado a una edad determinada y definir la calidad del mismo. Generalmente el término "buen sitio" se define a la relación de los factores edáficos, bióticos, geográficos y climáticos que son favorables para el crecimiento de la especie (8). El problema viene de relacionar la variable dependiente "crecimiento" con las múltiples variables independientes anteriormente anotadas. Esto requiere investigaciones de campo y de laboratorio y análisis preliminares para seleccionar a un mínimo de variables las que influyeron directamente e indirectamente en el crecimiento de la especie.

#### 1.1. Importancia del problema

La calidad del sitio puede obtenerse de los bosques presentes; pero, en lugares que se desee reforestar es imposible medirlo directamente. Por otra parte, si existen bosques las estimaciones de índices de sitio son a menudo difíciles y a veces imposibles de obtenerlos, porque las áreas dedicadas al cultivo de los árboles son las más pobres; porque son afectadas por insectos y plagas, porque existen diversidad de edades o porque son descuidados en las labores culturales. Estos factores negativos impiden que sean el fiel reflejo de un buen sitio o que la especie se desarrolle bajo ciertas características buenas de suelo y clima. Por consiguiente para predecir la productividad de la tierra forestal es imperioso contar con una metodología o técnica útil que ayude a encontrar el índice de sitio en base al efecto de los factores de sitio (8). Para esto se puede valer de métodos indirectos de estimación de ín-

indices de sitio basados en correlaciones de las características físicas y químicas de los suelos y características mesurables de topografía. Pues, la descripción del perfil del suelo, el análisis físico-químico a distintas profundidades y estudio de las características fisiográficas del sitio son herramientas favorables e indispensables del dasónomo investigador (22). Esto le sirve para incluir en sus programas de trabajo, la selección de áreas de plantaciones, la identificación de tierras marginales para tal especie, duración de los turnos de cosecha y prioridades de plantaciones.

Al respecto Phillips (36) indica que hay dos maneras de establecer la relación entre el índice de sitio y las características del suelo: i. relacionando el índice de sitio con varios factores medibles de suelo y topografía, tal como textura, profundidad, etc. y ii. determinando el promedio de índice de sitio para cada tipo de suelo. Para el presente caso se escogió la manera de relacionar los índices de sitio con las variables edáficas.

## 1.2. Objetivo

El presente trabajo se concreta a formar clases de sitio para plantaciones jóvenes de E. deglupta Bl.; y relacionar la altura de los árboles con las características mesurables ya sean químicas, físicas o características fisiográficas, a fin de determinar los factores del suelo que podrían estar asociados con la capacidad de producción.

El objetivo único es de establecer un sistema para identificar clases de sitio en árboles jóvenes de Eucalyptus deglupta, en base

a la identificación de los factores edáficos.

### 1.3. Alcance de la investigación

Se trata de evaluar los índices de sitio en base a las variables físicas, químicas y características del suelo a fin de recomendar una metodología rápida, práctica, capaz que seleccionando a un mínimo las variables independientes sea posible estimar la calidad del sitio.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Calidad de sitio

La cantidad y calidad de vegetación que produce una área determinada esta relacionada con los factores de ésta área. Un cambio cualquiera de uno o más factores, influirá directamente en el volumen y en la clase de vegetación. Por consiguiente, la calidad del sitio se considera como la capacidad de producir bosque u otro tipo de vegetación como producto de la interrelación de los factores edáficos, bióticos y climáticos (16, 40).

La calidad del sitio tiene una importancia práctica desde el punto de vista de manejo forestal, "la producción sostenida del bosque".

La calidad del sitio puede ser estimada mediante ciertos indicadores vegetales. En algunos países europeos han descubierto que ciertos arbustos o plantas herbáceas se encuentran regularmente en buenos sitios, otras en sitios medianos, y algunas otras en sitios pobres, formando con esto clases de sitio arbitrarias y por consiguiente no tan confiables en su uso; esta es la razón para que su uso sea restringido (16, 8). Daubenmire (15) fue el que se sirvió de indicadores vegetales para estudiar la calidad del sitio del Pinus ponderosa, al final probó una clave de especies indicadoras para identificar siete tipos de bosques naturales de pinos, pero a pesar de ello su uso no se ha generalizado.

Otra manera de estimar la calidad del sitio es mediante el

crecimiento diamétrico anual y/o el incremento volumétrico de los árboles a una edad determinada.

Las variaciones de crecimiento diamétrico, volumétrico y altura de los árboles tienen una correlación positiva, obedeciendo estos cambios a causas similares de sitio (16). Esto prueba que el crecimiento en altura puede también ser usado para la formación de los índices de sitio; razón por la cuál se tomó este parámetro para fines del presente estudio, pues, es a la vez fácil de determinarlo y de uso bastante rápido.

## 2.2. Índice de sitio

La palabra índice de sitio indica una razón, fórmula o dimensión cualquiera con respecto a otra dimensión o a otro valor cualquiera\*. El índice climático por ejemplo, puede expresarse en términos de temperatura media anual, precipitación, déficit de saturación medio del aire, etc. etc. De la misma manera se emplea en ciencias forestales la palabra índice de sitio para expresar cuantitativamente la relación de la altura con la edad de los árboles (28). Esta relación puede expresarse en curvas y su empleo sirve para mostrar el desarrollo de la altura a una edad determinada o también puede expresarse con propósitos de clasificación (2,39). La forma de la curva dependerá del desarrollo y variaciones biológicas que sufra la planta, cuyo fenómeno natural puede ser expresado matemáticamente mediante tipos de funciones. Strand (39), indica que una curva de índice de sitio puede estar descrita por la

---

\*Font Quer, P. Diccionario de Botánica.

siguiente ecuación:

$$Y = f(X_1, B_0, B_1, B_2 \dots \dots \dots)$$

donde, Y es la altura, X la edad y  $B_0, B_1$ , etc. son parámetros.

Luego, cualquier tipo de curva puede construirse en base a la ecuación anteriormente mencionada.

Beck (4) probó un modelo exponencial de crecimiento más complicado que es como sigue:

$$H = A(1 - \exp(-kt))^{\frac{1}{1-m}} \quad \text{donde:}$$

H es la altura; A, k, m, parámetros estimados y  $t$  la edad, cuya función describe una curva asimétrica y sigmoidea, pasando por el punto de origen y se aproxima su máxima altura A, cuando la edad se aproxime a infinito.

Muchos modelos han sido estudiados para representar las curvas de índice de sitio. Graves (23) probó dos modelos matemáticos: uno exponencial ( $H = b_0 b_1^{1/E}$ ); y una función simple monomolecular con óptimos resultados. McGee y Clutter (32) también estudió la forma exponencial relacionando la altura de las plantas con la edad, expresando el logaritmo de la altura del árbol como una función lineal de la recíproca de la edad. Los resultados de estos trabajos han hecho que se generalice en el uso de la ecuación y como consecuencia que también se la haya usado en la investigación presente.

Al hablar de la altura de la planta es necesario definir en qué estrato del bosque se va a tomar dicha medida como una variable representativa e indicadora de la calidad del sitio. Ker(29), con-

sideró cuatro diferentes maneras: i. por el promedio aritmético de las alturas de los árboles dominantes y codominantes; ii. por el promedio de los árboles solamente dominantes; iii. por el promedio de los diámetros medidos de los árboles dominantes y codominantes y la lectura de la curva diámetro-altura correspondiente a éste diámetro; y, iv. por el promedio de las áreas basales de los árboles dominantes y codominantes. Concluyó recomendando que la estimación de la calidad de sitio puede obtenerse más confiablemente por la estimación de la altura total de muestras de árboles dominantes seleccionados al azar. Chagas (9), estimó índices de sitio en base a la altura de los árboles dominantes y a la altura mayor que el 90 % de los árboles dominantes, encontrando un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.877 para el primer caso y 0.872 para el segundo. No hubo significancia, pudiendo utilizarse cualquiera de ellas. Pero generalmente cuando se trata de stands de la misma edad se emplea la altura promedio de los árboles dominantes o la altura promedio de los árboles dominantes y codominantes a una edad establecida.

Al mencionar la edad se debe tener presente que para zonas templadas, N. América por ejemplo, donde el crecimiento del árbol se detiene en la estación de invierno y la tasa de crecimiento anual es muy limitada, se habla de 50, 80 ó 100 años, no así, en las zonas tropicales donde se reduce considerablemente el número de años. Dependiendo del turno de la explotación y el destino que se le dé al producto, puede ser de 10, 15 ó 20 años.

### 2.3. Definición de índice de sitio

Para el caso de masas de árboles de una misma edad de cualquier especie que fuera, la altura promedio del árbol a una edad establecida se denomina índice de sitio.

Si se tiene bosques de diferentes edades el índice de sitio lo define Bruce (8), como la altura en pies o metros de la asíntota de la curva altura-diámetro a la altura del pecho o la altura promedio de los árboles dominantes a una edad-sitio.

Finalmente, el índice de sitio es la resultante de la multitud de factores (edáficos, bióticos, geográficos, climáticos) que intervienen en la calidad del sitio.

Estos factores pueden ser, unos mesurables y modificados por el hombre; otros mesurables y no modificados; y otros factores, que no son mesurables ni tampoco pueden ser modificados por el hombre, por ser regidos por la naturaleza. El factor clima por ejemplo, se lo ha estudiado principalmente en base a temperatura y precipitación. Los resultados de estas experiencias nos indican la distribución de las plantas en el globo, formando lo que se llaman zonas de vida. Estos factores corresponden al grupo de ser cuantificados y no modificados por el hombre. Por el contrario otros factores son controlados por el hombre y quizá sea el motivo principal para que se le haya dado atención a los factores edáficos que en los últimos veinte años se ha intensificado las investigaciones en mayor grado. Se ampliará la información en éste particular por ser motivo principal de la presente investigación.



2.4. Propiedades del suelo y sus relaciones con los índices de sitio

2.4.1. Propiedades físicas de los suelos forestales

i. Profundidad del suelo

La profundidad del suelo tiene una decisiva importancia en Silvicultura. En áreas con formaciones rocosas la profundidad potencial del suelo se reduce y se ve restringida la capacidad geotrófica de las raíces. Estas y otras limitaciones geológicas son suplementadas por las condiciones físicas y biológicas de los suelos las cuales no ayudan a la penetración de las raíces. Broadfoot (6) únicamente encontró importante la profundidad del suelo en la capa superior, asignando el 77 por ciento de la variación del índice de sitio a la profundidad de la capa superficial, cuya ecuación en base a los datos de una serie de suelos correlacionados con la altura de tres variedades de Quercus es : Índice de sitio =  $73.6 + 3.64 X$ ; donde  $X$  es la profundidad de la capa superficial. También encontró que la profundidad de tres a cuatro pies era influyente para el Roble spp. Esto quiere decir que la profundidad puede ser un factor limitante o nó, dependiendo de la especie; pero, considera Della-Bianca (17) que a la profundidad de un pie es más importante determinar el índice de sitio que a profundidades mayores. Young (44), encontró que el índice de sitio del Pino blanco decreció con un incremento de la profundidad del horizonte A y con un incremento del porcentaje de piedras en el horizonte B. La profundidad tiene importancia al relacionarla con la textura de los suelos.

Storie y Wieslander (38) encontraron que suelos con textura mediana y de más de cuatro pies de profundidad se requieren para clases de sitio alto y suelos de textura mediana con dos pies de profundidad para clases de sitio mediano.

ii. Textura

A un vistazo general el suelo esta formado ecológicamente por dos fracciones de suelo: fracción gruesa (mayor de 0.05 mm de diámetro) y fracción fina (menor que 0.05 mm) que la componen el limo y la arcilla. La cantidad de estas dos fracciones del suelo no solamente se diferencian por el tamaño, sino también por la función que desempeñan. Mientras las primeras cumplen con la principal función de sostenimiento de la planta, las otras constituyen la parte activa y central del suelo.

Coile (11) estudió las características físicas de cada capa del suelo relacionados con la influencia del crecimiento del Pinus echinata Mill. De sus observaciones aparece que la cantidad de las fracciones más finas del suelo en el horizonte B y el espesor de la capa superficial tienen una influencia en el índice de sitio. Concluye que la calidad del sitio para el P. echinata puede ser estimada con bastante aproximación determinando la profundidad promedio del suelo y el porcentaje de limo y arcilla en el subsuelo.

iii. Materia orgánica. Efecto físico de la materia orgánica del suelo

La materia orgánica tiene un efecto puramente físico complementando a los coloides minerales del suelo, así: la materia orgánica

nica incrementa la capacidad de retención de agua; tiene capacidad para retener nutrientes, particularmente bases y amonio; tiene efecto positivo en la estructura del suelo, en la porosidad, permeabilidad y aereación del suelo. En el año 1960 Walker y Reed citados por Della-Bianca (17) encontraron una correlación negativa entre la altura del Catalpa speciosa y la materia orgánica en suelo mineral. Lo consideraron como un efecto rezagado de una desfavorable relación entre limo y arcilla. Coile (12) reporta también una correlación negativa entre el índice de sitio del Pinus serotina y la interrelación de la profundidad del horizonte A<sub>1</sub> con la materia orgánica. Justifica que porcentajes mayores de 15 % de materia orgánica puede reflejar un pobre drenaje y como consecuencia una causa directa en la baja productividad.

#### iv. La estructura y su importancia

La estructura es el arreglo de partículas individuales del suelo. Cuando no están agregadas, los suelos tienen una estructura simple, caso contrario compacta.

La estructura del suelo puede modificar los efectos ecológicos de la textura del suelo. Por ejemplo ciertas estructuras macroscópicas de los suelos forestales indican la capacidad de infiltración, aereación y predisposición de la penetración de las raíces. Los suelos lodosos pueden detener el crecimiento de varias maneras: así, este tipo de suelo no puede drenar el agua de lluvia y perder gran cantidad de humedad por evaporación; el porcentaje de aire se reduce a un nivel crítico del necesitado para el crecimiento satisfactorio de la planta.

Al hablar de la densidad de los suelos, dentro de las mismas clases texturales las propiedades estructurales están correlacionadas con el peso en una unidad de volumen de suelo y se refiere a la densidad aparente y real de partículas con los cuales sirven para obtener la porosidad total.

v. Porosidad total

La porosidad total es determinada por el espacio del suelo no ocupado por sólidos (27). El cálculo se determina mediante la fórmula:

$$P = 100 \frac{GSR - GSA}{GSR}; \text{ donde :}$$

P es la porosidad total expresado en porcentaje por volumen; GSR, gravedad específica real y GSA, gravedad específica aparente.

Los suelos de textura gruesa tienen menos espacio poroso capilar que los suelos de textura fina porque el área de la superficie es más pequeña. Generalmente hablando un suelo forestal tiene una porosidad entre 30 y 65 % (41).

Dependiendo del tamaño de los poros, suelos del mismo volumen poroso pueden ejercer diferente influencia en el crecimiento del árbol. Si el suelo tiene una preponderancia de poros pequeños o microporos, tienen mayor capacidad de retención de humedad o una tendencia a mantener el agua por mayor tiempo. Inversamente, si los suelos tienen una preponderancia de poros grandes o no capilares presentan una alta aeración así como una buena capacidad de infiltración. Los poros más pequeños no capilares, sin embargo son responsables de la retención temporal de una considerable frac-

ción de agua gravitacional.

vi. Aereación del suelo

El espacio poroso es ocupado por el agua y el aire; de aquí que la porosidad y el volumen de agua expresado en porcentaje determina el porcentaje de aire (A); luego:  $A = EP - EW$ ; donde EP es el espacio poroso y EW espacio ocupado por el agua.

Se ha observado en varios estudios que el contenido de aire en el suelo influencia en la distribución y crecimiento de la vegetación forestal. Coile (12) aduce a las características fisiográficas y al porcentaje de arcilla en el subsuelo como responsables de la aereación y drenaje interno en el suelo. La deficiencia de aire se refleja en un desarrollo anormal del sistema radicular.

En análisis de suelos es común determinar el porcentaje de aire absoluto o la cantidad de aire en la cuál está presente en un suelo después de haber sido saturado con agua y luego drenado por 24 horas. Pero generalmente se toma esta característica 24 horas después de una lluvia.

Experiencias de investigadores dicen que para un crecimiento satisfactorio el contenido de aire en el suelo no debe ser menor del 10 %. Sin embargo Wilde (41) encontró un crecimiento rápido de los bosques de Picea abies con una capacidad de aire del 5 %. Ciertas maderas densas tales como el Acer sp. el fresno blanco, requieren de un grado de aireación mucho más alto, de 15 %. Esto deja ver que el porcentaje de aireación como factor limitante depende de la especie. Zahner (45) estudiando calidades de sitio

para pino en el sur de Arkansas y norte de Louisiana dice que la aireación pobre en el suelo puede o no puede ser responsable de una pobre calidad de sitio; pero que usualmente una pobre aeración esta asociado con una alta humedad; e indirectamente sin embargo, es responsable de una deficiente humedad en el suelo. Esto justifica que el porcentaje de aire en el suelo puede o no puede ser factor limitante para el crecimiento de la foresta.

vi.'i. El aire y la permeabilidad de agua en el suelo

La insuficiencia de aire en el suelo especialmente en la superficie, puede ser debido a un impacto de las gotas de agua de lluvia por falta de vegetación, al uso pesado de maquinaria o a un cultivo prolongado. Por la constante respiración de las raíces y organismos del suelo el aire es enriquecido de  $CO_2$  y la falta de movilidad se altera la relación  $CO_2/O_2$  dañino para las raíces.

La permeabilidad de agua puede ser determinada con manómetros de suelo o puede ser deducida mediante análisis de densidad aparente y porosidad del suelo, método este último usado en la presente investigación.

La permeabilidad de agua esta relacionada con la permeabilidad de aire, con la capacidad de aireación y con la porosidad total. De acuerdo con Burger, citado por Wilde (41), un suelo con una capacidad de aireación de 17 % existiendo buen crecimiento de la foresta, infiltra 10 centímetros de agua aproximadamente en dos horas. En un suelo improductivo con una capacidad de aire del 5 % infiltra la misma cantidad de agua pero en 45 horas.

Existen algunas otras características como penetrabilidad o resistencia que ofrece el suelo a la entrada de un cuerpo sólido, consistencia, cohesión y plasticidad expresados en grados tales como blando, friable, compacto, duro, cementado, etc. pero su uso está limitado a la descripción de perfiles de suelo y raramente son requeridos en prácticas silviculturales.

vii. Agua del suelo

vii. i. Importancia ecológica

La falta de agua determina la vida de la planta con mayor influencia que cualquier otra causa natural. Además de influir en el crecimiento de las plantas regula otras condiciones del suelo como temperatura, aereación, actividad microbiológica, disponibilidad de nutrientes y concentración de sustancias tóxicas.

No toda el agua en el suelo es aprovechada por las plantas, sino que parte se pierde por evaporación y parte por percolación. Esta pérdida depende de la capacidad de absorción del suelo, del tamaño de los poros, de las partículas que lo constituyen y de la naturaleza mineral y coloidal del suelo.

La movilidad de agua en el suelo está regulada por las fuerzas de adhesión, cohesión y tensión superficial.

El agua está en el suelo en tres formas: agua gravitacional, la cuál se mueve a través de los poros grandes bajo la fuerza de la gravedad; agua capilar, retenida por los microporos y por la superficie de las partículas del suelo y agua higroscópica, fijada muy fuertemente por fuerzas adhesivas en forma de una fina ca-

pa alrededor de las partículas del suelo. La succión necesaria para remover una porción de agua se expresa en atmósferas o la altura de una columna de agua o de mercurio. Para remover el agua gravitacional la experiencia dice que se necesita más o menos de  $1/3$  de atmósfera, equivalente a 250 mm de una columna de mercurio y de 340 centímetros de una de agua. Esta misma fuerza de succión se utilizó para el cálculo del índice de textura conforme se verá posteriormente. Para el agua higroscópica se necesitan fuerzas superiores a 1.000 atmósferas o a un millón de centímetros de una columna de agua.

#### viii. Color del suelo

El color es un indicador de varias características del suelo: su origen geológico, enriquecimiento de humus, grado de oxidación y reducción, acumulación de compuestos minerales como el hierro, etc. etc. Pero se debe tener presente que únicamente con el color no se puede tener un criterio definido; pués, es necesario realizar la investigación respectiva.

La terminología del espectro ha sido un problema , pero gracias a la introducción de la Munsell Color Charts se han obviado estas discrepancias (33). Esta misma Tabla Munsell sirvió de guía para la descripción del color de los perfiles.

#### 2.4.2. Propiedades químicas de los suelos forestales

Muy poca importancia se ha dado a la relación entre las propiedades químicas del suelo y el crecimiento de la planta y mejor se ha enfatizado a las propiedades físicas de los suelos,



particularmente a los coloides del suelo, humedad y aereación del suelo.

Sin embargo se le ha dado importancia dentro del campo investigativo, cuyos trabajos sobre la disponibilidad y fijación de nutrientes, propiedades cambiables del suelo, han sentado la importancia de la relación entre el suelo y el crecimiento de las plantas.

#### 2.4.2.1. Reacción del suelo (Valor pH)

Se define pH. como el índice negativo del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno (27). Pero, actualmente se considera que el pH expresa la actividad más que la concentración de hidrógenos (37). En investigaciones recientes han demostrado que las arcillas ácidas contienen poco o nada hidrógeno intercambiable y mucho ion aluminio; luego, por la inestabilidad de las arcillas de hidrógeno al descomponerse en arcillas de aluminio se considera que el Al. es el responsable de la reacción del suelo.

El pH ejerce una influencia en las funciones de la vida de los organismos, en la disponibilidad de nutrientes y en las propiedades físicas de los suelos. Luego, el pH se lo puede considerar como una herramienta útil en la selección de sitios para plantaciones de especies forestales.

Los trabajos indican que existen un rango óptimo del valor del pH característico de cada planta. Este valor es muy aproximado a la realidad por cuanto el efecto de la reacción del suelo es a menudo modificado por el clima, contenido de coloides, su-

ministro de nutrientes y otros.

Existen algunas generalizaciones pertinentes al efecto de la reacción del suelo sobre la distribución de las especies forestales. Wilde (41) señala que el roble blanco, el Liriodendron tulipifera, el Fagus sp. el Platanus sp. y otras maderas duras de N. América muestran una alta tasa de crecimiento en altura, en suelos de textura fina y reacción del suelo de 4.6.

Si es cierto que existe una amplitud al rango límite del pH se debe hacer una evaluación correcta de la influencia de las reacciones del suelo en la selección de sitios para viveros y plantaciones forestales. En el vivero por ejemplo un alto grado de acidez (pH de 4.7) las plantaciones pueden sufrir una baja disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio y otras bases; por el contrario un suelo alcalino ( pH mayor de 8) puede decrecer la disponibilidad de fósforo, hierro, boro, zinc y manganeso (41).

#### 2.4.2.2. Influencia de los nutrientes en el crecimiento de los árboles.

De acuerdo a las investigaciones de Sacha y Knop citados por Wilde (41) encontrarón diez elementos esenciales para el desarrollo de los árboles que son: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S. y Fe. En años recientes se ha revelado que los elementos menores también tienen influencia en el crecimiento de la planta como el Bo, Mn, Zn, Cu, y Mb. Las plantas por tomar el C, O e H. del agua o del aire no se los toma en cuenta, el resto son suministrados por el suelo. Se debe mencionar que el N. generalmente es suministrado por el suelo, pero también es por el aire a través de la

actividad simbiótica de los microorganismos y bacterias.

Los nutrientes cumplen funciones esenciales y específicas en el desarrollo de los árboles; contribuyen a la formación del protoplasma y paredes de las células; ellos influyen en los coloides de las células, en la permeabilidad de las membranas y presión osmótica de las células.

#### 2.4.2.3. Funciones de los nutrientes

Nitrógeno. El nitrógeno es el constituyente esencial de las proteínas y las proteínas la parte central en los procesos de la vida (37, 41).

La cantidad de nitrógeno tiene su efecto en el crecimiento del árbol. Una deficiencia de N. en el suelo causa un impedimento en el crecimiento de la planta, el follaje se torna amarillento, las hojas y brotes tienen una muerte prematura y hay un detenimiento en el desarrollo radicular.

El caso contrario, un exceso de N. produce un crecimiento anormal y debilitamiento de las ramas por la reducción del tejido esclerénquimatoso. Las plantas son más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. En forma general Wilde (41) anota que 0,2 % de nitrógeno total es adecuado para la mayoría de las especies. El consumo anual de 40 libras por acre raramente excede.

Estudios hecho por Pawluk (35) con Pinus banksiniana, encontró que el nitrógeno total y el contenido de carbono en el horizonte A<sub>2</sub> mostraron una correlación negativa con los índices de

sitio y como consecuencia lo mismo ocurrió con la materia orgánica; en cambio Forristall y Gessel (21), estudiando algunas propiedades del suelo correlacionados con el tipo de cubierta y la productividad forestal encontraron únicamente cinco propiedades del suelo que están correlacionadas con la productividad forestal entre las cuales está el nitrógeno, las otras son: profundidad efectiva, densidad aparente, humedad y capacidad de intercambio catiónico.

Fósforo. El fósforo es el constituyente de los núcleos. Es importante en la división celular y en el desarrollo de los tejidos del meristema. Un alto contenido de P. se encuentra en las semillas y sirve de fuente de abastecimiento en las primeras etapas de desarrollo.

No obstante de la importancia del P. en las funciones de crecimiento, su deficiencia raramente se manifiesta. En una carencia crítica hay degeneración de los brotes laterales, disminución del número de ramas y el follaje se torna bronceado. La corrección de las deficiencias de fósforo estimula la asimilación del  $CO_2$  y de otros minerales como el nitrógeno.

El empleo de radio isótopos indican que el fósforo tiene una gran movilidad en los tejidos de la planta, trasladándose de acuerdo a las necesidades desde las hojas a las zonas de crecimiento.

El contenido de fósforo disponible en suelos forestales vírgenes en Estados Unidos de N. América varían de 10 a 200 ppm. Se cree que 50 ppm de fósforo disponible es suficiente para la mayoría de las especies forestales (37, 41).

Potasio. El potasio ayuda a la asimilación del  $\text{CO}_2$ , ayuda a la transformación de los carbohidratos, a la síntesis de las proteínas y a la división celular. Su función es reguladora o catalizadora. Se encuentra en las hojas jóvenes, yemas y extremos de las raíces.

La deficiencia de potasio retrasa el crecimiento de las raíces. El potasio contrarresta el efecto dañino producido por el exceso de nitrógeno.

Un suelo ordinario contiene de 1 a 2 % de  $\text{K}_2\text{O}$ . En suelos vírgenes varía de 50 a 200 ppm. Para pino 30 ppm es suficiente pero para el Taxidium distichum y el Picea abies, requieren de un promedio de 150 ppm. Esto varía con la especie (41).

Calcio. El calcio es importante porque actúa directamente como nutriente e indirectamente entra en la reacción del suelo. Es importante en el desarrollo de las raíces y de los pelos radiculares. Ayuda a la absorción de agua y nutrientes y favorece la permeabilidad de las paredes celulares. En la planta se acumula principalmente en las hojas, cuando se trata de especies de maderas pesadas.

Una deficiencia de calcio trae el atrofiamiento del crecimiento y un descoloramiento de las raíces y como efecto indirecto permite la acumulación de otras sustancias en el tejido. Así, un buen suministro de calcio ayuda a neutralizar los efectos de un desbalance en la distribución de los nutrientes del suelo (37).

Bajo condiciones naturales dice Wilde (41) una deficiencia de calcio es raro que ocurra en suelos forestales. Bajo condicio-

nes de invernadero 800 libras de calcio por acre resulta deficiente para satisfacer las necesidades de la planta en los primeros cuatro meses de edad. Apesar de ello, trabajando Auten (3) en la predicción de índice de sitio para el álamo amarillo encontró que el contenido de calcio en el horizonte  $A_1$  es más alto en suelos que soportan clases de sitio altos que en suelos con bosques de clases de sitio bajos.

Magnesio. El magnesio es el mineral constituyente de la molécula de clorofila, siendo esencial en todas las plantas verdes. El ión magnesio parece ser un activador específico de varias reacciones encimáticas.

La deficiencia de magnesio se sucede en suelos arenosos y ácidos y la planta sufre una clorosis seguida por una defoliación prematura. Un exceso de magnesio produce efectos dañinos que pueden ser contrarrestados por la adición de sales de calcio.

El contenido de magnesio disponible regularmente es de  $1/3$  a  $1/5$  partes de la de calcio, aunque en cultivos controlados la relación de Ca/Mg fue de 30 para un satisfactorio crecimiento de los árboles.

#### 2.4.3. Características fisiográficas

Pendiente. Se refiere al grado de inclinación del terreno con respecto a la horizontal. Generalmente abarca las inmediaciones de la calicata o la parte cubierta con bosque que sirvió como toma de muestra.

En N. América a más de la pendiente como características de sitio consideran la posición geográfica en el plano de coordenadas. Es de esperar que esta característica sea importante en las zonas templadas, pero para el caso presente no tiene importancia.

Einspahr y McComb (20) estudiando índices de sitio del roble en relación con las características topográficas en el NE de Iowa encontraron relación entre el índice de sitio y la pendiente. La prueba de "t" resultó ser altamente significativa. Hannah (26) en la estimación de índice de sitios en base a características topográficas encontró que la ecuación basada en la edad del árbol y las características topográficas son responsables del 55 % de la variación de la altura de la planta.

#### 2.4.3.1. Información acerca del suelo

Dentro de este capítulo se considera a varias características como material de partida, condiciones de humedad del suelo, presencia de piedras en la superficie, erosión, presencia de sales o álcalis, influencia humana, etc. etc. pero las que mayor importancia tienen como efecto indirecto o directo al crecimiento de los árboles son: profundidad de la napa freática, drenaje, pedregocidad y profundidad.

La profundidad de la napa freática se considera al momento de la descripción como también la fluctuación media anual. Generalmente el nivel de la napa freática permanente como su máximo ascenso puede lograrse por los cambios de color en el perfil (34).

Es importante esta característica porque es en parte la responsable de la profundidad efectiva donde van a desarrollarse las raíces.

El drenaje o la facilidad de escurrirse el agua dentro del perfil es una característica importante y en ciertos casos limitante para el desarrollo de las raíces. Si el drenaje es deficiente, el espacio aéreo es llenado por el agua y baja el contenido de oxígeno. En forma general se acepta el contenido de oxígeno inferior al 12 % afecta al crecimiento de los árboles (41).

Numerosos estudios han sido conducidos a probar la relación entre la tabla de agua y el crecimiento de los árboles. Diebold y Spaeth citados por Coile y luego el mismo Coile (12) han observado que la ocurrencia de las raíces fue marcadamente afectada en presencia de la tabla de agua en suelos pobremente drenados. Broadfoot (7) encontró que el Liquidambar styraciflua tuvo índices de sitio bajos en suelos pobremente drenados.

El porcentaje de piedras en el perfil se lo hace en forma estimativa y causa un poco de dificultad. La importancia como característica al crecimiento de la especie no se encuentra bien definida, aunque más depende de la especie. Young (44) por ejemplo, encontró en un estudio del pino blanco que la profundidad del horizonte A como una variable fue significativa al 1 % y el porcentaje de piedras en el horizonte B fue significativo al 5 %. Las dos variables sumadas fueron responsables del 58 por ciento de la variación del índice de sitio. Deolittle (19)



también encontró que la profundidad del horizonte A es buen indicador del índice de sitio. Esta propiedad por si sólo es responsable del 90 por ciento de la variación del índice de sitio en el Quercus coccinea y Q. velufina.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización del estudio

El área de distribución de las plantaciones de E. deglupta en estudio, están ubicadas en el Cantón Turrialba, Costa Rica. Parte de ellas pertenecientes al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Centro Tropical de Enseñanza e Investigación (IICA-CTEI) y parte al Centro de Diversificación Agrícola de Turrialba. Figura 1.

##### 3.1.1. Relieve

Los terrenos del CTEI y sus alrededores son generalmente planos; pero los terrenos dedicados a la plantación de árboles están en partes escarpadas o bien en suelos planos pero anegadizos o de mala calidad. La descripción de los perfiles (Apéndice 4) da una idea de la microtopografía donde están ubicadas las plantaciones.

##### 3.1.2. Condiciones ecológicas

La cantidad de precipitación y la biotemperatura (Cuadro 1) la ubican en la zona de vida premontano muy húmedo (Mapa 12 -Zonas de vida, Inventario de los recursos de Turrialba). Todas las unidades muestrales están influenciadas bajo los efectos de esta zona de vida por lo cuál se descartó tomarla como variable.

Cuadro 1. Posición geográfica y condiciones climáticas del área

Localidad	Situación geográfica		Altitud s.n.m.	Temperatura °C**			Precipit.** Media anual
	Lat N	Long W		Max	Med	Min	
CTEI y Divers. Agríco.	9°51'00" a 9°54'00"	83°42'00" a 83°36'00"	580 a 990	26.6	22.3	18,0	3,336,0

Fuente: Observatorio Metereológico del CTEI.

\*: Mapa topográfico "Hoja Tucurrique"

\*\* : Observaciones promedias de los últimos cinco años

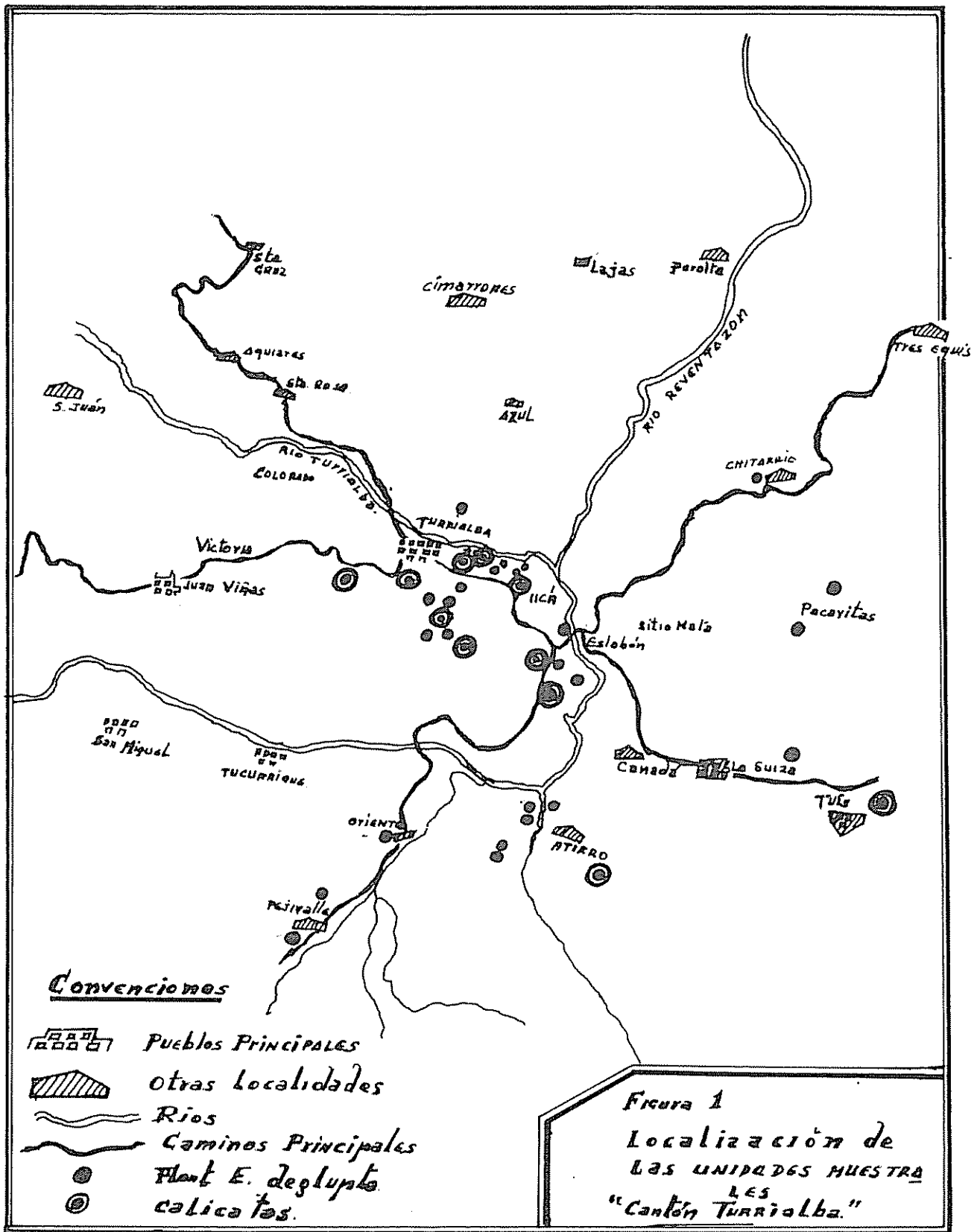
### 3.2. Proceso experimental

#### 3.2.1. Definición de la población y unidades muestrales

La población se la definió como todas las plantaciones de Eucalyptus deglupta, ubicadas en el área del Cantón Turrialba (área del CTEI), y área de plantaciones forestales del Proyecto de Diversificación Agrícola de Turrialba, mayores de seis meses de edad de haber sido plantadas. El espaciamento de las plantaciones varían de 2 x 2 m a 3 x 3 m.

La unidad muestral para la clasificación de sitio constituyeron los árboles dominantes y codominantes de una área de 100 metros cuadrados. La forma de la unidad muestral varió de cuadrada (10 x 10 m) a rectangular (33.3 x 3 m) dependiendo de la distribución de los árboles dominantes y codominantes dentro del bloque.

La unidad muestral para el estudio de las características edáficas constituyó el perfil del suelo, ubicado en el centro de la plantación.



**Convenciones**

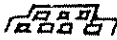





-  Pueblos Principales
-  Otras Localidades
-  Ríos
-  Caminos Principales
-  Plant. E. deglupta
-  caliches.

Figura 1  
Localización de  
las UNIDADES MUESTRA  
LES  
"CANTÓN TURRIALBA."

### 3.2.2. Plan de muestreo

Los factores más importantes que se tomó en cuenta para reducir el error de muestras fueron: ubicación de las plantaciones dentro de la misma zona de vida, libre del ataque de insectos y enfermedades, buena apariencia del follaje y conformación del fuste; todo lo cuál pareció ajustarse a las condiciones de los lotes en estudio.

El método de muestreo fue el estratificado al azar. Se estratificó por edades no mayores de seis meses, por tratarse de una especie de rápido crecimiento en su primera fase de vida; y luego, al azar se eligieron cinco unidades muestrales dentro de cada estrato. En algunos estratos se tomó el 100 % de la muestra por el limitado número de muestras que lo constituían (cuando tenían menos de cinco).

### 3.3. Toma de datos

Los datos coleccionados para el presente estudio estuvieron divididos en dos partes: aquellos utilizados para la determinación de la clase de sitio y aquellos utilizados para la identificación de la influencia de los factores edáficos en el crecimiento del árbol.

#### A. Trabajo de campo

##### 3.3.1. Datos para la determinación de las clases de sitio

Una vez agrupadas las plantaciones por estratos de edades, se seleccionaron 32 lotes entre las plantaciones de E. deglupta del CTEI y de Diversificación Agrícola. A estas se debe agre-

gar cuatro parcelas del CTEI que habían sido tomadas 23 mediciones a diferentes edades por el Departamento Forestal; lo cual consideradas como parcelas individuales dieron un total de 55 unidades muestrales.

Para fines de mensuración se consideró un máximo de veinte árboles dentro de cada unidad muestral. Cuando se encontró con plantaciones menores de 1/100 de ha se tomó en cuenta el mínimo de cuatro árboles dominantes y codominantes, debido al reducido número de las plantaciones disponibles.

La selección de los árboles fueron en lo posible numerados en el fuste y medidos la altura total y edad de cada uno de ellos. Para aquello se utilizó una cinta métrica de tela de 30 metros y un Blume Laisse. El registro de las mediciones se lo hizo en el formulario 1 (Apéndice 1).

### 3.3.2. Elección de los perfiles y toma de muestra de suelo

Para la selección de los perfiles se tuvo el criterio de diferencia de crecimiento del E. deglupta bajo un mismo rango de edad. Se eligieron once calicatas y cada una de ellas ubicadas en la parte central de la parcela de árboles. La localización de las calicatas están indicadas en la Figura 1. Las dimensiones del perfil fueron de 1 x 1 x 1 m.

En cada perfil se tomaron dos clases de datos: i. datos de descripción de suelos; y ii. datos de descripción del perfil. Para su registro se elaboraron dos tipos de formularios, correspondientes a las dos clases de datos; en el uno (Formulario 2,

Apéndice 2) se describió el suelo tomando entre otras características la ubicación, forma del terreno, porcentaje de pendientes y pedregocidad, profundidad, clases de drenaje y profundidad de la napa freática; y en el formulario 3 (Apéndice 3) se consideró el color, textura, estructura, consistencia y cantidad de raíces en cada capa del perfil que fue dividido. Para la descripción del sitio y de los perfiles se siguió las técnicas recomendadas de la FAO (34).

Las muestras de suelo fueron tomadas en cada capa de suelo que se notaba diferencia en su textura, estructura, consistencia y color. En esta forma los perfiles quedaron divididos de dos a cuatro capas.

En total se tomaron 36 muestras de suelo. Cada muestra era puesta en una bolsa de polietileno, identificada y llevada al invernadero del Laboratorio de Suelos para ponerla a secar. Las muestras eran secadas con un mínimo de 48 horas. El suelo se trituró en forma suave en un mortero para evitar desintegrar las piedras y luego pasado en un tamiz Nº 10 ( 2 mm ).

Para la descripción de los perfiles y toma de muestras de suelos se trató de efectuarlos en el mismo día de la apertura de la calicata.

Como material se utilizó una pieza de madera de plywood de 40 por 30 cms para recibir el suelo tomado en el corte vertical de cada horizonte. Se separó las piedras y raíces y luego transferidas a una bolsa de polietileno.

Para la determinación de la porosidad total del suelo se siguió las recomendaciones de Hardy (27). Se tomó muestras de suelo no alterado utilizando un cilindro de volumen conocido ( $84 \text{ cm}^3$ ), cuyo lado bicelado facilita la penetración en el suelo. Para los suelos arenosos se tomaron muestras verticales haciendo gradas en los pisos de cada horizonte considerado y para los suelos arcillosos y de mejor consistencia, especialmente en las capas profundas se tomaron muestras horizontales.

La tierra sobrante de los bordes del cilindro era eliminado con un cuchillo.

A fin de no comprimir el suelo-muestra se utilizó otro cilindro de igual diámetro con los filos romos. Este permitía introducir al otro cilindro a ras de la superficie del horizonte sin ser comprimido.

Para corregir la heterogeneidad del suelo se tomaron dos muestras de cada horizonte con un total de 72 muestras. El suelo del cilindro se sacó con una cuchilla y puesto en bolsas de polietileno, identificada y sellada de tal manera de no perder la humedad. En el Laboratorio se pesó el suelo en húmedo; luego se lo secó a  $104^\circ \text{C}$  en la estufa y vuelto a pesar (peso en seco). La relación del peso seco del suelo con el volumen del cilindro se obtenía la gravedad específica aparente de suelo no alterado.

## B. Trabajo de laboratorio

### 3.3.3. Análisis físicos

La distribución del tamaño de partículas se determinó median-



te el método de Boyoucos, basado en la velocidad de sedimentación de las partículas en una columna vertical de agua y a una temperatura estándar.

El porcentaje de arcilla, limo y arena fueron clasificados en forma convencional de acuerdo con el sistema Internacional y la proporción de partículas mediante clases texturales.

Para la estimación de la humedad del suelo al momento de la recolección de la muestra, se calculó la humedad gravimétrica, mediante la siguiente fórmula

$$\text{Humedad gravimétrica} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Peso seco}} 100$$

La determinación de la porosidad del suelo está definida como el porcentaje del volumen del suelo que no está ocupado por la materia sólida, que se compone de aire y agua. El cálculo se lo obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Esp.poroso total (\%)} = \frac{\text{Densidad de partículas} - \text{Densidad aparente}}{\text{Densidad de partículas}}$$

La densidad de partículas se la hizo mediante el método del picnómetro, utilizando kerosene deshidratado y un picnómetro de aire Beckman Modelo 930. La metodología fue seguida de acuerdo a la usada en el Laboratorio de Suelos del CTEI. La determinación de la densidad aparente fue descrita anteriormente y en detalle.

Por último se determinó la retención de humedad a 1/3 de bar, utilizando una olla de presión y un plato poroso para extraer el agua de la muestra saturada. La cantidad de agua retenida expresada en porcentaje se la denomina capacidad de campo y sirvió para el cálculo del índice de textura. La fórmula para el cálculo

del índice de textura es la siguiente:

Índice de textura = Capacidad de campo - 1/5 del % de arena

donde,

$$\text{Capacidad de campo} = \frac{\text{Masa de agua retenida a } 1/3 \text{ de bar}}{\text{peso seco}} \cdot 100$$

Los resultados de la humedad están representados mediante diagramas verticales (Apéndice 5). El índice de textura da una medida aproximada de la cantidad de humedad que puede retener el espacio poroso capilar.

#### 3.3.4. Análisis químico

La reacción del suelo (pH) se la determinó en agua, con diez partes de suelo tamizado y diez partes de agua, y en solución de  $\text{CaCl}_2$  0.01 molar (M) en la relación suelo-solución 1:2, utilizando para tal efecto un potenciómetro Beckman de electrodo de vidrio, Modelo 96.

La materia orgánica se determinó mediante el método Walkley y Black; el nitrógeno total por el método Micro-Kjeldahl de Bremmer; las bases cambiables (Ca, K, y Mg) mediante el método de Bower modificado por R. Díaz-Romeu y F. Balerdi, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Modelo 303); y el fósforo disponible por el método de Bray y modificado por Sáis del Río y Bornemisza.

Todos los análisis tanto físicos como químicos fueron hechos en base a la técnica usada en el Laboratorio de Suelos del CTEI.

#### 3.4. Análisis de los datos

La metodología empleada para la identificación de las clases de sitio mediante los factores del suelo se la puede resumir

en los tres pasos siguientes: i. estimación de las clases de sitio; ii. identificación de las variables edáficas de mayor influencia en el crecimiento en altura; y iii. identificación de las clases de sitio mediante las variables del suelo.

### 3.4.1. Clases de sitio

Para estimar las clases de sitio se consideró la diferencia de la altura total promedio de los árboles dominantes y codominantes a una edad uniforme. Se marcaron las alturas promedios de cada plot en papel milimetrado. A fin de observar la distribución de las alturas con respecto a la edad se cuadrículó de la manera siguiente: en el eje de las X se marcó líneas perpendiculares cada seis meses y en el eje de las Y líneas perpendiculares cada tres metros. Con esto se pudo identificar las dos clases de sitio ajustando luego las alturas agrupadas de cada clase a una ecuación del tipo exponencial. Se consideró la diferencia de altura de tres metros debido a que se quería demostrar una diferencia confiable, caso imposible de demostrarlo con diferencias cercanas.

La relación básica de la altura-edad que define las curvas de sitio se expresó mediante la siguiente ecuación:

$$H = b_0 \cdot b_1^{1/E}$$

que en forma linealizada quedó:

$$\text{Log } H = \text{log } b_0 + \frac{1}{E} \text{log } b_1$$

donde:

H = altura de los árboles

E = edad en años

$b_0, b_1$  = constantes de alometría

### 3.4.2. Análisis de los factores edáficos

Para expresar las influencias de las variables del suelo (físicas, químicas y características fisiográficas) al crecimiento de la altura del E. deglupta se utilizó el Análisis de Ruta (Path Analysis). Este tipo de análisis tiene la ventaja de expresar cuantitativamente la contribución que aporta directa e indirectamente al crecimiento del árbol. Es interesante anotar también que si la correlación entre la variable X y Y no es significativa, en términos de ponderación se puede conocer la influencia que ejerce la variable del suelo al crecimiento de la especie.

El proceso del Análisis de Ruta es el siguiente:

Paso 1. Estimación de medias y desviaciones estandaradas de cada uno de los componentes y análisis estructural de las variables para la estimación de la matriz de correlaciones; esto es:

$$R = D_{\underline{si}}^{-1/2} ( X' X ) D_{\underline{si}}^{-1/2}$$

donde:

R = Matriz de correlaciones estimada

$X' X$  = Matriz de momento

$D_{\underline{si}}$  = Inversión de la matriz cuadrada de los elementos diagonales de  $X'X$ .

Paso 2. Estimación de la ecuación lineal de predicción:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$$

donde:

Y = altura total del árbol

$X_i$  = variable independiente física, química o fisiográfica del terreno.

$b_i$  = parámetros estimados.

Paso 3. Cálculo de los caminos directos ( $C_i$ ) previa estandarización de las desviaciones estandaradas.

$$C_i = b_i (S_{X_i} / S_{Y_i})$$

Paso 4. Cálculo de los coeficientes de ruta

$$R_{X_i Y} = C_i + R_{i2}C_2 + R_{i3}C_3 + \dots + R_{in}C_n$$

donde:

$R_{X_i Y}$  = Coeficientes de correlación total de la variable independiente  $X_i$  sobre la altura Y.

$R_{in}$  = Coeficientes de correlación de la variable  $X_i$  con  $X_{ij}$ .

$C_i$  = Contribución directa de la variable independiente  $X_i$  sobre la variable dependiente Y.

$C_{in}$  = Contribución indirecta de la variable independiente  $X_i$  a través de  $X_j$  sobre la variable dependiente Y.

### 3.4.3. Identificación de las clases de sitio mediante las variables del suelo

El análisis de ruta sirvió para identificar las variables que más contribuyeron al crecimiento de la planta, pero para describirlas dentro de las clases de sitio se utilizó los datos de campo valiéndose de los promedios de los perfiles ubicados dentro de cada clase de sitio y discriminados por comparación de sus resultados, cuyo desarrollo se podrá ver en el capítulo de resultados.

Los resultados de las variables identificadas, que fueron seis, sirvieron como índices patrones para predecir la clase de sitio ( Cuadro 24 en la página de resumen). Estos valores índices fueron comparados con los valores de campo a fin de predecir la clase de sitio y los resultados de la metodología empleada.

Un ejemplo de dicha aplicación es el siguiente:

Unidad muestral 22

Lugar : Puente Cajón (área del CTEI)

Datos recogidos del campo y análisis de laboratorio (Cuadro 6 y 7).

Variables	Arena ----- %	Arcilla ----- %	K (meq)	Ca/Mg (relac)	Drenaje (clase)	Napa freática (cm)
Valores	29,4	44,1	44	2,0	2	40

Los datos anteriores son comparados con los índices patrones del Cuadro 24 y por su tendencia se clasifica la unidad muestral Nº 22 en clase de sitio II, cuyo resultado concuerda con los datos de campo que con un promedio de 6,53 metros de altura y una edad de dos años y medio está ubicada en la clase de sitio II. El resultado de los datos comparados con los índices patrones es como sigue:

Variable	Arena	Arcilla	Potasio	Ca/Mg	Drenaje	Napa freática
Clase	T e n d e n c i a					
I	X	X				
II			X	X	X	X

#### 4. RESULTADOS

Partiendo de la premisa que el crecimiento de las plantas es el resultado de la acción de varias causas, se proyectó la búsqueda de las relaciones entre las variables del suelo (causas) y el crecimiento de la planta (efecto). Las condiciones naturales del medio no fueron consideradas debido a que las parcelas en estudio están en una misma zona de vida. Por esta razón, y como resultado de la presente investigación se exponen las siguientes consecuencias: i. formación de clases de sitio para plantaciones jóvenes de Eucalyptus deglupta Bl. en parcelas ubicadas en el cantón Turrialba; ii. influencia de las características físicas, químicas y fisiográficas del suelo que determinaron el crecimiento de la especie en estudio; y iii. identificación de las clases de sitio mediante las variables de mayor influencia.

##### 4.1. Formación de clases de sitio

###### 4.1.1. Crecimiento inicial y su forma de expresión

Como todo organismo animal o vegetal tiene una tasa de crecimiento debido a la división de las células a un período de tiempo "t", su tamaño aumenta en forma rápida al inicio del crecimiento; después tiende a mantener una posición horizontal llamada asíntota. La forma típica del crecimiento es la sigmoídea o en "S". Sin embargo, a corta edad se espera que el crecimiento muestre la forma exponencial ascendente de la curva. Por eso en este estudio se utilizó la ecuación que describe la forma exponencial o geométrica que se ilustró en el capítulo 3.4.1.

4.1.2. Clases de sitio

Para la clasificación de las clases de sitio se consideró la forma general de altura de árboles dominantes y codominantes relacionados con la edad. Las clases de sitio fueron separadas en dos con una amplitud de tres metros siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo de materiales y métodos. Por la tendencia de crecimiento se ajustó a una curva del tipo geométrico. La bondad de ajuste fue de 99 y 89 % para la clase de sitio I y II respectivamente (Cuadro 2). El número reducido de bosquetes disponibles para este tipo de información limitaron hasta cierto punto encontrar más clases de sitio.

El Cuadro 2 indica las ecuaciones estimadas con su correspondiente coeficiente de determinación.

Cuadro 2. Ecuaciones de crecimiento para el Eucalyptus deglupta Bl.

Clases de sitio	Ecuación	Desviación standard (geométric)	Coeficiente de determinac.
I	$\text{Log H} = 1,36809 - 0,573564 \left(\frac{1}{E_i}\right)$	0,024	0,99
II	$\text{Log H} = 1,20727 - 0,678240 \left(\frac{1}{E_i}\right)$	0,035	0,89

4.1.3. Representación' de las clases de sitio

Las clases de sitio están representadas gráficamente en la Figura 2, obtenidas de las ecuaciones de crecimiento del Cuadro 2. Los datos observados se han distribuido en dos grupos antes de hacer los ajustes. Nótese que las clases I y II aparecen en



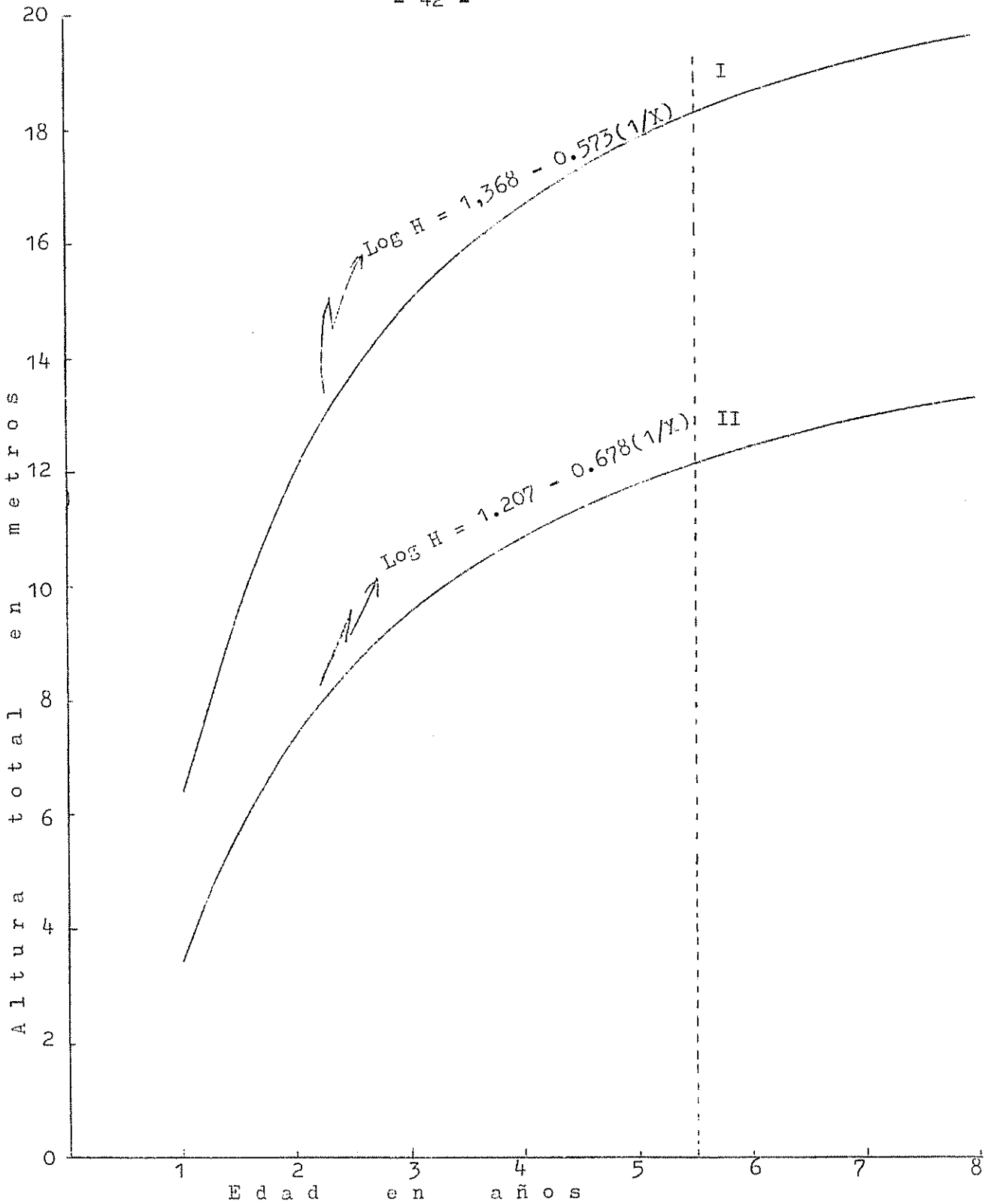


Figura 2. Índice de sitio (5.5 años de plantadas) de Eucalyptus deglupta Bl. en Turrialba, Costa Rica.

orden decreciente a su importancia.

4.1.4. Ritmo de crecimiento del *Eucalyptus deglupta* Bl. tomando variaciones de crecimiento y tiempo

Los parámetros  $b_1$  indican el ritmo o tasa geométrica de crecimiento de esta especie como función de la inversa de la edad del árbol. (Cuadro 3) El incremento presenta variación diferencial bien manifiesta entre las dos clases de sitio.

Cuadro 3. Valores de los parámetros alométricos

Clase de sitio	Parámetros $b_0$ (altura Y $\rightarrow$ $\alpha$ )	$b_1$ incremento (tasa de crec. geomé.)
Clase I	23,333	0,26694
Clase II	16,133	0,20980

Por tratarse de árboles jóvenes, están en su primera fase de crecimiento, razón por la cual se ajustan a la curva ascendente y bien acelerada. Sería motivo de otra investigación estudiar hasta qué punto de la curva y hasta qué edad el crecimiento es ascendente para luego cambiar su trayectoria y ajustarse a otro tipo de curva.

4.2. Características de los sitios estudiados

El *Eucalyptus deglupta*, es una planta del tipo de raíz pivotante, por lo que interesa estudiar la dinámica de los factores físicos y químicos del suelo como función de la profundidad. La dinámica interna de los elementos fueron estudiados para cada centímetro de profundidad. Así por ejemplo el aire en el espacio poroso no capilar (Cuadro 4) y en la unidad muestral 3, indica,

Cuadro 4. Tasa de incremento de los componentes físicos del suelo como función de la profundidad

Unidad Muestral	Densidad aparente	Densidad partículas	Humedad Gravimet.	Porosidad total	Aire en el espac. no capilar	Arena	Limo	Arcilla
	←-gr/cc/cm*→	←	←	←	←	←	←	←
								% / cm*
3	-0,00040	0,00400	0,61320	0,06120	-0,45320	-0,02400	0,38400	-0,36000
21	0,00758	0,00424	-0,72636	-0,23606	-0,24090	0,12727	0,17576	-0,30303
4	-0,00103	-0,00862	0,06405	-0,11150	-0,20831	-0,08565	0,05679	0,02886
22	0,00763	0,00235	-0,34634	-0,25613	-0,28578	-0,02947	-0,08616	0,11564
52	0,00218	0,00234	-0,18050	-0,05689	-0,01860	-0,06118	-0,09404	0,15522
2	0,00106	0,00436	-0,16094	0,02565	-0,62165	-0,32977	-0,15961	0,48939
27	0,00198	0,01058	-0,13520	0,03555	0,03778	-0,07564	0,01218	0,06345
44	0,00146	0,00554	-0,29525	0,00443	0,12546	-0,10571	-0,15143	0,25714
46	0,00188	0,00555	-0,24302	-0,01157	-0,02835	0,00946	0,07657	-0,08603
49	0,00700	0,00609	-0,64522	-0,18561	-0,01410	-0,02538	-0,03577	0,06114
33	0,00107	0,00211	-0,14266	-0,00884	0,04558	0,09375	0,00428	-0,09803

\* Por centímetro de profundidad

Cuadro 5. Tasa de incremento de los elementos químicos del suelo como función de la profundidad

Unidad muestra.	pH	CaCl <sub>2</sub>	Materia orgánica	N total	F disponb.	Ca	Mg	K	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{K}{Mg}$
←--- /cm*---→	←--- %/cm*---→	←--- ppm/cm*---→	meq/100 g de suelo/cm*---→							
3	0,00400	0,00400	-0,16640	-0,00880	-0,20760	0,00600	0,01480	-0,01080	-0,02600	-0,04199
21	-0,00303	-0,00606	-0,12152	-0,00909	0,05939	0,00303	0,01364	-0,01758	-0,00909	-0,04200
4	0,01812	-0,00196	-0,04857	-0,00468	-0,02185	-0,02213	0,00009	-0,00406	-0,01612	-0,00290
22	-0,01091	-0,00731	-0,11659	-0,00735	-0,11025	-0,02555	0,00575	-0,00348	-0,01309	-0,00150
52	-0,00467	-0,00470	-0,09344	-0,00423	-0,19931	-0,000420	-0,01309	-0,02092	-0,00153	-0,00539
2	-0,00125	-0,00293	-0,12440	-0,00669	0,00026	-0,03239	-0,01143	-0,01123	-0,00116	-0,00353
27	-0,00455	-0,00891	-0,15771	-0,00736	0,05158	-0,05056	-0,02869	-0,00302	0,01071	0,00253
44	0,00571	-0,00143	-0,12132	-0,00329	0,05011	-0,00736	0,00111	-0,00661	-0,03500	-0,02864
46	0,01121	-0,00097	-0,09351	-0,00465	-0,09276	-0,02390	-0,00297	-0,00787	-0,08840	-0,02402
49	-0,00543	-0,00025	-0,14520	-0,00825	-0,03964	-0,00027	-0,00358	-0,00377	0,01970	-0,00005
33	-0,00054	-0,00080	-0,07719	-0,00337	0,01424	-0,01039	-0,01880	-0,01350	-0,00544	-0,00312

\* Por centímetro de profundidad.

que por cada centímetro de profundidad tiene una disminución en porcentaje de - 0,4532. Lo propio sucede con el K en la unidad muestral 3, tiene una disminución de - 0,0108 meq/100 gr. de suelo y por cada centímetro de profundidad (Cuadro 5). Juzgando en forma general por los resultados del Cuadro 4, la densidad aparente, la densidad de partículas y el porcentaje de arcilla tienen un incremento positivo; por el contrario la humedad gravimétrica, el aire en el espacio poroso no capilar y el porcentaje de arena tienden a disminuir con la profundidad. Del Cuadro 5 se ve que la materia orgánica, el N y el K tienen una tasa negativa de incremento en todas las unidades muestrales; en los demás componentes hay una variación notable en cada perfil del suelo.

#### 4.2.1. Descripción fisiográfica de los perfiles

Debida a la variación del suelo, cada unidad muestral (once en total) fue descrita en detalle, cuyos resultados se indican en el Apéndice 4. Se estudió en detalle el espacio poroso total y el espacio poroso capilar como las características del suelo más importantes que contribuyeron al desarrollo de la planta. Los resultados están representados mediante perfiles de humedad del suelo (Apéndice 5) por ser prácticos y rápidos de interpretación visual. La unidad muestral 3 indica por ejemplo que a 20 centímetros de profundidad las raíces no pueden desarrollarse debido a que el porcentaje de aire es inferior al 10 % del espacio requerido para sobrevivir (27).

Por último por ser el suelo un cuerpo muy variable dentro de un mismo perfil se estudió los factores físicos y químicos, esta-

Cuadro 6. Valor promedio de los elementos físicos del suelo por cada unidad muestral

Unidad muestral	Densidad aparente	Densidad particul.	Humedad gravimétr.	Porosidad total	Aire en espac.poroso no capilar	Arena	Arcilla	Limo
	gr/cc	gr/cc	%	%	%	%	%	%
3	0,82	2,67	73,23	69,08	28,97	24,90	49,20	25,90
21	0,83	2,64	43,38	68,47	28,97	30,70	37,50	31,80
4	1,05	2,56	49,51	59,57	9,92	22,60	49,73	27,67
22	1,06	2,59	49,11	59,31	8,42	29,43	44,14	26,43
52	0,77	2,62	55,83	70,42	28,22	53,87	34,60	11,53
2	1,14	2,63	41,14	57,19	14,35	22,36	44,37	53,27
27	0,81	2,80	49,49	70,62	29,29	12,28	48,74	19,25
44	0,77	2,68	62,73	71,05	23,46	21,70	59,35	18,95
46	0,75	2,61	71,08	71,25	20,82	27,02	45,40	27,57
49	1,01	2,72	57,58	63,07	8,80	38,03	30,19	31,78
33	0,68	2,65	71,26	72,79	27,42	69,70	7,35	22,95

Cuadro 7. Valor promedio de los elementos químicos del suelo por cada unidad muestral

Unidad muestral	H <sub>2</sub> O	pH	Cl <sub>2</sub> Ca	Materia orgánica Total		N	P Dispon.	Ca	Mg	K	Ca $\frac{Ca}{Mg}$	K $\frac{K}{Mg}$
				%	ppm							
----->>> meq/100 gr. <<<-----												
3	5,4	5,1	5,1	3,35	0,22	10,03	0,63	0,52	0,31	1,33	0,16	
21	5,6	5,1	5,1	2,43	0,23	13,61	6,45	2,97	0,44	2,18	0,16	
4	5,9	4,8	4,8	1,22	0,12	2,33	2,97	1,48	0,24	2,01	0,17	
22	5,8	5,2	5,2	3,67	0,24	3,88	5,02	2,56	0,44	2,09	0,15	
52	5,3	4,8	4,8	3,17	0,14	11,51	0,19	0,99	1,78	0,18	1,64	
2	5,4	5,0	5,0	3,61	0,27	1,55	5,53	2,03	0,60	2,73	0,30	
27	5,3	4,7	4,7	4,98	0,25	7,29	1,51	0,81	0,18	2,10	0,59	
44	5,5	4,6	4,6	4,47	0,14	7,22	0,48	0,30	0,24	1,76	0,95	
46	5,7	4,6	4,6	3,23	0,17	6,08	0,82	0,29	0,34	3,25	1,19	
49	6,1	5,6	5,6	4,82	0,28	2,19	0,69	0,35	0,50	2,10	1,50	
33	5,3	4,8	4,8	3,01	0,14	5,92	0,30	1,20	0,88	0,24	0,95	

bleciendo marcas de profundidad de acuerdo a diferenciación de color y arreglo de homogeneización de las partículas que lo constituyen. De esta manera un perfil quedó dividido en varias partes de dos hasta cuatro dependiendo de la heterogeneidad del mismo. Luego, de cada perfil se obtuvieron los valores promedios de cada uno de los componentes, los cuales sirvieron de base para los análisis estadísticos (Cuadros 6 y 7).

#### 4.3. Estudio del crecimiento de los árboles con relación a los factores del suelo

Para una interpretación más adecuada de las relaciones entre las variables físicas, químicas y características del suelo y la variable de respuesta  $Y$  (altura), se cuantificaron la forma de actuar de cada variable independiente sobre la altura del E. deglupta Bl. La técnica del Análisis de Ruta se utilizó para tal fin. La Figura 3 ilustra la relación directa e indirecta a través de los caminos para el caso de dos variables independientes ( $X_i$ ) sobre la altura de la planta ( $Y$ ).

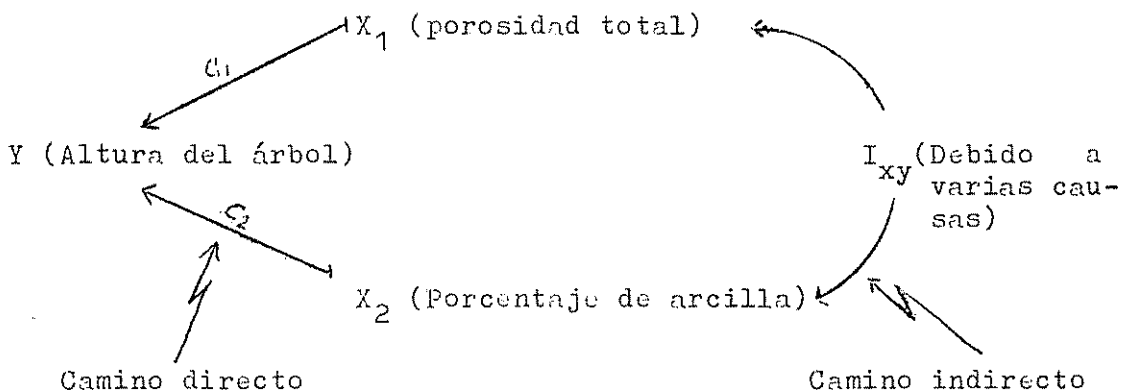


Figura 3. Modelo de relación directa e indirecta de  $X_i$  con  $Y$  a través de caminos.



Para el estudio de las variables independientes del suelo se agruparon en físicas, químicas y características fisiográficas y cada una de ellas se relacionó con la altura de la planta.

4.4. Relación entre los factores físico-mecánicos y el crecimiento del Eucalyptus deglupta Bl.

Para el análisis de este conjunto de variables, se tomó las medias de la determinación física de laboratorio de cada unidad muestral (Cuadro 6). Se obtuvieron las medias y desviaciones estandaradas de cada uno de los componentes (Cuadro 8). A continuación se procedió al análisis estructural de las variables; con esto se formó la matriz de correlaciones (Cuadro 9).

Cuadro 8. Medias y desviaciones estandaradas de las variables físicas del suelo y de la variable altura.

Variable	Símbolo	Medias	Desviación estandaradas
Humedad gravimétrica	( $X_1$ )	56,76	11,45
Porosidad total	( $X_2$ )	66,62	5,60
Porcentaje de arena	( $X_3$ )	32,05	16,42
Porcentaje de limo	( $X_4$ )	25,19	6,57
Porcentaje de arcilla	( $X_5$ )	40,96	13,72
Porcentaje de aire en el spac.poroso no capilar	( $X_6$ )	20,79	8,77
Altura	(Y)	9,68	3,75

Cuadro 9. Matriz de correlaciones de las variables físicas del suelo y de la altura de los árboles (r)

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	Y
X <sub>1</sub>	1,00						
X <sub>2</sub>	0,64	1,00					
X <sub>3</sub>	0,36	0,32	1,00				
X <sub>4</sub>	-0,27	-0,58	-0,27	1,00			
X <sub>5</sub>	-0,21	-0,21	-0,89	-0,03	1,00		
X <sub>6</sub>	0,33	0,84	0,19	-0,51	-0,12	1,00	
Y	-0,07	-0,07	-0,62	0,09	0,48	0,20	1,00

Como segundo paso se obtuvo la ecuación lineal de predicción de la altura como función de los factores físicos del suelo:

$$Y = 25,931 + 0,065 X_1 - 0,073 X_2 - 0,298 X_3 - 0,062 X_4 - 0,170 X_5 + 0,145 X_6$$

Los parámetros estimados para cada variable previa estandarización sirvieron de ingredientes básicos para el cálculo de los caminos directos (C<sub>i</sub>), cuyos resultados se anotan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Contribución directa de los factores físicos a la variable dependiente Y.

Variables independientes		Contribución directa
Humedad gravimétrica	(X <sub>1</sub> )	C <sub>1</sub> = 0,19966
Porosidad total	(X <sub>2</sub> )	C <sub>2</sub> = -0,11109
Porcentaje de arena	(X <sub>3</sub> )	C <sub>3</sub> = -1,30239

Continuación Cuadro 10

Variables independientes		Contribución directa
Porcentaje de limo	(X <sub>4</sub> )	C <sub>4</sub> = -0,10923
Porcentaje de arcilla	(X <sub>5</sub> )	C <sub>5</sub> = -0,62308
Porcentaje de aire en el espacio poroso no capilar	(X <sub>6</sub> )	C <sub>6</sub> = 0,33910

=====

Basados en uno de los teoremas que el grado de determinación y el coeficiente de ruta entre el efecto y una variable independiente son iguales al producto de los valores individuales correspondientes a lo largo de la cadena con la cuál se conectan la causa y el efecto (31), se puede expresar los coeficientes de correlación simples y los coeficientes de regresiones parciales en términos de intensidad de contensión; es decir:

$$R_{x_i y} \text{ (simple)} = C_i + R_{i2}C_2 + R_{i3}C_3 + \dots R_{in}C_n \quad (A)$$

Los resultados del Path Analysis de las variables físicas del suelo se encuentran en el Cuadro 11. del cuál se puede derivar lo siguiente:

El efecto total de la humedad gravimétrica al parecer es insignificante (-0,07). Sin embargo, es interesante destacar cómo actúan estas variables a través de otras variables. La influencia directa de la humedad gravimétrica tiene la misma tendencia como efecto indirecto a través de las variables X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub> y X<sub>6</sub>, aunque la magnitud de dichos efectos son relativamente pequeños. Por otra parte la porosidad total, el porcentaje de arena afectan en forma negativa al crecimiento del E. deglupta, especialmente éste último

Cuadro 11. Contribución directa e indirecta de las variables físicas del suelo sobre la altura de la planta.

$R_{X_i Y}$	$C_{i1}$	$C_{i2}$	$C_{i3}$	$C_{i4}$	$C_{i5}$	$C_{i6}$
-0,07 ( $X_1 \rightarrow Y$ )	0,1996	-0,0709	<u>-0,47150</u>	+0,0296	+0,1315	+0,1125
+0,07 ( $X_2 \rightarrow Y$ )	0,1276	-0,1111	<u>-0,4220</u>	+0,0637	+0,1302	<u>+0,2859</u>
-0,62 ( $X_3 \rightarrow Y$ )	0,0723	-0,0360	<u>-1,3024</u>	+0,0295	<u>+0,5564</u>	+0,0638
+0,09 ( $X_4 \rightarrow Y$ )	-0,0541	+0,0648	+0,3516	-0,1092	+0,0156	-0,1743
+0,48 ( $X_5 \rightarrow Y$ )	-0,0421	+0,0132	<u>+1,1630</u>	+0,0027	<u>-0,6231</u>	-0,0400
+0,20 ( $X_6 \rightarrow Y$ )	0,0663	-0,0936	-0,2448	-0,0561	+0,0735	<u>+0,3391</u>

que tiene una influencia casi cuatro veces más acentuada que las demás.

Resultado similar ocurre con la porosidad total que tiene contribución significativa a través de  $X_1$  y  $X_6$ ; especialmente ésta última (porcentaje de aire en el espacio poroso no capilar) que ejerce un peso dos veces superior a las demás. Antes de dar explicación se analiza  $X_3$  (porcentaje de arena) que tiene la misma ocurrencia. Tiene un efecto total de -0,62, esto es, al aumentar el porcentaje de arena, disminuye el crecimiento de la planta; pero en términos de contención la influencia fue favorable a través de  $X_5$  (porcentaje de arcilla) y como efecto directo influye negativamen-

te al crecimiento de la planta en forma muy significativa (-1,302) Pareciera que el problema de influir negativamente la porosidad total, al crecimiento de la planta se debe a la falta de oxígeno necesario para la respiración y actividades de las raíces, y el porcentaje de arena por la falta de retención de nutrientes en la zona de las raíces.

El efecto total del porcentaje de limo es insignificante (0,09). Sin embargo a través de  $X_3$  (porcentaje de arena) tiene un efecto directo fuertemente marcado al crecimiento de la planta. Pareciera que un balance del porcentaje de limo y arena favorecerían al crecimiento. En forma negativa y deteniendo el crecimiento lo hace significativamente a través de  $X_6$ . Es posible que un porcentaje elevado de limo ocupe el espacio aéreo no capilar obstaculizando el libre movimiento de aire en el suelo.

El porcentaje de arcilla tiene una correlación de 0,48 con el crecimiento del E. deglupta. Pero la influencia favorable que ejerce a través de  $X_3$  es muy superior a las demás. Quizá y complementando la hipótesis anterior pueda ser que un balance del porcentaje de arcilla, limo y arena sean los recomendados para favorecer el desarrollo del árbol. Muy significativo resulta el efecto negativo del porcentaje de arcilla en su forma directa. Pues, el porcentaje de arcilla por sí sólo no favorece al crecimiento de la planta; al parecer y por los porcentajes promedios totales se dispone de suelos arcillosos en el cuál el E. deglupta no responde favorablemente.

Por último la correlación entre el espacio poroso no capilar

y la altura de la planta es baja, pero la influencia directa es muy significativa que a través de los demás caminos que vienen siendo de baja ponderación. Pues, el espacio aéreo no capilar es importante para desarrollar un buen sistema radical. La experiencia ha demostrado que el espacio poroso no capilar debe ser mayor del diez por ciento del total del volumen del suelo, para permitir la entrada de la cofia y abastecer de oxígeno en el metabolismo de las raíces (27, 30).

Juzgando por las contribuciones que tuvieron las variables físicas del suelo al desarrollo en altura de la planta las variables de mayor influencia positiva en orden de importancia fueron: porcentaje de arcilla a través del porcentaje de arena (1,1630 Cuadro 11); porcentaje de arena a través del porcentaje de arcilla (0,5564); y porcentaje de aire en el espacio poroso no capilar (0,3391) en su forma directa.

En forma contraria y restringiendo el crecimiento de la planta en orden de importancia fueron: porcentaje de arena en su forma directa (-1,3024); porcentaje de arcilla en su forma directa también (-0,6231) y humedad gravimétrica a través del porcentaje de arena (-0,4715).

#### 4.4.1. Identificación de las clases de sitio mediante las variables físicas

Identificadas las variables de mayor influencia, ya sea positiva o negativamente, toca discriminarlas dentro de las dos clases de sitio. Para esto se valió de los promedios de las variables de los perfiles dentro de cada clase de sitio (Cuadro 12).

Cuadro 12. Promedios de las variables físicas que tuvieron mayor influencia en el crecimiento en altura en el E.deglupta

Variable	% de arcill.		% de arena		% aire en el esp.poros.N.C		Humedad gravimétrica %	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Promedios	47,95	38,46	20,63	36,33	20,01	21,07	56,69	56,78

Por el cuadro anterior se deduce que los promedios del porcentaje de aire en el espacio poroso no capilar y humedad gravimétrica son similares para las dos clases de sitio, razón por la cual son descartadas por no ayudar a la identificación del sitio. Para las variables restantes se concluye que con un porcentaje igual o cercano de 48 de arcilla (valor aproximado) y 21 de arena se tiene identificada la clase de sitio I; y con un porcentaje de 38 de arcilla y 36 de arena la clase de sitio II.

4.5. Relación entre los factores químicos y el crecimiento del Eucalyptus deglupta Bl.

Para el análisis de las variables químicas del suelo se tomó las medias de la determinación química de laboratorio de cada unidad muestral (Cuadro 7). Las medias y desviaciones standards de cada componente químico están indicados en el Cuadro 13. Seguido se procedió al análisis estructural de las variables; con esto se formó la matriz de correlaciones (Cuadro 14).

Siguiendo el proceso del análisis de ruta, se obtuvo la ecuación lineal de predicción de la altura como función de los factores químicos del suelo, esto es:

$$Y = 49,599 - 5,114 X_1 - 2,402 X_2 + 7,735 X_3 + 0,122 X_4 + 0,278 X_5 - 1,879 X_6 - 6,404 X_7.$$

Cuadro 14. Matriz de correlaciones de las variables químicas del suelo y la altura de los árboles (r)

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	Y
X <sub>1</sub>	1,00							
X <sub>2</sub>	-0,16	1,00						
X <sub>3</sub>	0,15	0,55	1,00					
X <sub>4</sub>	-0,53	-0,11	-0,20	1,00				
X <sub>5</sub>	0,20	-0,32	0,41	-0,06	1,00			
X <sub>6</sub>	0,06	-0,43	0,22	0,09	0,92	1,00		
X <sub>7</sub>	-0,38	-0,12	-0,29	0,30	-0,23	0,04	1,00	
Y	-0,01	-0,34	-0,15	0,09	0,11	-0,03	-0,61	1,00

Los parámetros estimados (b<sub>i</sub>) de cada variable previa estandarización sirvieron de ingredientes básicos para el cálculo de los caminos directos; los resultados se indican en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Contribución directa de los factores químicos a la variable dependiente Y

Variables independiente	Símbolo	Contribución direct.
Acidez	(X <sub>1</sub> )	C <sub>1</sub> = -0,36974
Materia orgánica	(X <sub>2</sub> )	C <sub>2</sub> = -0,68951
Nitrógeno total	(X <sub>3</sub> )	C <sub>3</sub> = 0,11834
Fósforo disponible	(X <sub>4</sub> )	C <sub>4</sub> = 0,12875



Contin. Cuadro 15.

Variables independientes	Símbolo	Contribuc. direct
Calcio	(X <sub>5</sub> )	C <sub>5</sub> = 0,17224
Magnesio	(X <sub>6</sub> )	C <sub>6</sub> = -0,46736
Potasio	(X <sub>7</sub> )	C <sub>7</sub> = -0,77874

Conociendo la contribución directa de cada una de las variables químicas con respecto a la altura de la planta, resta obtener la contribución indirecta de cada variable a través de los siete caminos restantes. Estos resultados se indican en el Cuadro 16 provenientes de la ecuación "A" indicada en la página 52.

Cuadro 16. Contribución directa e indirecta de las variables químicas del suelo sobre la altura del E. deglupta.

R <sub>X<sub>i</sub>Y</sub>	C <sub>i1</sub>	C <sub>i2</sub>	C <sub>i3</sub>	C <sub>i4</sub>	C <sub>i5</sub>	C <sub>i6</sub>	C <sub>i7</sub>
-0,01 = (X <sub>1</sub> → Y)	-0,3697	+0,1103	+0,0183	-0,0676	+0,0342	-0,0290	+0,2936
-0,34 = (X <sub>2</sub> → Y)	0,0592	-0,6895	+0,0648	-0,0143	-0,0546	+0,2014	+0,0919
-0,15 = (X <sub>3</sub> → Y)	-0,0573	-0,3778	+0,1183	-0,0252	+0,0710	-0,1047	+0,2227
+0,09 = (X <sub>4</sub> → Y)	0,1941	+0,0765	-0,0232	+0,1287	-0,0095	-0,0430	-0,2305
+0,11 = (X <sub>5</sub> → Y)	-0,0732	+0,2186	+0,0487	-0,0071	+0,1722	-0,4290	+0,1768
-0,03 = (X <sub>6</sub> → Y)	-0,0229	+0,2972	+0,0265	+0,0118	+0,1581	-0,4674	-0,0335
-0,61 = (X <sub>7</sub> → Y)	0,1246	0,0814	-0,0338	0,0381	-0,0391	-0,0200	-0,7787

Del cuadro anterior se puede concluir lo que sigue:

Observando el grado de asociación de la reacción del suelo, es insignificante (-0,01), pero en términos de contención la influencia directa afecta en forma negativa al crecimiento de la planta. Con un peso similar de 0,2936 actúa en forma favorable a través del K.

La influencia directa de la materia orgánica es negativa al crecimiento del E. deglupta en forma muy notoria. Pareciera que el bajo contenido de materia orgánica en el suelo (comparados con los patrones standards del Cuadro 17) no favorecieron al desarrollo de la especie, por ser suelos esquilados que estuvieron dedicados a cultivos de ciclo corto. Caso contrario sucedió a través del Mg que a pesar de tener un grado mediano de fertilidad favoreció fuertemente al desarrollo debido que los eucaliptos son pocos exigentes a éste y otros elementos como el Ca, N, y K (25).

El nitrógeno total actuó favorablemente a través del camino directo y a través del K; especialmente éste último que tiene una fuerza doble que el otro. Por el contrario el N tiene una influencia negativa a través de  $X_2$  (materia orgánica). Como el N y la materia orgánica están correlacionadas (Cuadro 14) es posible que la influencia negativa se deba a la misma deficiencia del elemento.

El fósforo disponible ( $X_4$ ) es interesante porque a pesar de estar presente en bajas cantidades, tiene una influencia favorable a través de  $X_4$  (Camino directo) y  $X_1$ ; no así a través del K que actúa en forma adversa. Esto puede ser debido que el fósforo al estar presente en pequeñas cantidades no ayuda a la absorción de los otros elementos tal como el K.

=====  
 Cuadro 17. Patrones estandars de comparación de los elementos químicos del suelo (Provisional)\*  
 =====

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grado de Reacción fertilid.	Materia Orgánica	Nitrógeno total	Bases intercambiables Ca	Mg	K	P disponib	Ca Mg	Mg K	
	←----- % -----→	←----- meq/100 gr s -----→	←----- meq/100 gr s -----→	ppm					
Alto	7,5	7,0	0,35	24,0	6,0	0,55	120,0	-	-
Medio	6,5	3,3	0,20	12,0	3,0	0,35	60,0	4,0	8,0
Bajo	5,0	0,6	0,05	4,0	1,0	0,20	20,0	-	-

=====  
 \* Transcrito de Hardy (27)  
 =====

El calcio en su forma directa e indirectamente a través de  $X_2$  y  $X_7$  influyen favorablemente en el crecimiento de la planta. La magnitud de influencia son mas o menos iguales. Reprimiendo el crecimiento lo hace a través de  $X_6$ . Juzgando la relación Ca/Mg (Cuadro ) se ve que está muy por debajo del valor aceptado como normal que es de cuatro. Es posible que ésta sea la razón para q'el Ca actúe desfavorablemente a través del Mg.

El efecto total del magnesio es insignificante (-0,03); no obstante ejerce una influencia favorable a través del calcio y materia orgánica, especialmente ésta última que tiene una influencia casi dos veces más marcado. La influencia negativa del Mg en su camino directo puede deberse a la misma razón anotada anteriormente. Regularmente en un suelo normal la cantidad de Mg está en menor proporción a la de calcio a fin de guardar el equilibrio entre estos dos elementos.

El potasio únicamente favorece al crecimiento a través del pH. Las demás aportaciones son insignificantes. Deteniendo el desarrollo del E. deglupta lo hace en forma significativa a través del camino directo ( $C_7$ ).

Si bien es cierto que la variación de nutrientes minerales no afectan al crecimiento de la especie con el mismo rigor que las propiedades físicas (22); pero la disponibilidad de cada una de ellas influenciaron en el crecimiento de la especie en estudio.

Resumiendo se dice, que las variables de mayor influencia fueron: el magnesio a través de la materia orgánica con 0,2972 (Cuadro 16), la reacción del suelo a través del potasio con

0,2936; y el nitrógeno total a través del potasio con 0,2227; y en forma negativa el potasio en su forma directa con 0,7787 de ponderación, la materia orgánica con -0,6895 y el magnesio con -0,4674 de ponderación.

4.5.1. Identificación de las clases de sitio mediante las variables químicas

Ahora que se conocen cuales de las variables químicas influyeron con mayor fuerza en el crecimiento de la planta, se las va a discriminar dentro de las clases de sitio. Como en el caso anterior se va a valer de los promedios de las variables de los perfiles anotados en el Cuadro 18 que sigue:

Cuadro 18. Promedio de las variables químicas que tuvieron mayor influencia en el crecimiento en altura de la planta

Variab.	Mg		Mat. Org.		Reacción		N		K		Ca/Mg	
	mq/100 s		%		pH		total		mq/100 s		relación	
Sitio	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Promed	.86	1,36	3,14	3,16	5.7	5.6	.18	.20	.25	.64	2,45	1,57

Esto indica que la materia orgánica, la reacción del suelo y el nitrógeno total se encuentran en cantidades similares en las dos clases de sitio, lo cual no ayudan para la identificación de la clase; no así el K con un valor cercano a 0.25 meq/100 grs de suelo y la relación Ca/Mg entre 2.4 y 4.0 (valor encontrado y valor aceptado como normal, respectivamente) se está en clase de sitio I y el K en cantidades mayores de 0,55 meq/100 gr. de suelo (valor

del patrón estandar Cuadro 17) ya que para el presente caso se pasa con 0,64 meq. y la relación Ca/Mg inferior a 1.6 veces se ubican las plantaciones en clases de sitio II, bajo éstas condiciones.

4.6. Relación entre los factores fisiográficos y el crecimiento del Eucalyptus deglupta Bl.

Las variables fisiográficas del terreno formaron el tercer grupo de análisis. Se formó la matriz original con los datos obtenidos de campo de cada unidad muestral. Como primer paso se obtuvieron los parámetros de posición y de variabilidad indicados en el Cuadro 19 y luego la matriz de correlación en el Cuadro 20.

Cuadro 19. Medias y desviaciones estandar de las variables fisiográficas y de la variable altura.

Variable	Símbolo	Medias	Desviación St.
Pendiente	(X <sub>1</sub> )	22,18	24,46
Napa freática	(X <sub>2</sub> )	80,45	25,04
Drenaje	(X <sub>3</sub> )	0,82	1,08
Pedregocidad	(X <sub>4</sub> )	3,09	5,05
Profundidad	(X <sub>5</sub> )	83,18	21,48
Altura	(Y)	9,68	3,75

Cuadro 20. Matriz de correlaciones de las variables fisiográficas del suelo y de la altura de los árboles (r)

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Y
X <sub>1</sub>	1,00					
X <sub>2</sub>	0,56	1,00				
X <sub>3</sub>	-0,52	-0,83	1,00			
X <sub>4</sub>	-0,14	-0,21	0,44	1,00		
X <sub>5</sub>	0,27	0,88	-0,60	-0,18	1,00	
Y	0,46	0,22	-0,36	-0,07	-0,07	1,00

Como segundo paso del análisis de ruta se obtuvo la ecuación lineal de predicción de la altura como función de las variables fisiográficas del terreno, esto es:

$$Y = 14,821 + 0,035 X_1 + 0,067 X_2 - 1,458 X_3 + 0,184 X_4 - 0,128 X_5$$

Los parámetros estimados para cada variable previa estandarización sirvieron de ingredientes básicos para el cálculo de la contribución directa de los caminos (C<sub>i</sub>) cuyos resultados se indican en el Cuadro 21.

Luego de la contribución directa se obtuvo la aportación indirecta de cada variable fisiográfica, utilizando la ecuación "A" de la página 52. El Cuadro 22 es el resultado de dichas contribuciones.

Cuadro 21. Contribución directa de los factores fisiográficos a la variable dependiente Y

Variables independientes	Símbolo	Contribución directa
Fendiente	$(X_1)$	$C_1 = 0,2279$
Napa freática	$(X_2)$	$C_2 = 0,4468$
Drenaje	$(X_3)$	$C_3 = -0,4188$
Pedregocidad	$(X_4)$	$C_4 = 0,2469$
Profundidad	$(X_5)$	$C_5 = -0,7344$

Cuadro 22. Contribución directa e indirecta de las variables fisiográficas del terreno sobre la altura del E. deglupa.

$R_{X_i, Y}$					
$+ 0,46 =$	$0,2279$	$+ 0,2497$	$+ 0,2181$	$- 0,0348$	$- 0,2012$
$(X_1 \rightarrow Y)$					
$+ 0,22 =$	$0,1274$	$+ 0,4468$	$+ 0,3472$	$- 0,0526$	$- 0,6463$
$(X_2 \rightarrow Y)$					
$- 0,36 =$	$-0,1187$	$- 0,3704$	$- 0,4188$	$- 0,1096$	$+ 0,4392$
$(X_3 \rightarrow Y)$					
$+ 0,07 =$	$-0,0321$	$- 0,0952$	$- 0,1859$	$+ 0,2469$	$+ 0,1337$
$(X_4 \rightarrow Y)$					
$- 0,07 =$	$0,0624$	$+ 0,3932$	$+ 0,2504$	$- 0,0449$	$- 0,7345$
$(X_5 \rightarrow Y)$					

Del Cuadro 22 se puede concluir lo siguiente:



Observando la correlación de la pendiente ( $X_1$ ) con la variable altura ( $Y$ ) es de apenas 0,46. Pero en términos de influencia la pendiente actúa favorablemente ya sea directamente o a través de  $X_2$  y  $X_3$ ; las intensidades son más o menos iguales: 0,2279; 0,2497 y 0,2182. En cambio a través de la profundidad afecta en forma negativa al crecimiento del E. deglupta con el mismo peso que lo hacen las favorables -0,2012. Es posible terrenos de fuerte pendiente, que por lo regular son poco profundos sean factores limitantes en el crecimiento de la planta.

Resultado igual sucede con la napa freática ( $X_2$ ) que con un promedio de profundidad de 80,45-Cuadro 19- actúa favorablemente en el crecimiento de la especie. No así, a través de  $X_5$  (profundidad), que nuevamente actúa desfavorablemente.

La correlación entre el drenaje y la altura de la planta es negativa y no significativa (-0,36). No obstante el drenaje a través de la profundidad actúa favorablemente. Con la misma intensidad pero en sentido contrario actúa a través del camino directo. Pues, un suelo profundo y drenado es el que va a preferir el E. deglupta Bl.

La pedregocidad ( $X_4$ ) en sí no juega ningún papel importante en el desarrollo de la planta; no sucede así con  $X_5$  (profundidad) que a través de  $X_2$  y  $X_3$  actúan favorablemente, especialmente la napa freática ( $X_2$ ) que tiene mayor peso. Pues, un terreno medianamente profundo y un nivel de napa freática alrededor de 80 centímetros favorecen al desarrollo de esta especie. Por otra parte, la profundidad por sí sola actúa negativamente en el desarrollo de la especie aunque prácticamente no tuvo ninguna correlación

con la altura (0,07).

Resumiendo se puede concluir que las características fisiográficas jugaron un rol importante en el crecimiento de la planta. De acuerdo a la ponderación alcanzada se tiene el nivel de napa freática en su camino directo con 0,4468 (Cuadro 22) y el drenaje a través de la profundidad con 0,4392 y la profundidad a través del drenaje con 0,3932. Las variables que actuaron negativamente y de mayor significación fueron la profundidad en su camino directo con -0,7345; el nivel de napa freática a través de la profundidad con -0,6463 y el drenaje en su forma directa con -0,4188.

4.6.1. Identificación de las clases de sitio mediante las variables fisiográficas

Las variables anteriormente anotadas tienen importancia en el crecimiento de las plantas, pero una de ellas puede ejercer igual influencia en la clase de sitio I como en la II. Para discriminar se utiliza los promedios de los datos de campo de los perfiles ubicados en cada clase de sitio según lo demuestra el Cuadro 23 que sigue:

Cuadro 23. Promedio de las variables fisiográficas que tuvieron mayor influencia en el crecimiento en altura del E. deglupta.

Variable	Nivel de napa fra.		Drenaje*		Profundidad	
	I	II	I	II	I	II
Promedio	100	75	0	15	95	78

\* Clase: 0 = drenaje bueno  
1 = drenaje moderado  
2 = drenaje deficiente

Por el cuadro anterior la profundidad no es influyente en las dos clases de sitio. La diferencia entre la una y la otra es de (95 - 78) 17 cms. pero en términos de profundidad es insignificante.

El nivel de la napa freática de 100 centímetros con drenaje bueno reportarán clase de sitio I y terrenos con menos de 75 centímetros de profundidad y drenaje entre las clases moderado y deficiente, clases de sitio II bajo estas condiciones.

## 5. DISCUSION

La necesidad de seleccionar áreas para plantaciones de especies forestales o la de marginar tierras no aptas para el cultivo de los árboles, despertó la atención de investigar cuáles de los factores edáficos influenciaban en el crecimiento del Eucalyptus deglupta Bl.

Esto obligó a seleccionar clases de sitio, estudiar las características del suelo; y de acuerdo a las variables de mayor influencia al crecimiento de la planta, predecir la clase de sitio.

El método basado en la altura de los árboles dominantes y codominantes en función de la edad es el de mayor uso y más práctico por su fácil aplicación y precisión de sus resultados. Esto lo confirma por ejemplo Ker (29) luego de evaluar varios métodos de estimación de índices de sitio. Comparó la altura de los árboles dominantes con el promedio de los árboles dominantes y codominantes. Luego, estimó los índices de sitio comparando la altura del árbol del diámetro promedio, la altura del árbol del área basal promedio y la altura promedio de los árboles. Concluyó recomendando que la calidad de sitio puede ser mejor obtenida por la media de la altura total de una muestra de árboles dominantes seleccionados al azar. En la presente investigación se consideró la altura total de árboles jóvenes comprendidos entre edades de uno y seis años que sean dominantes y codominantes porque no se trataba de minimizar trabajo sino de obtener resultados confiables. Ahora, si bien es cierto, que, para la clasificación de sitios se

utilizan plantaciones de más de 50 años de edad, en la presente investigación se utilizó plantaciones jóvenes por las siguientes razones: i. es una especie de rápido crecimiento; ii. puede ser usada en turnos cortos como madera redonda; y iii. aunque la especie puede ser plantada para uso de madera aserrada, existen mercados para el producto del ralco.

El sitio por medio de la clasificación de la altura, demostró que se tenía discriminado solamente dos clases de sitio. De la muestra de  $N = 55$  se seleccionaron dos clases de sitio por la diferencia de altura a una misma edad y por su distribución y tendencia de agrupamiento en altura. Este número reducido de sitios puede deberse a tres causas supuestas: i. reducido número de muestras para cumplir con este fin; pues, la disponibilidad de bosques mayores de tres años de edad fue reducido debida a la reciente introducción de la especie; ii. el número de unidades muestrales que sirvieron de material están distribuídas en una área reducida con suelos pobres y de mala calidad; y iii. generalización de los finqueros de dedicar tierras de baja fertilidad y deficientes condiciones físicas del suelo para el cultivo de los árboles. Estos factores hasta cierto punto limitaron la investigación.

Pero fue interesante anotar que apesar de ello, las dos clases de sitio presentaron una tasa de incremento en altura bien diferenciado. Esto puede atribuirse a las propiedades físicas y químicas del suelo y a las características fisiográficas del sitio que actuaron sobre la planta. Las características climáti-

cas tienen también su efecto pero se asume que la variabilidad del clima esta influenciando por igual a todas las plantaciones de E. deglupta por estas localizados en la misma zona de vida, razón por la cual fueron descartadas en el análisis del estudio.

Ahora siguiendo la metodología de la identificación de las características del suelo se topó que al estudiar la correlación de cada una de las variables ( $X_1$ ) con la altura  $Y$  se tiene únicamente el grado de asociación en pares, pero no se dice la fuerza e influencia que ejerce la variable independiente por sí sola o a través de otras. El análisis de ruta tiene la ventaja de describir la influencia directa de cada variable (camino directo) y la influencia indirecta a través de otras variables (camino indirecto), lo cual sugirió su uso.

Analizando el efecto del suelo en las plantas se conoce que la productividad de las tierras forestales pueden ser diagnosticadas mediante la identificación de las características del suelo. Eso lleva a pensar que al haber seleccionado las variables físicas, químicas y fisiográficas del suelo que intervinieron en el crecimiento del eucalipto se puede también predecir la clase de sitio de la especie. Para el presente estudio de las 18 variables analizadas resultaron que el porcentaje de arcilla y arena (en las físicas); el potasio y la relación Ca/Mg (en las químicas) y el nivel de napa freática y drenaje (en las fisiográficas) son las características que se deben analizar para predecir la clase de sitio del E. deglupta. Analizar las demás variables se considera una pérdida de tiempo y trabajo.

Trabajos de esta clase no han sido reportados para el E. de-  
glupta, pero sí para con otras especies forestales como el Pinus  
echinata Mill que determinaron la calidad del sitio en base al  
porcentaje de limo y arcilla en el subsuelo (11). Pues, el cre-  
cimiento de la planta esta relacionado con la composición y tama-  
ño de las partículas. Whiney, citado por Black (5) encontró por  
ejemplo que una de las maneras más importantes en la cuál la tex-  
tura del suelo afecta al crecimiento de las plantas es a través  
de la influencia del suministro de agua y de nitrógeno. Dooli-  
ttle (19) trabajando con tres clases de Quercus también encon-  
tró significativo la aportación de la textura al crecimiento de  
la planta. Relacionando el índice de sitio con veinte variables  
físicas y topográficas del suelo, encontró por análisis de regre-  
sión que tres propiedades eran significativas: la profundidad en  
el horizonte A, la pendiente y el porcentaje de arena en el ho-  
rizonte A. Todo ello hace ver la importancia de la textura y  
la confirmación del resultado de la presente investigación que  
determinando el porcentaje de arcilla y arena se pueda predecir  
la clase de sitio.

Los resultados de las investigaciones de las relaciones en-  
tre las variables químicas del suelo con el crecimiento de los ár-  
boles reportan que son insignificantes. Wilde (41) indica por e-  
jemplo, que con 0,2 % de N total y 50 ppm de P disponible son ade-  
cuados para la mayoría de las especies forestales. Generalmente  
esta cantidad se encuentra presente en la mayoría de los suelos  
y su efecto queda por lo tanto desapercibido. Para el presente  
caso la cantidad promedio de 0,20 por ciento de N total (que coin-

cide con la cantidad recomendada por Wilde (41) ) y 6,51 ppm de P. disponible (Cuadro 13) fueron suficientes para el E. deglupta.

El contenido de K por el contrario si mostró su efecto en el crecimiento de la planta. El promedio de K en los perfiles ubicados en el clase de sitio II reportó la cantidad de 0,64 meq/100 gr. de suelo (Cuadro 18) cantidad muy superior a la considerada como alta que es de 0,55 (Cuadro 17). Pues, esta cantidad alta produce un desequilibrio de los demás elementos. El valor medio de los perfiles ubicados en la clase de sitio I fue sólo de 0,25 indicando con esto que un alto contenido de K detiene el crecimiento del E. deglupta y que para un desarrollo normal de la planta fue necesario únicamente de 0,25 meq/100 gr de suelo. En suelos ordinarios tienen 1 a 2 % de  $K_2O$ ; en bosques vírgenes de 50 a 200 ppm. La cantidad de este elemento requerida por la planta depende de la especie. Para el pino por ejemplo fue necesario de 30 ppm, para el Taxodium distichum (Cipres bald) y Picea abies de 150 ppm (41).

Comentando las otras variables químicas que tuvieron importancia en el desarrollo del eucalipto, se tiene la relación Ca/Mg. Efectivamente la absorción de las bases cambiables (Ca, Mg, K) tienen efectos recíprocos. Un contenido bajo de K tiende a aumentar el contenido de Ca y Mg y viceversa. Es importante pues, mantener el equilibrio de los cationes cambiables para el normal desarrollo del árbol. Un buen suministro de un elemento neutraliza los efectos de un desbalance de los demás nutrientes. Esta pudo ser la razón para que en la presente investigación la relación Ca/Mg de 1.57 veces reporten como clase de sitio II y la



relación de 2,45 veces más cercana a la normal de cuatro reporte como clase de sitio I. Si bien es cierto que los efectos independientes de Ca, y Mg no fueron significativos, respaldados estos resultados con los de Wilde (41) que dice que la deficiencia de Ca es raro en suelos forestales, resultó importante la cantidad de Mg frente a la de Ca. Regularmente el contenido de Mg es de 1/3 a 1/5 partes de la de Ca y como regla general las cantidades relativas en meq/100 gr. de suelo de las bases cambiables están en el orden siguiente: calcio > magnesio > potasio.

Por último se tiene que de las cinco características fisiográficas, dos de ellas resultaron indicadoras de las clases de sitio: el nivel de la napa freática y el drenaje. Al respecto numerosos estudios han sido conducidos a probar la relación entre la tabla de agua y el crecimiento de los árboles. Diebold y Spaeth citados por Coile y el mismo Coile (12) han observado que la ocurrencia de las raíces fue marcadamente afectada en presencia de la tabla de agua. Con un nivel de la napa freática alto, se reduce el espacio radicular y como consecuencia detiene el crecimiento del árbol. En un análisis ocular los bloques situados en Cabiria y Puente Cajón (unidades muestrales 3 y 22) por ejemplo, se ve que el nivel es de 50 y 80 cms respectivamente, que está ausente de raíces profundas y como consecuencia la altura de los árboles reducidas comparadas con su edad. Pues, por tener una capa muy superficial el árbol se defiende con un sistema radicular fibroso y superficial.

Un drenaje deficiente produce una humedad excesiva y como consecuencia hay eliminación de aire y limitación en el crecimiento de las raíces.

Para el Eucalyptus deglupta resultó que la clase "0" denominada como buen drenaje favoreció positivamente al crecimiento en altura; y con un drenaje entre clase moderada y deficiente, actuó en forma negativa. Esto sirvió para evaluar la clase de sitio de la especie. Estos resultados están respaldados con trabajos de Coile (12) que en suelos con una tabla de agua alta fue un factor limitante para la distribución de las raíces y como consecuencia para el crecimiento de la planta. Broadfoot (6) encontró para el Liquidambar styraciflua índices de sitio bajos en suelos pobremente drenados.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten deducir lo siguiente:

1. La suposición de la relación lineal entre el logaritmo de la altura y la recíproca de la edad se presentan bastante satisfactoria para bosques de especies jóvenes y de rápido crecimiento.
2. Esta relación de la altura total del E. deglupta como función de la recíproca de la edad demostró variabilidad de crecimiento en altura, lo que sirvió para la formación de las dos clases de sitio.
3. La técnica del análisis de ruta (Path Analysis) constituyó un buen instrumento para expresar la importancia de las características del suelo en el crecimiento en altura del E. deglupta en términos de influencia.
4. Bajo las condiciones que se llevó el experimento las variables edáficas con las que se puede predecir la clase de sitio fueron: con un porcentaje cercano o igual de 48 de arcilla y 21 de arena, dentro de las físicas; el K con un valor cercano a 0,25 meq/100 gr. de suelo y la relación Ca/Mg entre 2,4 y 4, dentro de las químicas; y un nivel de napa freática cercano o mayor a 100 cms. y con un drenaje bueno, dentro de las fisiográficas, reportaran clase de sitio I.

Luego, con valores próximos o iguales a 38 por ciento de arcilla y 36 por ciento de arena, dentro de las físicas; K en cantidades mayores a 0,55 meq/100 gr. de suelo y una relación Ca/Mg inferior a 1,5 veces dentro de las químicas; y, una profundidad inferior a 75 cms. y drenaje entre las clases moderadas e imperfectas, se tendrá clases de sitio II.

5. La metodología empleada, analizando únicamente las variables de mayor influencia, permite predecir la clase de sitio para el Eucalyptus deglupta Bl. en la zona de Turrialba, Costa Rica. Pero es de esperar nuevos estudios de clases de sitio con la especie en las próximas etapas de crecimiento (12 a 15 años de edad)

## 7. RESUMEN

La predicción de la productividad de las tierras forestales con vocación forestal y la necesidad de seleccionar áreas para el cultivo del Eucalyptus deglupta Bl., especie prometedora y de reciente introducción en los trópicos, despertó el interés de investigar la influencia de los factores edáficos en el crecimiento de la especie, como una técnica útil de encontrar las clases de sitio en base al efecto de los factores del suelo. Esto condujo a estudiar clases de sitio y la relaciones con el suelo.

Como consecuencia se planeó la presente investigación bajo el siguiente objetivo: establecer un sistema de clasificación de índice de sitio para árboles jóvenes de E. deglupta en base a las características del suelo.

La población se la definió como todas las plantaciones de E. deglupta en el área del cantón Turrialba (área del CTEI y área de plantaciones forestales del Proyecto de Diversificación Agrícola de Turrialba). La unidad muestral para la clasificación de sitio constituyeron los árboles dominantes y codominantes de un bloque de  $100 \text{ m}^2$ , con un máximo de veinte y un mínimo de cuatro. La forma de la unidad muestral varió de cuadrada (10 x 10 m) a rectangular (33,3 x 3 m) dependiendo de la distribución de los árboles dentro del bloque.

Los datos que sirvieron de ingrediente para la investigación fueron: para la determinación de las clases de sitio y para la identificación de los factores edáficos.

Para la clasificación de sitio se tomaron 55 unidades muestrales, estimando la altura promedio de cada bloque. Para los segundos se eligieron once perfiles ubicados aproximadamente en el centro de la parcela. Para la distribución de los perfiles se tuvo el criterio de diferenciación de crecimiento del eucalipto, bajo un mismo rango de edad. Las variables edáficas fueron registradas en formularios, comprendiendo seis físicas, siete químicas y cinco fisiográficas que se consideran las más importantes para la especie.

Para el análisis de las clases de sitio se consideró la diferencia de la altura total promedio de los árboles relacionados con la edad, para lo cual se utilizó la ecuación de la forma exponencial. Para conocer el grado de influencia de las variables del suelo al crecimiento en altura de la planta se utilizó el análisis de ruta (Path Analysis). Por último para la identificación de las clases de sitio mediante las variables del suelo se valió de los promedios de las variables de los perfiles dentro de cada clase de sitio.

Al final se concluye que la suposición de la relación lineal entre el logaritmo de la altura y la recíproca de la edad, resultó satisfactoria para bosques de especies jóvenes y de rápido crecimiento; que, al encontrar dos clases de sitio y al relacionarlas con las características del suelo, las variables con las que se puede predecir las clases de sitio bajo condiciones similares a la del presente trabajo son las descritas en el Cuadro 24 que sigue:

Cuadro 24. Variables edáficas indicadoras de la clase de sitio para el Eucalyptus deglupta Bl.

Características	Físicas				Químicas				Fisiografía			
	Arcilla %		Arena %		K meq/100s		Ca/Mg relac.		Nivel de napa freática		Drenaje* clase	
Clase de sitio	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Valores índices	48	38	21	36	.25	.55	2.4	1.5	100	75	0	1,5

\* Clases de drenaje 0 = buena  
 1 = moderada  
 2 = imperfecta

Para la decisión de la clase de sitio se puede proceder de la manera siguiente:

1. Comparar los resultados de los análisis de cada una de las 6 variables identificadas con los valores índices indicados en el Cuadro 24.
2. Los resultados que más se aproximen a los del Cuadro pueden ser marcados con la clase de índice de sitio correspondiente.
3. Al final se puede sumar el número de marcas registradas en clase de sitio I o en la II. La clase de sitio que tenga mayor número de marcas será la clase propuesta.

El sistema resultó de fácil aplicación y funcional para la mayoría de las muestras estudiadas.

7<sub>a</sub> SUMMARY

The prediction of forest site productivity is of importance while selecting areas for planting with recently introduced species to the tropics. One of these promising introduced species, Eucalyptus deglupta Bl., was chosen, to study the effects of edaphic factors on its growth. An attempt was made to determine site classes based on such soil factors.

The specific objective of this research was to establish a classification system of site index curves for young trees of E. deglupta on the basis of soil characteristics.

All plantations of E. deglupta within Turrialba county, those of the Inter-American Institute and the Agricultural Diversification Project of Turrialba, were included in the study. The sample unit for site classification consisted of 4 to 20 dominant and co-dominant trees within a 100 m<sup>2</sup> block. The shape of the sample unit consisted of 10 x 10 m squares or 33.3 x 3 m rectangles, depending on the distribution of the trees within the block.

To determine site classes, 55 samples units were selected and the average height of trees measured in each block. Influences of edaphic factors were studied with the aid of 11 soil profiles located approximately in the center of individual sample units. Soil profiles were located on the basis of differences of height growth of Eucalyptus of the same age. Edaphic variables, recorded



on forms, consisted of 6 physical, 7 chemical and 5 physiographic factors which were considered the most important for the species.

In the analysis of site classes, differences in the average height of trees as related to age were considered, using an exponential equation. To determine the degree of influence of soil variables on plant height growth, the Path Analysis was applied. In the identification of site classes by means of soil variables, averages of the most important variables of the profiles in each site class were used.

It was concluded that the linear relation between the logarithm of budget and the reciprocal of age resulted as a quite satisfactory expression of site for young, fast growing tree. The classification of two sites, and the measurements of variables which used to predict site in conditions similar to those of the study area presented in Table 24.

Table 24. Variables in edaphic characteristics used as site indicators for Eucaalyptus deglupta Bl.

Characteristics	Physical				Chemical				Physiographic			
	Clay %		Sand %		Potassium meq/100g		Ca/Mg relation		Watertable level		Drainage *	
Site class	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Index	48	38	21	36	.25	.55	2.4	1.5	100	75	0	1.5

\* Drainage classes  
 0 = Good  
 1 = Moderate  
 2 = Poor

To determine the site class the following procedure can be used:

1. Compare the results of the analyses of each of the 6 identified variables with the value indexes presented in Table 24.
2. Values which most closely approximate those of the table should be marked with the corresponding site index class.
3. Finally, the number of check-marks should be added in class I and class II. The site class which has the highest number of marks is the proposed site class.

This system of site classification resulted in easy field application and was functional in the majority of samples studied.

!
---oooOooo---

8. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1971. 139 p.
2. ALEXANDER, R. R. Site indexes for Engelmann spruce in the Central Rocky Mountains. U. S. Forest Serv. Res. Paper RM-32. 1967. 7 p.
3. AUTEN, J. T. Predicción of site index for yellow poplar from soil and topography. Journal of Forestry 43(9):662-668. 1945.
4. BECK, D. E. Height growth pattern and site index of White pine in Southern-Appalachians. Forest Science 17(2):252-260. 1971.
5. BLACK, C. A. Soil-plant relationships. 2nd. ed. New York, Wiley, 1968. 792 p.
6. BROADFOOT, W. M. Problems in relating soil to site index for Southern hardwoods. Forest Science 15(4):354-364. 1969.
7. \_\_\_\_\_. Tree-character relations in Southern hardwood stands. U. S. Forest Service Research Note SO-98. 1970. 7p.
8. BRUCE, D. y SCHUMACHER, F. Medición forestal. Trad. del inglés. 3a ed. Mexico, D. F., Centro Regional de Ayuda Técnica, 1955. 474 p.
9. CAMPOS, J. C. Estudo sobre índice de sítio e tabelas de volume e produção para Pinus elliottii Engelm. No Estado de Sao Paulo, Brasil. Tesis Mag. Sc. Turrialba, IICA, 1970. 82 p.
10. CARMEN, W. H. Soil survey refinements for predicting black oak site quality in Southeastern Ohio. Soil Science Society of America Proceedings 31(6):805-810. 1967.
11. COILE, T. S. Relation of site index for shortleaf pine to certain physical properties of the soil. Journal of Forestry 33(8):726-730. 1935.
12. \_\_\_\_\_. Soil and growth of forestry. Advances in Agronomy 4: 330-398. 1952.
13. CROWE, A. y CROWE, A. Mathematics for biologists. London, Academic Press, 1969. 303 p.

14. CURTIS, R. O. A stem-analysis approach to site-index curves  
Forest Science 10(2):241-256. 1964.
15. DAUBENMIRE, R. Vegetative indicators of rate of height growth  
in Ponderosa pine. Forest Science 7(1):24-34. 1961.
16. DAVIS, K. P. American forest management. New York, McGraw-Hill,  
1954. 482 p.
17. DELLA=BIANCA, L. y OLSON, D. F. Soil-site studies in Piedmont  
hardwood and pine-hardwood upland forest. Forest Science  
7(4):320-329. 1961.
18. DONDOLI, B. y TORRES, M. Estudio geoa;ronómico de la región  
oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Mi-  
nisterio de Agricultura e Industrias, 1954. 180 p.
19. DOCLITTLE, W. T. Site index of scarlet and black oak inrela-  
tion to Southern Appalachian soil and topography. Forest  
Science 3(2):114-124. 1957.
20. EINSPAHR, D. y McCOMB, A. L. Site index of oaks in relation to  
soil and topography in Northeastern Iowa. Journal of Fo-  
restry 49(10):719-723. 1951.
21. FORRISTALL, F. F. y GESSEL, S. P. Soil properties related to  
forest cover type and productivity on the Lee Forest Snoho-  
mich Country, Washington. Soil Science Society of America  
Proceedings 19(3):384-389. 1955.
22. GAISER, R. N. Relation between soil characteristics and site  
index of loblolly pine inthe coastal plain region of Vir-  
ginia and the Carolinas. Journal of Forestry 48(4):271-  
275. 1950.
23. GRAVES, R. Biological growth funtions describe published site  
index curves for lake state timber species. North Central  
Forest Experiment Station. Research Paper NC-36. 1970. 9 p.
24. GRIJPMA, P. Eucalyptus deglupta Bl. una especie forestal prome-  
tedora para los trópicos húmedos de América Latina. Tu-  
rrialba 19(2):267-283. 1969.
25. HAAG, H. P. et al. Composición química del Eucalyptus alba y  
Eucalyptus grandis. Fertilité N° 18:9-14. 1963.
26. HAMNAH, P. R. Estimating site index for white and black oaks  
in Indiana from soil and topographical factors. Journal  
of Forestry 66(7)412-417. 1968.

27. HARDY, F. Edafología tropical. Trad. del inglés por R. Bazán. México, D.F., Herrero, 1970. 416 p.
28. JONES, J. R. Review and comparison of site evaluation methods. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. U. S. Forest Service Research Paper RM-51. 1969. 27 p.
29. KER, J. W. An evaluation of several methods of estimating site index of immature stands. Forestry Chronicle 28(3): 63-74. 1952.
30. LAWTON, K. y COOK, R. I. Potassium in plant nutrition. Advances in Agronomy 6:253-303. 1954.
31. LI, C. C. Population genetics. Illinois University of Chicago Press, 1955. 366 p.
32. MCGEE, C. E. y CLUTTER, J. L. A study of site index for planted slash pine. Journal of Forestry 65(7):491-494. 1967.
33. MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell soil charts. Baltimore, Maryland, 1954. 20 p.
34. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Roma, 1968. 60 p.
35. PAWLUK, S. y ARNEMAN, H. F. Some forest soil characteristics and their relationship to jack pine growth. Forest Science 7(2):160-172. 1961.
36. PHILLIPS, J. J. y MARKLEY, M. L. Site index of New Jersey Sweetgum stands relate to soil and water-table characteristics. U.S. Forest Service Research. Paper NE-6. 1963 25p.
37. RUSSELL, J. E. Soil conditions and plant growth. 9th ed. London, Longmans, 1961. 688 p.
38. STORIE, E. R. y WIESLANDER, E. A. Rating soils for timber sites. Soil Science Society of America Proceedings 13: 499-508. 1948.
39. STRAND, L. Numerical constructions of site-index curves. Forest Science 10(4):410-414. 1964.
40. TOMEY, W. Foundations of silviculture. Upon an ecological basis. New York, Wiley, 1947. 468 p.
41. WILDE, S. A. Forest soils; their properties and relation to silviculture. New York, Ronald Press, 1958. 537 p.

42. WILL, G. M. Some changes in the growth habit of Eucalyptus seedlings caused by nutrient deficiencies. Empire Forestry Review 40(4):301-307. 1961.
43. MILSIE, C. P. Cultivos: aclimatación y distribución. Trad. por Manuel Serrano García. Zaragoza, Acribia, 1966. pp. 182-183.
44. YOUNG, H. E. Forest soils-site index studies in Maine. Soil Science Society of America Proceedings 18(1):85-87. 1954.
45. ZAHNER, R. Site quality relationships of pine forests in Southern Arkansas and Northern Louisiana. Forest Science 4(2): 162-175. 1958.

A P E N D I C E S

APENDICE 1.

ALTURA TOTAL DE ARBOLES DOMINANTES Y CUDOMINANTES Form 1.

=====

ESPECIE : \_\_\_\_\_ FECHA : \_\_\_\_\_  
(toma de datos)

Nº PLOT : \_\_\_\_\_

UBICACION DEL PLOT FECHA DE PLANTACION : \_\_\_\_\_

- Cantón : \_\_\_\_\_

- Lugar : \_\_\_\_\_ EDAD : \_\_\_\_\_

- Dueño : \_\_\_\_\_ SUP.FLOT. : \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>.

CONDICIONES DEL TERRENO

- Topografía: \_\_\_\_\_  
(plano, ondulado, quebrado)

- Otros : \_\_\_\_\_

ZONAS DE VIDA \_\_\_\_\_

=====

Nº Arbol	Alt. total metros	Observaciones
1	_____	_____
2	_____	_____
3	_____	_____
4	_____	_____
5	_____	_____
6	_____	_____
7	_____	_____
8	_____	_____
9	_____	_____
10	_____	_____
11	_____	_____
12	_____	_____
13	_____	_____
14	_____	_____
15	_____	_____
16	_____	_____
17	_____	_____
18	_____	_____
19	_____	_____
20	_____	_____

Arb.medid= \_\_\_\_\_ Suma total: \_\_\_\_\_

Promedio : \_\_\_\_\_

=====



APENDICE 2  
DESCRIPCION DEL SUELO

I. Información acerca del sitio de la muestra.

1. Fecha de observ. \_\_\_\_\_  
2. Autor descript. S. Jodán.  
3. Núm. Perfil..... \_\_\_\_\_  
4. Nomb.suelo-se  
rie o local.. \_\_\_\_\_

5. Ubica  
ción. \_\_\_\_\_

6. Altitud: \_\_\_\_\_ Mts.  
Forma del terreno

7. Posición fisiográ  
fica \_\_\_\_\_

8. Forma del terreno  
circundante \_\_\_\_\_

9. Pendiente del perfil  
( ) Clase 1 Llano 0 - 2 %  
( ) " 2 Suavment. inc. 2 - 6 "  
( ) " 3 Inclinado 6 - 13 "  
( ) " 4 Moderad Esc. 13 - 25 "  
( ) " 5 Escarpado + 25 %

10 Pedregosidad superficial  
( ) Clase 0 Pocas pied. - .01%  
( ) " 1 Mod.pedreg. .01-.1 %  
( ) " 2 Pedregoso . .1 - 3 "  
( ) " 3 Muy pedreg. 3 - 15 "  
( ) " 4 Exces.pedre + 15 "

11. Profundidad

( ) \_\_\_\_\_ m. Profundo + 1 m.  
( ) \_\_\_\_\_ m. Mod.prof. 1 - 0.5 m  
( ) \_\_\_\_\_ m. Superfic. .5- .25m  
( ) \_\_\_\_\_ m. Muy super - .25 m.

II. Información acerca del suelo

12. Drenaje

( ) Clase 0 Buena  
( ) " 1 Moderado  
( ) " 2 Imperfecto  
( ) " 3 Pobre  
( ) " 4 Muy pobre

13. Condición de humedad del suelo

- Húmedo \_\_\_\_\_  
- Seco \_\_\_\_\_

14. Profundidad de la capa freática

( ) Clase 0 Profundidad: 75-150 cm  
( ) Clase 1 " " 35-75 cm.  
( ) Clase 2 " " 15-35 "  
( ) Clase 3 " " 0 - 15 "  
( ) Clase 4 " " En la sup.

15. Evidencia de erosión

( ) Ninguna -  
( ) Ligera 0 - 25 % H.  
( ) Moderada 25 - 50 % "  
( ) Fuerte 51 - 75 % "  
( ) Muy fuerte + 75 %

16. Influencia humana \_\_\_\_\_

Form. 3.

APENDICE 3  
 H O J A DE C A M P O  
 DESCRIPCION DEL PERFIL \*\*

Prof. (cms)	Color y límite	Textura y Estructura	C o n s i s t e n c i a				raíces y fragmentos		Observacio
			Suelo adhes	Suelo mojado plástico	Suelo húmedo	Suelo seco	Tamaño	Cantid	
	Humed _____ Seco _____ brusc neto grad difus plan ondu irregul interrru	Text _____ Estruct. Tipos: lamin prism colu bloq gran migajo Clas: muyfin fina medi grue Grado: O débil moderad fuerte	no adhe lig ad adhere muy ad herent	no plás ligi " plástico	suelto muyFria friable firme muyFirm estrmao firme	Suelto suelto bland ligDuro muyDuro extrDuro	muyFina 1 mm fina: 1 - 2 media 2 - 5 grues + 5	muy poc pocas comunes abundan muyAbund	
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
** Los datos observados eran marcados con una "X"									

APENDICE 4

Descripción del sitio y del perfil

UNIDAD MUESTRAL 3

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil : 1
- b. Nombre del suelo : Serie Instituto (1)
- c. Fecha de observación: 14 de octubre de 1971
- d. Lugar : Cabiria (CTEI)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: plana
  - ii. Forma del terreno circundante: plano
- f. Pendiente del perfil: Clase 1 (1%)

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 20 Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco, arcilloso; estructura granular, mediana; adherente, plástico; firme en húmedo, duro en seco; raíces medianas, pocas; límite gradual, irregular; pH 5.4
- 20 - 50 Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, arcilloso; estructura granular, fina, débil; muy adherente, muy plástico, de friable a firme en húmedo, duro en seco; raíces muy finas, muy pocas; límite difuso, irregular; pH 5.5

UNIDAD MUESTRAL 21

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil: 2
- b. Nombre del suelo: Serie La Margot (1)
- c. Fecha de observación: 15 de septiembre de 1971
- d. Lugar: Bajo Chino (CTEI)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: cresta o escarpe
  - ii. Forma del terreno circundante: fuertemente socabado
- f. Pendiente del perfil: Clase 5 (escarpado con más de 50 %)

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 25 Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco, arcilloso; estructura migajosa, mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; raíces medianas, comunes; límite gradual, plano; pH 5.7
- 25 - 52 Pardo amarillo oscuro (10YR 4/4) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, franco arcilloso estructura migajosa, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; pocas raíces finas; límite gradual, plano; pH 5.6

Cont. Apéndice 4

UNIDAD MUESTRAL 4

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil: 3
- b. Nombre del suelo: Serie Colorado (1)
- c. Fecha de observación: 14 de octubre de 1971
- d. Lugar: área del Club Int. (CTEI)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: pendiente cóncava
  - ii. Forma del terreno circundante: fuertemente ondulado
- f. Pendiente del perfil: Clase 5 (escarpado con más del 40 %)

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 24 Pardo rojizo (5YR 3/3) en húmedo, pardo rojizo (5YR 4/4) en seco, arcilloso; estructura granular, mediana, débil; adherente, plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; pocas raíces finas; límite gradual, plano; pH 5.8
- 24 - 45 Pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo, rojo amarillento (5YR 4/8) en seco, arcilloso; estructura granular, mediana, débil; adherente, plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; pocas raíces finas; límite gradual, plano; pH 5.5
- 45 - 85 Pardo rojizo (5YR 4/6) en húmedo, rojo amarillento (5YR 5/6) en seco, arcilloso; estructura granular, mediana, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; ausente de raíces; límite difuso, plano; pH. 6.7

UNIDAD MUESTRAL 22

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil: 4
- b. Nombre del suelo: Serie La Margot (1)
- c. Fecha de observación: 15 de octubre de 1971
- d. Lugar : Puente Cajón (CTEI)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfico: plano
  - ii. Forma del terreno circundante: leve depresión
- f. Pendiente del perfil : Clase 1 (2%)

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 22 Rojo negruzco (2.5YR 3/2) en húmedo, pardo rojo oscuro (5YR 3/2) en seco, franco arcilloso; estructura migajosa, muy fina, moderada, ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, duro en seco; raíces medianas, comunes; límite difuso, plano; pH 6.3

Cont. Apéndice 4

- 22 - 45 Rojo negruzco (2.5YR 3/2) en húmedo, rojo débil (2.5 YR 4/2) en seco, arcilloso, migajosa, muy fina, moderada; adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; raíces ligeramente finas, comunes, límite gradual, plano; pH 5.7
- 45 - 90 Amarillo pálido (5YR 5/3) en húmedo, blanco (5Y 8/1) en seco, arcilloso; estructura migajosa, muy fina, fuerte; muy adherente, muy plástico; firme en húmedo, extremadamente duro en seco; no se observan raíces; límite neto, irregular; pH 5.6

UNIDAD MUESTRAL 52

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil : 5
- b. Nombre del suelo: Serie Juray (1)
- c. Fecha de observación: 18 de octubre de 1971
- d. Lugar: Florencia Norte-(CTEI)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: meseta
  - ii. Forma del terreno circundante: llano
- f. Pendiente del perfil: casi plano, con suave pendiente descendente.

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 33 Gris oscuro (5YR 3/1) en húmedo, pardo oscuro (7.5YR - 3/2) en seco, franco-arcilloso-arenoso; estructura migajosa, muy fina, moderada; ligeramente adherente, plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; raíces medianas comunes; límite difuso, plano; pH 5.5
- 33 - 61 Pardo rojizo oscuro (5YR 3/2) en húmedo, pardo rojizo (5YR 4/4) en seco, franco-arcilloso-arenoso; estructura prismática, muy fina, moderada; adherente, plástica, muy friable en húmedo, muy duro en seco; raíces medianas, pocas; límite gradual, plano; pH 5.3
- 61 -100 Pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo, pardo rojizo (5YR 4/4) en seco, arcilloso arenoso; estructura prismática, fina, moderada; adherente, plástica, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muy pocas raíces finas; límite neto, plano; pH 5.2

UNIDAD MUESTRAL 2

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil: 6
- b. Nombre del suelo: Serie La Margot (1)
- c. Fecha de observación : 16 de octubre de 1971

- d. Lugar: Puente Cajón (CTEI)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: planicie
  - ii. Forma del terreno circundante: plana
- f. Pendiente del perfil: clase 1 ( 0 a 2 %)

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 20 Pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo, y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; franco-arcilloso; estructura granular, mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco; raíces medianas comunes; límite neto, plano; pH 5.3
- 20 - 36 Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo, y pardo fuerte (7.5YR 5/8) en seco; arcilloso, estructura de bloques, fina, débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, blando en seco; pocas raíces medianas; límite neto, plano; pH 5.8
- 36 - 70 Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo, y pardo fuerte (7.5YR 5/8) en seco; arcilloso; estructura granular, fina, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; ausente de raíces; límite difuso, plano; pH 5.3

UNIDAD MUESTRAL 27

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil: 7
- b. Nombre del suelo: Serie Juray (1)
- c. Fecha de observación: 15 de octubre de 1971
- d. Lugar: Florencia Sur (CTEI)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: pendiente cóncava
  - ii. Forma del terreno circundante: colinado
- f. Pendiente del perfil: Clase 4 (moderadamente escarpado (13-15 %))

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 10 Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, pardo amarillo oscuro (10YR 4/4) en seco, arcilloso; estructura migajosa, muy fina, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo, duro en seco; raíces medianas comunes; límite neto, plano; pH 5.9
- 10 - 30 Pardo rojizo (5YR 5/3) en húmedo, pardo oscuro (7.5YR-4/4) en seco, arcilloso; estructura migajosa, fina moderada; ligeramente adherente, ligeramente plásti-

Cont. Apéndice 4

co, friable en húmedo, muy duro en seco; abundantes raíces gruesas; límite gradual, plano; pH 5.1

30 -50 Pardo rojizo (5YR 4/3) en húmedo, pardo fuerte (7.5YR 5/6) en seco, arcilloso; estructura migajosa, muy fina, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; raíces medianas comunes; límite difuso, plano; pH 5.0

50 -100 Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo, pardo fuerte (7.5YR 5/8) en seco, arcilloso; estructura migajosa, fina, moderada, ligeramente duro en seco, pocas raíces finas, límite difuso, irregular; pH 5.4

UNIDAD MUESTRAL 44

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil : 8
- b. Nombre del suelo: Serie Colorado (18)
- c. Fecha de observación: 16 de octubre de 1971
- d. Lugar: El Recreo (Cantón Turrialba)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: cresta
  - ii. Forma del terreno circundante: colinado
- f. Pendiente del perfil (Clase 4) Moderadamente escarpado 13-35 %.

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 25 Rojo muy oscuro (2.5YR 2/2) en húmedo, pardo oscuro (10YR 4/3) en seco, arcilloso, estructura granular, mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo, muy duro en seco; raíces gruesas, comunes; límite gradual, plano pH 5.3
- 25 - 55 Pardo rojizo oscuro (5YR 3/2) en húmedo, pardo-amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco, arcilloso, estructura granular, mediana, moderada, ligeramente adherente, plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; medianas raíces comunes; límite gradual, plano; pH 5.5
- 55 - 82 Pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo, pardo rojizo (5YR - 4/4) en seco, arcilloso, estructura migajosa, muy fina moderada; ligeramente adherente, plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; pocas raíces finas; límite gradual, plano; pH 5.8

UNIDAD MUESTRAL 36

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil 9
- b. Nombre del suelo: Serie Reventazón (18)

Cont. Apéndice 4

- c. Fecha de observación: 16 de octubre de 1971
- d. Lugar : Atirro (cantón Turrialba)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: pendiente cóncava
  - ii. Forma del terreno circundante: fuertemente socavado
- f. Pendiente del perfil : Clase 5 ( escarpado + 25 %)

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 15 Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo, pardo oscuro (10YR 4/3) en seco, arcilloso; estructura migajosa, muy fina, moderada, ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; raíces medianas comunes; límite difuso, plano; pH 5.3
- 15 - 40 Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo, pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, arcilloso; estructura migajosa, muy fina, moderada, adherente, ligeramente plástica, friable en húmedo, muy duro en seco; raíces gruesas, comunes; límite difuso, plano; pH 5.4
- 40 - 70 Pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo, amarillo parduzco (10YR 6/6) en seco, arcilloso; estructura granular, mediana, moderada; adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; raíces gruesas, pocas; límite difuso, plano; pH 6.2
- 70 -110 Pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo, amarillo parduzco (10YR 5/8) en seco, franco arcilloso; estructura granular, mediana, moderada; ligeramente adherente ligeramente plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; raíces gruesas, muy pocas; límite difuso, plano; pH 6.1

UNIDAD MUESTRAL 49

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil: 10
- b. Nombre del suelo: Serie Reventazón (18)
- c. Lugar : Tuís (Cantón Turrialba)
- d. Fecha de observación: 21 de Octubre de 1971
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica: depresión
  - ii. Forma del terreno circundante: casi plano
- f. Pendiente del perfil: Clase 1 (0 - 2%)

II. Breve descripción del perfil

- 0 - 15 Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo, pardo oscuro (10YR 3/3) en seco, franco arcilloso; estructura migajosa, muy fina, moderada, adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; raíces



Cont. Apéndice 4

- ces finas, comunes; límite difuso, plano; pH 6.3
- 15 - 37 Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, pardo oscuro (10YR 4/3) en seco, franco arcilloso; estructura migajosa, muy fina, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; raíces finas, comunes; límite difuso, plano; pH 6.2
- 37 - 60 Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, pardo oscuro (10YR 4/3) en seco, franco; estructura granular, gruesa, duro en seco; raíces finas, pocas, límite difuso, plano; pH 6.1
- 60 -100 Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo, pardo amarillento (10YR 5/6) en seco, franco arcilloso; migajosa, mediana, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástica; firme en húmedo, muy duro en seco, ausencia de raíces, límite brusco, plano; pH 5.9

UNIDAD MUESTRAL 33

I. Información acerca del sitio de la muestra

- a. Número del perfil : 11
- b. Nombre del suelo Serie Colorado
- c. Fecha de observación : 14 de octubre de 1971
- d. Lugar : Fátima (Cantón Turrialba)
- e. Forma del terreno:
  - i. Posición fisiográfica : pendiente cóncava
  - ii. Forma del terreno circundante: fuertemente socavado
- f. Pendiente del perfil: Clase 5 (escarpado + 25 %)

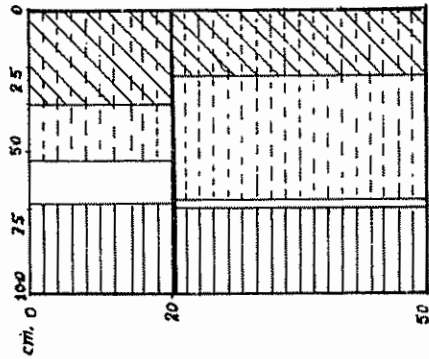
II. Breve descripción del perfil

- 0 - 18 Pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo, pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, franco arenoso; estructura granular muy fina, moderada, ligeramente adherente y plástico; raíces finas, comunes, límite neto, plano; pH 5.5
- 18 - 40 Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo, pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, franco arenoso; estructura granular, fina moderada, ligeramente duro en seco; pocas raíces finas; límite neto, plano; pH 5.3
- 40 - 70 Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo, pardo amarillento (10YR 5/6) en seco, arenoso franco; estructura prismática, mediana, moderada; adhesiva, plástica, friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muy pocas raíces finas, límite brusco, plano; pH 5.4
- 70 -110 Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo, amarillo (10YR 7/8) en seco, arenoso-franco; estructura prismática, mediana, fuerte; adherente, plástica, friable en húmedo, ligeramente duro en seco, ausente de raíces; límite gradual, plano; pH 5.4

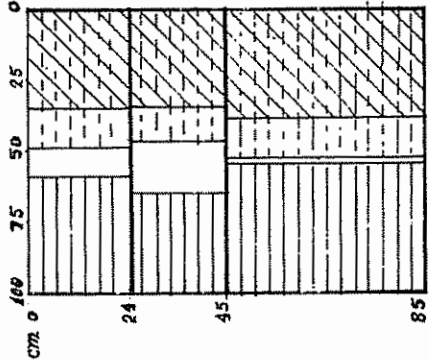
# APENDICE 5

## PERFILES DE HUMEDAD DEL SUELO

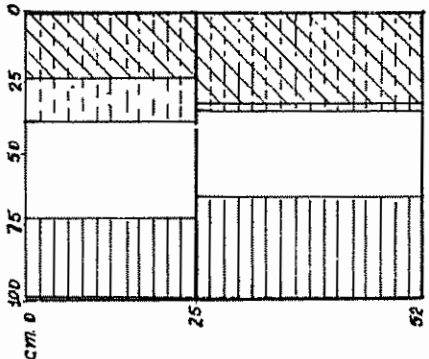
U.M.3



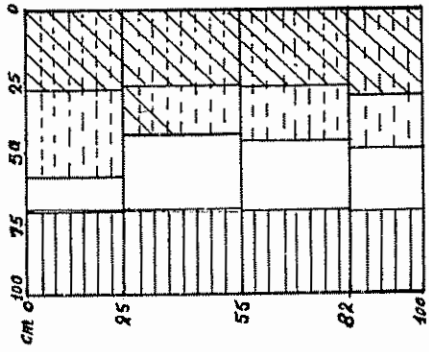
U.M.4



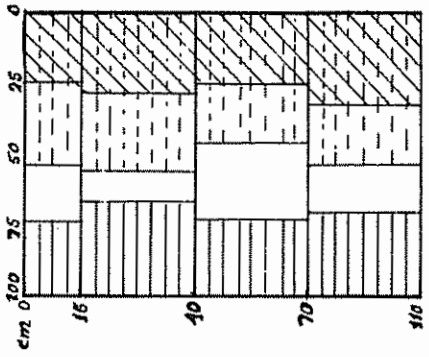
U.M. 21



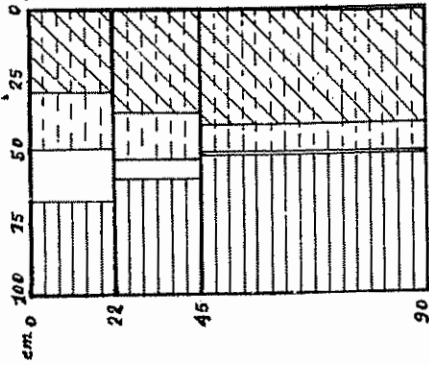
U.M.44



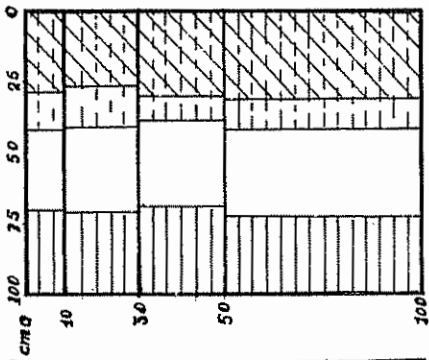
U.M. 46



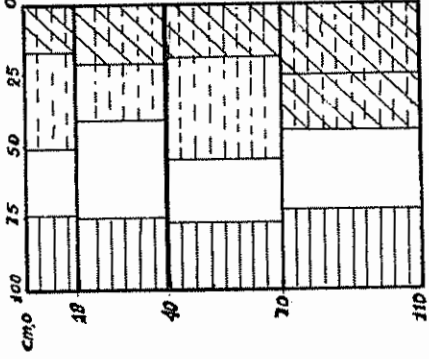
U.M. 22



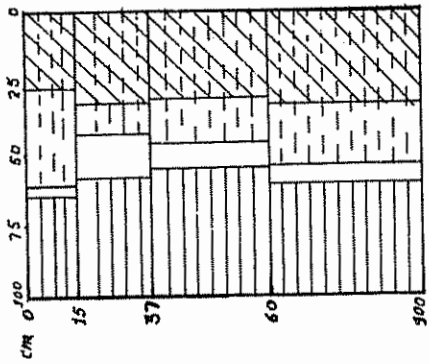
U.M. 27



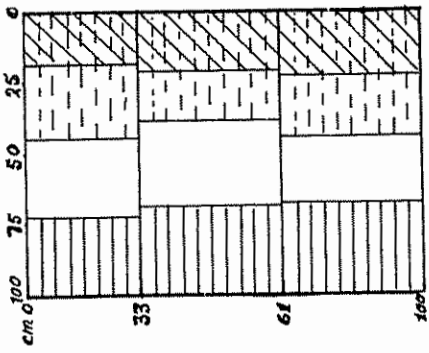
U.M. 33



U.M. 49



U.M. 52



MATERIA SOLIDA



ESPACIO NO CAPILAR



ESPACIO CAPILAR

U.M. : UNIDAD MUESTRAL