

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



Factores Edáficos que Influyen en el Crecimiento de las Plantaciones de
“Shihuahuaco” *Dipteryx odorata* (Aublet Willd) de 04 años, establecido
en un suelo degradado, Región Ucayali”.

Tesis para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Dennis Angulo García

Pucallpa-Perú

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES



COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

N°273/2014-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 12:00 horas PM del día 29 de agosto del 2014, se reunieron en la sala de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, los miembros del jurado integrados por:

ING. MSC. RUBEN MANTURANO PEREZ
ING. LUIS DIAZ SANDOVAL
DR. MARCO ANTONIO CHOTA ISUIZA

PRESIDENTE
MIEMBRO
MIEMBRO

Procediendo a evaluar la tesis y sustentación Titulada: **“FACTORES EDÁFICOS QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES DE SHIHUAHUACO *Dipteryx odorata* (Aublet Willd) DE 04 AÑOS, ESTABLECIDO EN UN SUELO DEGRADADO, REGIÓN UCAYALI”**; sustentado por el bachiller DENNIS ANGULO GARCIA.

Terminada la exposición se procedió a la ronda de preguntas por los miembros del jurado, siendo absuelto satisfactoriamente, por el tesista, llegando a la siguiente conclusión; la tesis fue aprobada por **UNANIMIDAD**, con el calificado de **BUENO**.

Quedando el tesista expedito para obtener el título profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

Siendo las 13:10 horas PM del mismo día se dio por concluido el acta académica.

.....
ING. MSC. RUBEN MANTURANO PEREZ
PRÉSIDENTE

.....
ING. LUIS DIAZ SANDOVAL
MIEMBRO

.....
DR. MARCO A. CHOTA ISUIZA
MIEMBRO

DEDICATORIA

**A mis padres walter angulo y mirtha garcía,
como eterna gratitud, por sus arduos esfuerzos,
apoyo y consejos, que hicieron lo posible para
formarme como un buen profesional, les dedico
este trabajo**

AGRADECIMIENTO

A la Empresa Manejo Forestal Sostenible “Bosques Amazónicos” SAC, por el apoyo en la ejecución del presente trabajo de tesis.

A, Alejandro Jaque Sakuma, Gerente de “Bosques Amazónicos” SAC – Ucayali, por las facilidades brindadas durante la ejecución del presente trabajo.

Al Ing. Mg.Sc. Edgar Diaz Zúñiga, asesor del presente trabajo de tesis, por su apoyo y colaboración prestada durante la realización del presente trabajo.

Al Ing. Jorge Chávez Fernández, coasesor del presente trabajo, investigador “Bosques Amazónicos” SAC, por su valiosa colaboración durante la realización del trabajo.

Y a todas aquellas personas que hicieron posible la ejecución de esta investigación.

RESUMEN

El objetivo general de la investigación fue determinar los factores edáficos que influyen en el crecimiento de la plantación de 4 años de *Dipteryx odorata* establecido en un suelo degradado en la Región Ucayali. Y, como objetivo específico pretende determinar el crecimiento de *Dipteryx odorata* en la zona de estudio caracterizada por plantación a campo abierto, así como los elementos del suelo que influyen en el rendimiento.

La evaluación para la toma de datos en campo consistió en el empleo de un diseño estadístico bloques completos al azar con tres repeticiones, cada repetición compuesta de 20 unidades experimentales. Los datos fueron procesados en el programa MIRASILV y analizados en el paquete estadístico SAS. El mayor crecimiento para altura total se obtuvo en la parcela dos, con 9.01 m; un incremento medio anual en altura de 2.00 cm/año; un DAP de 8.4 cm y un incremento medio anual en DAP de 2.0 cm/año. Mediante el ANVA a nivel de tratamientos en altura estadísticamente hay una alta significancia de $<.0001$. Sin embargo mediante prueba de Duncan, las medias no son estadísticamente diferentes (95%).

En cuanto al área basal, volumen e incremento medio anual en volumen, el mayor valor se da en la parcela dos, con 6.13 m²/ha, 25.80 m³/ha y 5.73 m³/ha/año respectivamente, mientras el valor más bajo se obtiene en la parcela uno, con 3.02 m²/ha, 8.78 m³/ha y 1.95 m³/ha/año, respectivamente.

Los suelos de la zona en estudio se caracterizan por presentar texturas franco arcilloso (Fr.Ar) y arcilla; bien drenados y mal drenados. El pH muy fuertemente ácido (4.66 a 4.76), no influye en el crecimiento.

Fósforo disponible en el suelo, promediando las tres parcelas muestreadas, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes bajo, de 25.86 Kg de P₂O₅/ha. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.3017 (P 0.05), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie Shihuahuaco.

Potasio disponible en el suelo, promediando las tres parcelas muestreadas, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes medio, de 291.25 kg de K₂O/ha. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.0882 (P 0.05), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie estudiada.

Calcio disponible en el suelo, promediando las tres parcelas muestreada, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes medio, de 1,04 cmol+Lt. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.1360 (P 0.05), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie Shihuahuaco.

Magnesio promediando las tres parcelas muestreada, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes bajo, de 0.07 cmol+Lt. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.6553 (P 0.05), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie Shihuahuaco.

SUMARY

The overall objective of the research was to determine the soil factors that influence the growth of the plantation 4 years *Dipteryx odorata* established in a degraded soil in the Ucayali region. And, as a specific objective aims to determine the growth of *Dipteryx odorata* in the study area characterized by open field planting and ground elements that influence performance.

The assessment for field data collection consisted employed a statistical randomized complete block design with three replications, each replicate consisting of 20 experimental units. Data were processed and analyzed the MIRASILV program in the SAS statistical package. The greatest growth was obtained for total height in plot two with 9.01 m; an average annual increase in height of 2.00 cm / year; a DBH of 8.4 cm and an average annual increase in DAP 2.0 cm / year. By ANOVA treatment level height is a statistically high significance of $<.0001$. However by Duncan test, the means are not statistically different (95%).

As for the basal area, volume and mean annual increment in volume, the greater value is given in the plot two with 6.13 m² / ha, 25.80 m³ / ha and 5.73 m³ / ha / year, respectively, while the lowest value is obtained in plot one with 3.02 m² / ha, 8.78 m³ / ha and 1.95 m³ / ha / year, respectively.

The soils of the study area are characterized by clay loam textures (Fr.Ar) and clay; well drained and poorly drained. The strongly acidic pH (4.66 to 4.76), no effect on growth.

Available phosphorus in soil, averaging the three sampled plots, a topsoil depth of 20 cm, shows a critical level of low nutrients, 25.86 kg P₂O₅ / ha. Statistically by correlation test, showing a high significance of 0.3017 (P 0.05), which is attributed edaphically not influence the growth of the species *Shihuahuaco*.

Available potassium in the soil, averaging the three sampled plots, a topsoil depth of 20 cm, shows a critical level of nutrient medium of 291.25 kg K₂O / ha. Statistically by correlation test shows a high significance of 0.0882 (P 0.05), which is attributed edaphically not influence the growth of the test species.

Calcium available in the soil, averaging the three sampled plots topsoil to a depth of 20 cm, shows a critical level of nutrient medium, 1.04 cmol + Lt. Statistically by correlation test, showing a high significance of 0.1360 (P 0.05), which is attributed edaphically not influence the growth of the species Shihuahuaco.

Magnesium averaging the three sampled plots topsoil to a depth of 20 cm, shows a low level of critical nutrients 0.07 cmol + Lt. Statistically by correlation test, showing a high significance of 0.6553 (P 0.05), which is attributed edaphically not influence the growth of the species Shihuahuaco.

INDICE

N°		Pág.
	DEDICATORIA	
	AGRADECIMIENTO	
	RESUMEN	
	SUMARY	
I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	Antecedentes del área de estudio	3
2.2	Plantación a campo abierto	4
2.3	Plantación puras y mixtas	5
2.4	Descripción de suelos	5
2.4.1	Acrisol	6
2.5	Características de los suelos	6
2.5.1	Textura	7
2.5.2	Estructura	7
2.5.3	Profundidad	7
2.5.4	Materia orgánica	8
2.5.5	Acidez del suelo	8
2.5.6	Nitrógeno	8
2.5.7	Calcio	9
2.5.8	Magnesio	9
2.5.9	Potasio	9
2.5.10	Fósforo	10
2.6	Degradación	10
2.6.1	Área degradada	10
2.7	Descripción y requerimiento de la especie a estudiar	11
2.7.1	Dipteryx odorata Harms	11
2.8	Importancia de la determinación de la calidad de sitio	13
2.9	Definición de calidad de sitio e índice de sitio	13
2.10	Métodos de evaluación de calidad de sitio	16
2.10.1	Altura	16
2.10.2	Análisis de fuste	22
2.10.3	Volumen	22

2.10.4	Plantas indicadoras	23
2.11	Factores que afectan la calidad de sitio	25
2.11.1	Suelos	25
2.11.2	Topografía	25
2.11.3	Propiedades físicas	27
2.11.4	Propiedades químicas	28
2.11.5	Otros métodos para estimar el índice de sitio	31
2.12	El crecimiento de los árboles	32
2.12.1	Crecimiento	32
2.12.2	Anillos de crecimiento	33
2.12.3	Factores que afectan el crecimiento de los árboles	34
2.12.4	Factores fundamentales que determinan el crecimiento	35
III.	MATERIALES Y METODOS	36
3.1	Ubicación del área de estudio	36
3.2	Clima	36
3.3	Materiales	40
3.3.1	Materiales, equipos y herramientas	40
3.3.2	Material experimental	41
3.4	Diseño experimental	41
3.5	Distribución de parcelas de evaluación	41
3.6	Variables a evaluar y procesamiento de datos	41
3.6.1	Parámetros de medición	42
3.7	Muestreo y análisis de suelo	42
3.7.1	Fertilidad de suelo a 20 cm de profundidad	42
IV.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	43
4.1	Plantación de <i>Dipteryx odorata</i> a campo abierto de 4 años	43
4.1.1	Crecimiento	43
4.1.2	Diámetro a la altura del pecho (DAP)	43
4.1.3	Altura total y altura dominante	44
4.2	Productividad	45
4.2.1	Área basal	46
4.2.2	Volumen	46
4.3	Descripción morfológica y caracterización física y química del suelo en estudio	46
4.3.1	Suelo de la parcela 1 "Isula"	46

4.3.1.1	Caracterización física y química	47
4.3.2	Suelo de la parcela 2 "Yangunturo"	48
4.3.2.1	Caracterización física y química	49
4.3.3	Suelo de la parcela 3 "Shapajal"	50
4.3.3.1	Caracterización física y química	50
4.4	Contenido de materia orgánica de las tres parcelas	52
4.5	pH de las tres parcelas	52
4.6	Contenido de nitrógeno de las tres parcelas	53
4.7	Contenido de fósforo de las tres parcelas	53
4.8	Porcentaje de saturación de aluminio de las tres parcelas	54
4.9	Contenido de potasio de las tres parcelas	55
4.10	Contenido de calcio de las tres parcelas	55
4.11	Contenido de magnesio de las tres parcelas	56
4.12	Relación entre altura (<i>Dipteryx odorata</i>) y propiedades química	57
4.12.1	Relación entre altura y pH	57
4.12.2	Relación entre altura y elemento fósforo	58
4.12.3	Relación entre altura y elemento potasio	58
4.12.4	Relación entre altura y elemento Calcio	59
4.13	Relación entre altura (<i>Dipteryx odorata</i>) y propiedades físicas	59
4.13.1	Relación entre altura y porcentaje arcilla	59
4.13.2	Relación entre altura y porcentaje arena	60
4.14	Fertilidad del suelo y asociación de la variable de crecimiento de la especie con los elementos del suelo	60
V.	CONCLUSIONES	62
VI.	RECOMENDACIONES	63
VII.	BIBLIOGRAFIA	64
	ANEXO	77

LISTA DE CUADROS

	Pág.	
Cuadro 1	Datos meteorológicos de la zona de Pucallpa, Perú. (Promedio 25 años)	36
Cuadro 2	Parámetros evaluados	41
Cuadro 3	Promedio de las variables de crecimiento de <i>Dipteryx odorata</i> en plantación a campo abierto	43
Cuadro 4	ANVA de los bloques y tratamientos en altura de <i>Dipteryx</i>	44
Cuadro 5	Comparación de medias del tratamiento de altura	45
Cuadro 6	Promedio de las variables de productividad de <i>Dipteryx</i> en plantación a campo abierto	45
Cuadro 7	Análisis textural parcela 1: "Isula"	46
Cuadro 8	Análisis de fertilidad parcela 1: "Isula"	47
Cuadro 9	Análisis textural parcela 2: "Yangunturo"	48
Cuadro 10	Análisis de fertilidad parcela 2: "Yangunturo"	48
Cuadro 11	Análisis textural parcela 3: "Shapajal"	50
Cuadro 12	Análisis de fertilidad parcela 3: "Shapajal"	50
Cuadro 13	Análisis físico del suelo (parcela 1, Isula). Programa PIAs	78
Cuadro 14	Análisis físico del suelo (parcela 2, Yangunturo). Programa PIAs.	79
Cuadro 15	Análisis físico del suelo (parcela 3, Shapajal). Programa PIAs.	80
Cuadro 16	Análisis químico del suelo (parcela 1, Isula). Programa PIAs.	81
Cuadro 17	Análisis químico del suelo (parcela 2, Yangunturo). Programa PIAs.	82
Cuadro 18	Análisis químico del suelo (parcela 3, Shapajal). Programa PIAs.	83

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Temperaturas promedio	37
Figura 2	Evapotranspiración potencial promedio	38
Figura 3	Horas de sol	39
Figura 4	Humedad relativa	39
Figura 5	Evaporación	40
Figura 6	Contenido de materia orgánica por parcelas estudiadas	52
Figura 7	pH en las tres parcelas	52
Figura 8	Contenido de nitrógeno por parcelas estudiadas	53
Figura 9	Contenido de fósforo por parcelas estudiadas	53
Figura 10	Porcentaje de saturación de aluminio por parcelas	54
Figura 11	Contenido de potasio por parcelas estudiadas	55
Figura 12	Contenido de calcio por parcelas estudiadas	55
Figura 13	Contenido de magnesio por parcelas estudiadas	56
Figura 14	Relación entre altura y pH	57
Figura 15	Relación entre altura y fósforo	58
Figura 16	Relación entre altura y potasio	58
Figura 17	Relación entre altura y calcio	59
Figura 18	Relación entre altura y % arcilla	59
Figura 19	Relación entre altura y % arena	60

I. INTRODUCCION

En la Región Amazónica, extensas áreas de bosques tropicales primarios, han pasado a la categoría de bosques residuales, debido al aprovechamiento selectivo de especies comerciales que han sido sometido por falta de aplicación de técnica silvicultural para cubrir la demanda del mercado internacional, nacional y regional, y, estas a su vez por la presión social han sido deforestadas, descremadas y transformadas a usos agropecuarios, para satisfacer necesidades básicas de alimentación. En Ucayali, en estas últimas décadas se presenta un proceso vertiginoso, pues la tasa de deforestación acumulada es de aproximadamente 600,000 hectáreas, muchas de las cuales no tenían el potencial para la agricultura y al no rendir la producción esperada han sido abandonadas. Dentro de esa tasa deforestada se encuentran más de 400 mil hectáreas que se encuentran degradadas y abandonadas.

Previendo las funestas consecuencias que estas acciones ocasionaron a los bosques, el gobierno a través de los Comités de Reforestación desde hace 20 años, inició un plan de reforestación utilizando diversos sistemas de plantación donde instalaron muchas especies forestales comerciales, tanto nativas como exóticas. Este plan no tuvo el éxito esperado, debido a que muchas de esas plantaciones artificiales instaladas no contaban con un previo estudio de diagnóstico o caracterización de sitio, lo que trajo como consecuencia el fracaso de las mismas y la pérdida de recursos económicos, lo que motivó desconfianza del desarrollo forestal (Angulo, 2008).

Uno de los problemas principales para determinar las especies que cumplen con los requisitos mencionados anteriormente es conocer las condiciones de sitio que influyen en el crecimiento. Esto puede lograrse mediante el conocimiento de la calidad de sitio y la relación con los factores tanto edáficos como climáticos que lo determinan.

Determinar esta relación permitirá conocer los sitios según la calidad, que a la vez servirá para decidir técnicas de manejo más adecuadas en cada sitio para maximizar la producción.

Sin embargo en estos últimos cinco años, tanto el sector público como privado vienen ejecutando proyectos de reforestación en áreas degradadas con la finalidad de recuperarlas y convertirlas en áreas forestales productivas, como es el caso típico del Proyecto Bosques Amazónicos S.A., que tiene instalado aproximadamente 1000 hectáreas de plantación para lo cual utilizó especies nativas. Una de esas especies reforestadas es *Dipteryx odorata*, que durante sus primeros años de establecimiento en campo definitivo presenta un crecimiento rápido.

Dipteryx micrantha conocida como shihuahuaco o *cumarú*, es una especie arbórea de la familia Fabaceae. Es endémica de Brasil, Bolivia y Perú. A la fecha en nuestra región se tiene establecido pocas plantaciones de la cual se desconoce los factores abióticos que determinan el crecimiento de la especie en sitios degradados donde se ha plantado. El presente estudio pretende determinar las condiciones de sitio que permitan hacer un mejor uso de la tierra en los lugares donde es factible plantar esta especie y posteriormente aplicar técnicas de manejo acordes a la calidad de sitios, para lo cual se plantea los siguientes objetivos e hipótesis:

OBJETIVOS:

A. GENERAL

- ✓ Determinar los factores edáficos que influyen en el crecimiento de la plantación de 4 años de *Dipteryx odorata* establecido en un suelo degradado en la Región Ucayali.

B. ESPECIFICOS

- ✓ Determinar el crecimiento de *Dipteryx odorata* en la zona de estudio caracterizada por plantación a campo abierto.
- ✓ Determinar los elementos del suelo que influyen en el rendimiento de *Dipteryx odorata* en la zona de estudio.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes del Area de Estudio

En el ámbito del Bosque de Producción Alexander von Humboldt se realizaron diversos proyectos de investigación y desarrollo.

Entre los años 1970 y 1973, el Ministerio de Agricultura realizó el Inventario de evaluación de bosques. En ese mismo periodo, en convenio con la Universidad Nacional Agraria – La Molina, se realizó el estudio tecnológico de 40 especies forestales.

Entre los años 1974 a 1978 se ejecutó el Proyecto “Demostración de Manejo y Utilización Integral de Bosques” financiado por PNUD/FAO/PER/71/551. El objetivo principal fue de establecer un programa de investigación silvicultural que sirviera como base para la ejecución de planes de manejo de bosque y que sean aplicada en otras regiones de la amazonia peruana. El proyecto estableció diversos ensayos con especies nativas, el que finalizó en 1978. Lamentablemente por su cercanía a centros poblados rurales y crecimiento de la población el 90 % de las áreas fueron invadidos y destruidos (Angulo, 2008).

Entre 1975 a 1980 el PADT – REFOR/JUNAC realizó el “Estudio Integral de Maderas para Construcción” el que incluía especies del Bosque Nacional.

En áreas aledañas, excluidas del Bosque Nacional, en 1980 se estableció el Proyecto Rural Forestal von Humboldt dentro del Proyecto Especial Pichis Palcazú, se planteó una alternativa de utilización racional de los suelos (INR – 62 – DGF).

En 1982 se ejecutó el Proyecto “Estudio Conjunto sobre Investigación y Experimentación en Regeneración de Bosques en la Zona Amazónica de la República del Perú” a través del convenio INFOR/JICA. Su objetivo principal fue el de establecer una metodología y/o sistemas técnicos que permitan recuperar el valor comercial del bosque húmedo tropical, basado en el manejo de la regeneración natural y artificial.

Para esto, delimitaron un bosque experimental de 1500 has, donde se establecieron 700 has para el manejo de plantaciones en fajas de enriquecimiento, 100 has para regeneración natural y 50 has de plantaciones a campo abierto. También se realizaron investigaciones en técnicas de producción de plántones, identificación dendrológica y estudio fenológico de las especies arbóreas comerciales, manejo y conservación de semillas y de entomología forestal. Este proyecto culminó en 1990 debido al alejamiento de la cooperación por los problemas sociales y la inseguridad de la zona (INFOR/JICA, 1985).

2.2 Plantación a campo abierto

Chapman y Allan (1984), manifiestan que las plantaciones a campo abierto están destinadas a la sustitución completa de la vegetación existente por un bosque artificial totalmente nuevo.

Wadsworth (2000) manifiesta que el término monocultivo ha adquirido una connotación negativa, entre otras, por las siguientes razones:

- A. La amenaza de que se produzca una demanda excesiva por ciertos nutrientes del suelo.
- B. La acumulación de sustancias alimenticias y un ambiente propicio para la cría de insectos y hongos.
- C. Un desequilibrio en el rendimiento de los nutrientes al suelo.
- D. Una protección dudosa al suelo.
- E. Poca o ninguna variedad de alimentos para los pájaros.

Florence (1967), predijo que la declinación de la productividad es más probable en bosques puros que en los mixtos, debido a la probabilidad de que ciertos nutrientes escaseen cuando se les recicla según las necesidades de una sola especie.

Foggie (1957), con base a las experiencias en Ghana, concluyó que las plantaciones puras de madera se deben evitar, excepto donde tales plantaciones son necesarias por

razones económicas o de otra índole, y que se debería permitir que el estrato inferior natural se desarrolle, apenas el cultivo principal comienza a dominar.

2.3 Plantación puras y mixtas

Wadsworth (2000), indica que la búsqueda de simplicidad ha promovido el establecimiento de plantaciones puras de árboles madereros, pero desde tiempo atrás se debate sobre las ventajas y desventajas de los monocultivos y policultivos o cultivos mixtos. Laurie (1941 c) y Wakeley (1954) esbozaron como ventajas de las plantaciones mixtas:

- Mantienen o mejoran la calidad del sitio.
- Aseguran que la plantación completa no sea destruida por un solo agente (tales como insectos hongos).
- Podrían mejorar la forma del fuste (competencia lateral).
- Permiten comparar el desempeño de distintas especies.
- Aseguran que el crecimiento no se estanque, si el raleo se debe prorrogar.
- Garantizan el abastecimiento de semillas de buena fuente de más de una especie.
- Producen un rendimiento de mayor valor si se tienen dos o más especies compatibles.

Foggie (1957) describe las complicaciones del manejo que surgen si se usan especies mixtas con distintas tasas de crecimiento, Terminalia y Triplochiton crecen cuatro veces más rápido en altura que las Meliaceas africanas y forman copas mucho más temprano; por lo tanto, la mezcla con especies más lentas tiende a prolongar el período de cultivo.

2.4 Descripción de suelo

Los suelos se dividen en clases según sus características generales, la clasificación se basa en la morfología y composición del mismo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir por ejemplo: la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química. La mayoría de los suelos tienen estratos característicos, llamados horizontes; la naturaleza, el número, el grosor y la disposición de éstas

también es de importancia en la identificación y clasificación de los suelos (Bertsch, 1995).

Las propiedades de un suelo reflejan la interacción de varios procesos de formación que suceden de forma simultánea tras la acumulación del material primigenio. Algunas sustancias se añaden al terreno y otras desaparecen. La transferencia de materia entre horizontes es muy corriente. Algunos materiales se transforman. Todos estos procesos se producen a velocidades diversas y en direcciones diferentes, por lo que aparecen suelos con distintos tipos de horizontes o con varios aspectos dentro de un mismo tipo de horizonte (Zúñiga, 2003).

2.4.1 Acrisol

Este orden incluye un sin número de suelos que tiene un aumento claro de arcilla cuando aumenta la profundidad. El primer horizonte a los 10 cm es de color pardo grisáceo, que pasa bruscamente a un horizonte pardo arcillo arenoso y gradualmente a un horizonte argílico rojo con textura arcillosa. El pH se encuentra entre 4.0 - 5.5, presenta bajo contenido de nutrientes de nitrógeno, fósforo y calcio (Vidaurre, 1992). Las altas concentraciones de aluminio o manganeso impiden el desarrollo de las raíces, impidiendo su capacidad de absorber nutrientes (Benites, 1981).

Estos suelos se desarrollan en sitios estables con topografía plana o de pendientes pronunciadas, pero es más común encontrarlo en sitios planos a ondulados con buen drenaje, así como también sobre colinas bajas suaves y colinas altas accidentadas, Benites (1981). Angulo (1995) manifiesta bajo estas condiciones se puede encontrar especies como: tornillo, *Cedrelinga catenaeformis*, Ishpingo *Amburana cearensis*, Yacushapana negra *Terminalia amazonia*, Shihuahuaco *Dipteryx odorata* y Azucar huayo *Hymenaea oblongifolia* presentan buen crecimiento, etc.

2.5 Características de los Suelos

Vallejo (1996) manifestó que los principales factores edáficos que afectan el crecimiento de las plantas son: la textura, estructura, profundidad, materia orgánica, acidez del suelo, presencia de nitrógeno, calcio, magnesio, potasio y fósforo.

2.5.1 Textura

La textura representa la proporción relativa de los contenidos de arcilla, limo y arena del suelo (Daniel *et al.*, 1982). Esta propiedad, no tiene una influencia directa sobre el crecimiento de las plantas, sino que influye sobre otras propiedades del suelo, tales como: grado de aireación, suministro de agua, la consistencia y la infiltración (Gavande, 1972; Baver *et al.*, 1973; Alfaro, 1983).

Alfaro (1983), Schlatter (1987), Johnson *et al.* (1987), Navarro (1987), Schmidt y Carmean (1988), Pacheco (1991) y Chavarría (1996), realizaron investigaciones en este aspecto, obteniendo en cada caso modelos estadísticamente satisfactorios que correlacionan la textura por sí sola o combinada con otras propiedades del suelo, con el índice del sitio.

2.5.2 Estructura

La estructura de un suelo, está referida al tipo y agregación de las partículas del suelo, Daniel *et al.* (1982), la cual según Donoso (1981), es el factor más importante en el crecimiento de los árboles, ya que influye sobre las relaciones hídricas y la aireación del suelo. Además, el crecimiento radicular de los árboles, es afectado por el tamaño de los agregados y su desarrollo estructural (Gavande, 1972; Baver *et al.*, 1973; Alfaro, 1983).

2.5.3 Profundidad

La profundidad del suelo reviste importancia en el crecimiento de la raíz, puesto que un incremento en la profundidad, habitualmente se ve asociado a una mayor cantidad de nutrientes, tiene mayor capacidad de disponibilidad de agua, mayor espacio radicular y menor susceptibilidad a daños por viento, Daniel *et al.* (1982); Alfaro (1983). Se han desarrollado modelos que correlacionan la profundidad, combinada con otras propiedades del suelo, como el índice de sitio, Schlatter (1987), Johnson *et al.* (1987) y Schmidt & Carmean (1988) desarrollaron modelos estadísticos que correlacionan la profundidad combinada con otras propiedades del suelo, con el índice de sitio.

2.5.4 Materia Orgánica

La materia orgánica es la "fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del suelo" (Fassbender & Bornemisza, 1987).

En la mayoría de casos tiene un efecto benéfico tanto sobre las propiedades físicas como químicas, repercutiendo sobre el crecimiento de los árboles, Alfaro (1983), ya que es una importante fuente de nitrógeno; sin embargo, al presentarse un contenido excesivo de materia orgánica, la cual no se degrada fácilmente, las relaciones con el índice de sitio son negativas (Alfaro, 1983; Herrera, 1996).

2.5.5 Acidez del suelo

El pH no influye sobre las plantas en el aspecto biológico, si nó, que influye sobre la disponibilidad o fijación de algunos nutrimentos requeridos por la planta, Alfaro (1983). La mayoría de las plantas, en suelos extremadamente ácidos, presentan bajos rendimientos al presentarse toxicidad de elementos (Al, Mn) y deficiencia de nutrientes (Ca, Mg y Mo), (Sánchez, 1981). La excepción podría estar dada por especies del género *Cedrelinga*, *Pinus* y *Vochysia*, las cuales tienen la capacidad de adaptarse y crecer en suelos ácidos.

Giraldo, Del Valle & Escobar (1980), Schmidt & Carmean (1988); realizaron investigaciones en este aspecto obteniendo en cada caso modelos que correlacionan el pH, combinado con otras propiedades del suelo, con el índice de sitio.

2.5.6 Nitrógeno

Este elemento es esencial para las plantas, porque son compuestos de las proteínas, ácidos nucleicos y vitaminas que son deficientes en los suelos forestales, Alfaro (1983). Generalmente la temperatura del suelo, afecta inversamente su disponibilidad; es decir a mayor temperatura menor disponibilidad de "N", siendo las tasas de descomposición más rápidas de materia orgánica, aunque al practicar un raleo en sitios con mucha

acumulación de materia orgánica, se presentará una mayor disponibilidad de “N” para los árboles remanentes. La lluvia en tanto, influye proporcionalmente la disponibilidad de este elemento, es decir a mayor intensidad de lluvias, mayor contenido de N, aunque en situaciones extremas de pluviosidad se presenta la lixiviación de este elemento. Alfaro (1983), realizó investigación al respecto, obteniendo en cada caso modelos estadísticamente satisfactorios.

2.5.7 Calcio

Su principal papel es estructural, conforma elementos cementantes de la pared celular. Participa en el desarrollo de membranas celulares y de estructuras lipídicas. Actúa como activador de enzimas y se relaciona con la nodulación y la fijación de N (Bertsch, 1995).

Vásquez & Ugalde (1994), han desarrollado modelos que correlacionan el contenido de calcio combinado con otras propiedades del suelo, con el índice de sitio.

2.5.8 Magnesio

Elemento determinante sobre la fotosíntesis, ya que forma parte de la molécula de clorofila. Es un activador enzimático, especialmente en reacciones de fosforilación del ATP en el metabolismo de los azúcares y en la síntesis de ácidos nucleicos, Bertsch (1995); Fassbender & Tschinkel (1974); Courtin *et al.* (1988); Vásquez & Ugalde (1994) y Chavarría (1996), han desarrollado modelos que correlacionan el contenido de magnesio combinado con otras propiedades del suelo, con el índice de sitio.

2.5.9 Potasio

Elemento que regula la apertura y cierre de los estomas, activa una cantidad considerable de enzimas y participa en la síntesis de muchos almidones y proteínas. Este elemento es bastante móvil en las plantas y con relativa facilidad puede ser lixiviado de las hojas de los árboles (Donoso, 1981). Han desarrollado modelos que correlacionan el contenido de potasio, combinado con otras propiedades del suelo, con el índice de sitio. Fassbender & Tschinkel (1974); Alfaro (1983); realizaron investigaciones al respecto obteniendo en cada caso modelos correlativos estadísticamente satisfactorios.

2.5.10 Fósforo

Responsable del transporte de energía, presentándose en los núcleos de las células de las plantas, por lo tanto, la división celular, el crecimiento y todos los procesos energéticos, dependen de niveles adecuados de este elemento (Baver *et al.*, 1973). El fósforo insoluble, el cual es liberado por meteorización rápidamente es inmovilizado por iones de aluminio, fierro en suelos ácidos y por iones de calcio en suelos básicos (Alfaro, 1983); Galloway *et al.*, 1991) y (Herrera, 1996) realizaron investigaciones en este aspecto obteniendo en cada caso modelos estadísticamente satisfactorios que correlacionan el contenido de fósforo, combinado con otras propiedades del suelo, con el índice de sitio.

2.6 Degradación

Es un concepto subjetivo ya que depende de quién lo define. Etimológicamente, se define como la disminución gradual de cualidades o características. FAO (1985) señala que la *degradación del suelo* es el proceso de disminución de su capacidad actual y potencial para producir, cualitativa y cuantitativamente, bienes y servicios; se entienden como bienes las cosechas agrícolas o maderables y como servicios la seguridad alimentaria. Según FAO (2003), la *degradación del bosque* es una reducción de la capacidad del mismo para producir bienes y servicios. El término “capacidad” se refiere a una escala de tiempo y al estado referencial de un determinado bosque.

2.6.1 Área degradada

Sabogal *et al.* (2002), lo define como un área o tierra forestal degradada que es severamente deteriorada por la extracción excesiva de productos maderables y/o no maderables, manejo inadecuado, incendios reiterados, pastoreo u otras perturbaciones y usos de la tierra que degeneraron el suelo y la vegetación, a tal punto que la vegetación forestal después del abandono se ve inhibida o retrasada. En la Amazonia peruana, los mejores indicadores de áreas degradadas son la presencia de vegetación predominantemente herbácea: gramíneas como .cashaucsha. (*Imperata*), .torourco. (asociación de *Axonopus*, *Paspalum*, *Homolepsis*), rabo de zorro. (*Andropogon*), o helechos del género *Pteridium*, conocidos en la región como .shapumba.

En el aspecto edáfico, los altos niveles de aluminio (elemento tóxico en la nutrición de la gran mayoría de especies vegetales) y el bajo nivel de nutrientes (nitrógeno, fósforo y bases intercambiables) son indicadores importantes. Otros indicadores relevantes son el deterioro de la estructura del suelo, expresado como la baja capacidad de infiltración de humedad, aireación y alta resistencia del suelo a la penetración; los bajos niveles de materia orgánica y la composición de la macrofauna; el escaso o nulo nivel de productividad en dichas áreas, tanto en número de especies como en volumen de materia seca vegetal conseguida.

Las estrategias de intervención en áreas degradadas tienen como finalidad recuperar la integridad de los ecosistemas alterados; es decir, el mantenimiento del potencial para brindar ciertos productos y servicios que el área es capaz de producir, lo cual implica el mantenimiento de la diversidad biológica, la estructura y los procesos ecológicos, y las prácticas culturales sostenibles (OIMT 2002).

2.7 Descripción y requerimiento de la especie a estudiar

2.7.1 *Dipteryx odorata* Harms

Nombre científico : *Dipteryx odorata* Harms
Familia : FABACEAE
Nombre Común : Shihuahuaco, Charapilla, kumarú



Se distribuye en Bolivia, Colombia y Perú. En el Perú se encuentra distribuida en los bosques amazónicos de la Región Loreto, Ucayali y San Martín en cantidades medias a altas. Es una especie propia de bosques primarios, con una temperatura media anual de 26 ° C. Se desarrolla bien cuando la precipitación varía entre 1000 a 4000 mm/año. Esta especie se encuentra en bosques primarios no inundados. En formaciones ecológicas de bosque muy húmedo premontano tropical, bosque

húmedo tropical y bosque seco tropical. Se encuentra en un rango altitudinal de 100 a 700 msnm; prefiere colinas suaves con suelos bien drenados y húmidos. De acuerdo a la clasificación de suelos de la FAO esta especie prefiere suelos cambisoles, textura franco arenoso limoso, con una acidez de medianamente ácido (5.7 pH). Se desarrolla muy bien en suelos Acrisoles y Gleysoles.

Árbol caducifolio, altura de 20 a 40 m, diámetro de 150 cm, copa globosa y amplia, raíz pivotante y ramificada, presenta aletas basales extendidas altas y cicatrices

transversales. Corteza externa con placas leñosas, al desprenderse dejan descubierto tejido subero-leñoso, con lenticelas de 1 a 3 mm de diámetro, de color pardo verdoso. Corteza interna de textura arenosa compacta, color crema amarillenta de olor habas verdes. En el duramen exuda savia no conspicua (INFOR-JICA, 1985).

En regeneración natural la característica de la hoja es de tipo compuesta, pinnadas, posición alterna, bordes enteros, ramitas terminales circulares. Yema axilar con abultamiento, foliolos opuestos, asimétricos, estípulas deciduas. Peciolulos acanalados. En el bosque la regeneración es escasa y su aprovechamiento con fines comerciales es intensivo lo que se podría afirmar que si no se toman estrategias de conservación con fines de manejo, esta especie está desapareciendo, como viene ocurriendo en el bosque de producción Alexander von Humboldt.

En suelo ultisol, en sistema silvopastoril asociado con centrosema, más 150 gr de roca fosfórica/planta, distanciamiento de 10 x 10 m, a la edad de 6.6 años presenta un Dap de 11.2 cm; imadap de 1.7 cm/año; una altura promedio de 8.92 m; área basal de 0.96 m²/ha; volumen de 4.16 m³/ha y un imavol de 0.62 m³/ha/año. Asociado con pastura de stylosanthes a la misma edad y con la misma condiciones que el anterior presenta un dap de 11.6 cm; imadap de 1.8 cm/año; altura promedio de 8.96 m; área basal de 0.68 m²/ha; volumen de 4.07 m³/ha; imavol de 0.56 m³/ha/año. Shihuahuaco asociado con

caoba, tahuarí, quillobordon, Tornillo, más 1 kg de mantillo, 200 gr de roca fosfórica, distanciamiento de 5 x 5 m, a los 3.6 años de edad presenta un dap de 9.68 cm; imadap de 2.6 cm/año; altura media de 8.19 m; area basal de 2.94 m²/ha; volumen de 11.08 m³/ha y un imavol de 3.02 m³/ha/año. (Angulo, 2005). En plantación mixta instalado en suelo ácido, a los 3.8 años, con 400 gr de gallinácea/planta más 200 gr de roca fosfórica presenta un dap de 8.0 cm; imadap de 2.2 cm/año; altura media de 11.50 m; área basal de 5.54 m²/ha; volumen de 24.37 m³/ha y un imavol de 6.36 m³/ha/año (Angulo, 2013).

2.8 Importancia de la determinación de la calidad de sitio

El aumento de la población hace inaplazable la necesidad de estudiar la calidad de las tierras para diferentes usos (Salas, 1982), desde el punto de vista del manejo forestal es importante realizar dicho estudio para lograr el objetivo de alcanzar la producción sostenida del bosque (Jadan, 1972).

En plantaciones a nivel comercial, para hacer una planificación efectiva, se requiere información sobre el rendimiento de las especies en diferentes condiciones de sitio (Tschinkel, 1972), porque el tamaño de los productos a diferentes edades está controlado por la capacidad de producción del sitio, es decir, calidad de sitio y los sistemas de manejo silvicultural (Tajchman, 1983). Buenos sitios responden y usualmente justifican manejo intensivo para producción de madera. Sitios pobres justifican solamente manejo extensivo (Auten, 1945).

Los datos obtenidos en los estudios de calidad de sitio pueden ser utilizados para determinar la capacidad productividad potencial de los sitios y luego para planificar el manejo de las plantaciones existentes, es decir, el grado de esfuerzo necesario para alcanzar el potencial de producción y como una guía para el establecimiento de nuevas plantaciones. Puede usarse además para la planificación y ejecución de trabajos de investigación como ensayos de procedencias, regímenes de clareo y rendimiento.

2.9 Definición de calidad de sitio e índice de sitio

En las ciencias forestales el término 'sitio' se utiliza para designar la influencia del ambiente sobre la producción de un bien o servicio del bosque, ya sea madera, forraje o

frutos. La calidad de sitio es la capacidad intrínseca que tiene para la producción de un bien y se expresa en términos de la producción de dicho bien (Torres y Magana, 2001).

En plantaciones forestales cuyo propósito es la explotación maderera, la calidad de sitio se define como su potencial para la producción de madera de una especie o un tipo de bosque, considerando que mejores calidades tendrán mayor producción (Clutter *et al.*, 1983).

Alfaro (1983), hizo una recopilación de las diferentes definiciones expresadas en la literatura, las cuales son señaladas a continuación y que coinciden con las presentadas por (Daniel *et al.*, 1982); y (Vásquez & Ugalde, 1995).

Uno de los conceptos de “sitio” es la definida por la Sociedad de Forestales Americanos (Society of American Foresters, 1958), “un área considerada en términos de sus factores, con referencia a su capacidad de producir bosques u otra vegetación; lo que es la combinación de las condiciones bióticas, climáticas y edáficas del área de estudio”.

Se entiende por calidad de sitio a la combinación e interacción de los factores bióticos y abióticos con la vegetación existente”. En el caso forestal, dicha calidad se estima como la máxima cosecha de madera o biomasa que el bosque produce en un tiempo determinado, es decir la productividad de dicho bosque o plantación.

Se entiende por índice de sitio a “la estimación de la altura dominante (Hdom) que los árboles dominantes (100 árboles más altos por hectáreas) de una plantación coetánea alcanzan a una edad en particular, conocida como edad base”. El índice de sitio es la expresión de la calidad de sitio, basada en la altura dominante.

Por su parte, el término de “calidad de sitio”, es utilizado para denotar la productividad relativa de un sitio para una especie forestal en particular (FAO, 1985); lo cual permite realizar clasificaciones según la calidad del terreno. Este concepto puede comprenderse aún mejor si se toma como ejemplo el sector agrícola, donde se clasifica el terreno según la productividad en términos del promedio anual obtenido por cultivo. En igual forma el silvicultor desea clasificar la producción de los rodales naturales y plantaciones

forestales en términos del volumen de madera por unidad de superficie y en un período de tiempo determinado (Vincent, 1980).

De acuerdo a lo analizado a las definiciones de sitio y calidad de sitio, se desprende que la calidad del terreno y el potencial productivo del sitio están determinados por variables ambientales, a las cuales se les denominan factores de sitio (Donoso, 1981).

Por otra parte, en cuanto a la relevancia de la determinación de la calidad de sitio en el contexto del manejo forestal, el aumento de la población hace inaplazable la necesidad de estudiar y clasificar la calidad de las tierras para diferentes usos (De las Salas, 1974). Por eso desde el punto de vista del manejo forestal es importante realizar dichas actividades para lograr el objetivo de alcanzar la producción del bosque (Jadán, 1972).

Dentro de este contexto se pueden señalar los objetivos de la evaluación de la calidad de sitio (Vincent, 1980):

- Estimación del rendimiento global de las plantaciones forestales.
- Planificación y ejecución de trabajos de investigación (ensayos de regímenes de aclareo y poda, estudios de costos de las faenas, etc.).
- Programación y ejecución de trabajos de mantenimiento (limpias, aclareos, podas, etc.) de las plantaciones forestales existentes.
- Extrapolación o extensión de la clasificación de calidad de sitio a áreas aún sin plantar.
- Selección de los mejores genotipos (especies y procedencias) para uno o más sitios en particular.

Las prácticas de manejo tienen que estar estrechamente relacionadas al sitio debido a que la calidad de sitio tiene un significativo efecto sobre el “vuelo” propiamente (volumen producido, valor y clase de madera), así como en la planificación y ejecución de las actividades silviculturales (Tschinkel, 1972).

Además es importante señalarse que la calidad de sitio y por ende todas las implicaciones que conlleva respecto al manejo tiene significado solamente con respecto a la especie o especies que puedan ser consideradas para el manejo de una determinada

área, así entonces, un sitio puede tener una excelente calidad de sitio para una especie (potencial productivo alto) pero muy pobre para otra (Clutter *et al.*, 1983).

Wadsworth (2000), hace hincapié que calidad de sitio se refiere que el desempeño de una plantación es una respuesta no sólo a las prácticas de manejo, sino también a la calidad del sitio y a un complejo de factores climáticos, edáficos y bióticos. La calidad de sitio quizás sea influenciada por las prácticas de manejo hasta cierto punto, pero el administrador debe reconocer las limitaciones.

Scolforo, 1992; Andenmatten y Letournean, 1998; Gaillard et al, 2000. Manifiestan que la clasificación de sitios de acuerdo a su capacidad productiva es de gran importancia para la planificación del establecimiento y manejo de plantaciones forestales ya sea a pequeña o gran escala. Las diferencias en productividad de los sitios determinan aspectos críticos del manejo de una plantación tales como los tratamientos silviculturales, el turno de cosecha, las técnicas de explotación, los productos a obtener y la rentabilidad de la inversión.

2.10 Métodos de evaluación de calidad de sitio

2.10.1 Altura

La altura es una de las herramientas en la clasificación de sitios, a la cual se le atribuyen las siguientes ventajas en su utilización:

- 1) Es una medida sensitiva de diferencias en sitios, porque a diferencia de los otros parámetros dasométricos como diámetro y área basal, casi no es influenciada por tratamientos de manejo y por lo tanto expresa mejor la condición del sitio.
- 2) La altura es, hasta cierto grado, independiente de la densidad y la mezcla de especies.
- 3) La relación altura/edad es fácil de determinar (Tesch, 1980/1981).

Existen tres criterios principales respecto a la altura como estimador de la calidad de sitio:

- Altura mayor. Es el promedio de altura de los cien árboles más altos por hectárea.
- Altura dominante. Es el promedio de altura de los cien árboles de mayor diámetro por hectárea (Keogh, 1982).
- Altura promedio. Definida como la altura del árbol de área basal y promedio (Tschinkel, 1972).

Así mismo la altura puede ser definida como la altura de los dominantes y codominantes. Sin embargo, esta forma no es empleada frecuentemente ya que algunas veces se dificulta su medición (Keogh, 1982). Por ejemplo (Alder, 1980) indica que en rodales jóvenes de especies de rápido crecimiento y ciertas especies que varían notablemente en sus crecimientos en altura dominante éste deja de ser un buen indicador del sitio.

La altura promedio presenta ciertas desventajas ya que es afectada por los métodos de aclareos normales, donde son retirados los árboles suprimidos y defectuosos (Schneider & Silva 1980). Por esta razón se recomienda el uso de un parámetro que sea fácil de medir y a la vez relativamente independiente de las intervenciones silviculturales, principalmente aclareos. Se considera que la altura mayor es una manifestación de la productividad del sitio, relativamente independiente de la espesura de la vegetación, ya que los árboles mas altos son los más desarrollados y por consiguiente los que sufren relativamente menos competencia de sus vecinos (Vincent, 1970).

Voorhoeve & Schulz (1968) comparten el criterio que la altura mayor es el mejor estimador de la calidad de sitio pues expresan que en plantaciones coetáneas las diferencias evidentes en altura mayor deben explicarse por diferencias de sitio, los árboles más altos ocupan los mejores sitios y los de menor altura los sitios más pobres.

Pulido (1971) mediante una revisión de literatura sobre los métodos de evaluación de la calidad de sitio concluye que la altura mayor es el método más práctico de evaluación.

Al mismo tiempo (Curtis, 1964) reconoce que la altura es una medición muy utilizada para estimar la calidad de sitio, pero que presenta las siguientes limitaciones: la altura es sólo uno de los componentes del volumen, el índice de sitio no es sinónimo de productividad en volumen.

La información de índice de sitio como usualmente se presenta dice poco acerca de las relaciones ecológicas, las cuales son a menudo los factores dominantes en la determinación de la capacidad productiva.

Una de las metodologías más usadas para clasificar sitios en plantaciones forestales monoespecíficas, coetáneas, es el 'índice de sitio' (SI) definido, de manera general, como la 'altura mayor' alcanzada por un rodal a una edad predeterminada, llamada edad base (Carmean, 1975, Clutter *et al.*, 1983). La altura mayor del rodal se define como la altura total promedio de una muestra representativa de los árboles más altos

(dominantes y codominantes) del rodal, aunque existen otros criterios, tomando en cuenta su distribución espacial en el rodal. Se considera que esta altura es un buen indicador de la productividad potencial de una especie para un sitio en particular. Esta afirmación se basa en la hipótesis de Eichhorn (Fontes *et al.*, 2003) la cual establece que la producción total de un rodal (volumen en pie + volumen extraído en cortas intermedias) óptimamente ocupado es una función de la altura del rodal. Para diferenciar calidades de sitio para una interespecie dada se debe definir una familia de curvas de SI a partir de la altura dominante observada para una variedad de sitios tan amplia como sea posible.

El índice de sitio se considera como la capacidad de producción de un bosque u otro tipo de vegetación, como producto de la interacción de los factores edáficos, bióticos y climáticos (Jadan, S 1972).

El índice de sitio indica la capacidad de producción de un área forestal para una especie o combinación de especies y está determinada por la acción e interacción de los factores climatológicos, edáficos topográficos y bióticos.

La primera fase de un estudio de crecimiento y rendimiento es la elaboración de un sistema para la clasificación de la productividad de los sitios forestales los cuales constituyen el conjunto de factores edáficos y bióticos que determinan la permanencia y la productividad de biomasa de determinada comunidad forestal, sea esta natural o creada por el hombre (Álvarez y Varona, 1988).

Tradicionalmente las curvas de índice de sitio (SI) se han ajustado usando modelos de regresión lineal y no lineal clásicos que asumen normalidad, igualdad de varianzas e independencia de los errores. Tales supuestos pueden ser violados cuando se analizan datos longitudinales. Los modelos mixtos permiten representar apropiadamente la estructura de varianzas-covarianzas asociadas con datos de medidas repetidas (Davidian y Giltinan, 1995; Gregoire *et al.*, 1995; Verbeke y Molenberghs, 2000; Diggle *et al.*, 2002; Littell *et al.*, 2006). Tales modelos mixtos han sido poco utilizados en el área forestal, a pesar de que permiten modelar la estructura de varianzas-covarianzas y así realizar inferencias más precisas.

La estimación del índice de sitio involucra la proyección de la medición presente de la altura hacia atrás en el tiempo a una edad marca de referencia, por medio de una familia de curvas de índice de sitio y depende de la exactitud con que la curva generalizada de índice de sitio pueda representar el crecimiento de rodales individuales, ya que generalmente se introduce un error desconocido.

En cambio Daniel *et al.* (1982) concluyen que los métodos de evaluación de calidad de sitio, se dividen en métodos directos e indirectos:

A. Método directo. Este método presenta un mayor costo, se sustenta en la medición de la masa existente y en el desarrollo de tablas de rendimiento normal, para rodales con un monitoreo continuo de su desarrollo de tablas de rendimiento normal, para rodales con un monitoreo continuo de su desarrollo y crecimiento. Este método ha sido aplicado en países con una larga trayectoria forestal, donde la información requerida ha sido recabada en múltiples rotaciones.

B. Método indirecto. Los métodos indirectos se han venido aplicando en países con un avanzado desarrollo forestal, ya que son menos onerosos al no estimar

directamente el volumen, sino una variable de más fácil medición y estrechamente correlacionada con él, dicha variable es la altura dominante que según Monserud et al. (1990), es capaz de predecir la cantidad de madera a producir en un sitio particular, con mayor exactitud que cualquier otra variable a ser considerada, ya que la altura dominante es menos influenciada por la densidad del rodal, (Vallejo, 1996).

Sin embargo, la altura dominante en situaciones extremas de densidad de rodal, se ha visto afectada y no estaría expresando la productividad del sitio, sino más bien sería respuesta a la competencia de sus vecinos (Vallejo, 1996).

Cuando se pretende orientar programas de reforestación, identificando los sitios más productivos antes de ejecutar una plantación, tanto el índice desarrollado a partir de la vegetación como el ambiental, aparentemente son los más indicados ya que permiten evaluar un sitio, sin que la masa boscosa se encuentre presente, a diferencia de lo que ocurre con el índice dasométrico.

Sin embargo este método indirecto se puede diferenciar en tres: índice de sitio dasométrico, índice de sitio vegetacional e índice de sitio ambiental.

B.1 Índice de sitio dasométrico

Vallejo (1996) afirma que para la construcción del índice de sitio dasométrico, es de vital importancia medir la altura como la edad de los árboles presentes en la plantación a ser evaluados. Así mismo indica que esta información podría tener dos orígenes: parcelas temporales y/o permanentes y análisis fustal.

Algunos investigadores sostienen que el índice de sitio real se obtiene al realizar un profundo análisis fustal sin embargo la determinación del índice de sitio sin utilizar algún método destructivo, es decir solamente registrando la altura y a través de registros determinar la edad, es una práctica aceptada en la actividad forestal.

B.2 Índice de sitio vegetacional

Este método se basa en asociar un índice de sitio a un área definida, donde se presenta o existe predominancia de una o varias especies, que son consideradas como “indicadoras” de la calidad de sitio. Vallejo (1996), indica que este método fue empleado en varios países de Europa, entre ellos Finlandia el mismo que ha obtenido resultados medianamente satisfactorios en países templados – fríos, donde la diversidad ecológica es menor. En el trópico, donde se presenta una gran diversidad ecológica, este método no ha dado buenos resultados, (Daniel *et al.*, 1982).

B.3 Índice de sitio ambiental

También conocida como índice de sitio edafoclimático, que relaciona el índice de sitio (en áreas donde existe vegetación) con variables edafoclimáticas; el cual al determinar las variables edafoclimáticas relacionadas con el índice de sitio, de un área provista de árboles de interés, será posible estimar la calidad de sitio en estudio (Vásquez, 1995).

La interacción de factores ambientales, provoca una multiplicidad de calidades de sitio, lo que en la mayoría de los casos, puede enmascarar la influencia de algún factor al analizar algunos de ellos el mismo que es relativamente fácil listar de manera individual los factores de sitio, pero más difícil evaluar con precisión el efecto integrado de ellos ya que diferentes combinaciones de factores individuales, pueden tener el mismo efecto sobre el desarrollo de las plantas debido a efectos compensatorios (Vallejo, 1996).

Daniel *et al.* (1982) indica que frecuentemente los factores edafoclimáticos explican entre un 50 y 60 % de la variación total del índice de sitio. En casos específicos, cuando alguna variable edáfica es la principal limitante, por ejemplo, suelos mal drenados, esta variable podría explicar hasta el 100 % del total de variación del índice de sitio.

Alder (1980) concluye que en la mayoría de los casos el porcentaje explicado por las variables independientes es estadísticamente significativo, lo cual incentiva desarrollar nuevos modelos que presenten mejores ajustes; sin embargo este deseo no debe

anteponerse a la simplicidad (pocas variables) y facilidad de utilización del modelo, ya que con esto se reduce la colinealidad y aumenta la aplicabilidad del modelo.

2.10.2 Análisis de fuste

Muchos investigadores utilizan el conteo de anillos de crecimiento para determinar la edad de los árboles y así construir las curvas de índice de sitio. Adegbehun (1982) y Curtis (1964) señalan las siguientes ventajas de este procedimiento: 1) mejor estimación del área bajo la curva de crecimiento, 2) eliminación de la distorsión resultante de la posible asociación de la edad del rodal y la calidad de sitio, 3) investigación de posible polimorfismo, y 4) prueba de diferencias de curvas de índices de sitio entre especies.

En cambio otros, encuentran grandes desventajas al uso de este procedimiento, entre ellas está el hecho de que ciertos árboles pueden no haber sido dominantes durante la fase juvenil (Campos & Turnbull, 1980); la tendencia altura/edad de los árboles

dominantes individuales no va necesariamente paralela a la tendencia altura dominante/edad del lote muestra (Greaves, 1978). Estos aspectos vistos como limitantes, deja de serlo si se piensa que la condición de dominancia la manifiesta los árboles desde la etapa juvenil. Además la dominancia está determinada por factores genéticos y de sitio, los cuales no cambian tan bruscamente en períodos cortos de tiempo. La alta probabilidad de encontrar pocos o muchos anillos hace incierto el uso del conteo de anillos como indicador de la edad de los árboles (McGinnies, 1963).

2.10.3 Volumen

El crecimiento en volumen ha sido la variable principal para clasificación de sitios en Europa, Tesch (1980/1981). Esta clasificación, basada en la producción de las masas forestales, alcanza más directamente la finalidad de clasificar la capacidad productiva de los sitios y se realiza según el número de metros cúbicos de masa total, principal y extraída, formados en un tiempo fijo (Pita, 1964).

Este método presenta problemas de aplicación sobre todo en países donde la experimentación forestal casi no existe. El volumen alcanzado por un rodal a una edad puede ser afectado por otros factores más que por la calidad de sitio: la densidad del rodal, la composición de especies, factores genéticos y prácticas culturales (Cluter *et al.*, 1983). La productividad del sitio en términos de m³/ha/año, es difícil de cuantificar ya que depende del régimen de aclareo, la sobrevivencia es más laborioso de calcularlo (Vincent, 1970). Frecuentemente es muy difícil encontrar parcelas o rodales en las que se conozca el volumen de la masa extraída con anterioridad (Pita, 1974).

Según Cluter (1983) en bosque donde se ha aplicado un régimen de manejo en forma consistente e igual para todo el rodal, o no se le ha aplicado ningún régimen de manejo, es posible usar la información del volumen como indicador de la calidad de sitio. Según Davis (1954) el volumen por árbol en relación a la edad es un indicador útil porque refleja el efecto del sitio en el crecimiento en altura y diámetro en términos de productos útiles.

2.10.4 Plantas indicadoras

Existe evidencias que ciertos tipos de vegetación están asociados con condiciones de suelos forestales relativamente fértiles, mientras otros tipos de vegetación están asociados con condiciones infértiles (Coile, 1938) o con el índice de sitio de especies forestales (Taylor, 1932).

Muchos factores ambientales afectan a la vegetación, por lo tanto las características de la vegetación pueden proveer información sobre la calidad de sitio para el crecimiento de los árboles (Cluter, 1983). Los principios básicos para usar los tipos de vegetación en la evaluación de terrenos forestales son: 1) la vegetación natural no alterada refleja la suma de todos los elementos del medio ambiente que son importantes para las plantas y 2) las especies con mayor poder de competencia son las mejores indicadoras de sitio, (Daubenmire, 1961). Con base en esto, la presencia o ausencia de ciertas especies de plantas bajo rodales maderables pueden tomarse como una indicación de fertilidad o infertilidad de suelos forestales (Coile, 1938).

Basado en las asociaciones de plantas que son clímax, en ciertos sitios, Daubenmire (1961) obtuvo correlaciones para utilizarlas como un método rápido y útil de predecir la tasa probable de crecimiento de *Pinus ponderosa*.

Hazard (1937) clasificó la vegetación que crece bajo rodales de *Pinus strobus* L. en tipos indicadores. Se arregló en progresión de xerofíticas y sitios pobres hasta mesofíticos y sitios ricos. Estos tipos de correlaciones con distintos valores de pH del suelo, densidad de copas y clase de edad se encontraron que están en concordancia con la habilidad de los sitios para producir pino.

Ure (1950) determinó el índice de sitio para *Pinus radiata* en Kaingaroa, Nueva Zelandia y lo correlacionó con la composición de la vegetación, especies características de varios sitios y la clasificó, según la frecuencia, en una escala desde muy abundante hasta muy ocasional o rara. Otra variable del método fue registrar el vigor de dos especies arbustivas (*Leptospermum scoparium* y *Pteridium esculentum*) ya que su vigor es más sensible como indicador que su frecuencia.

Platteborze (1970) en el oeste Malayo en plantaciones de *Pinus caribae* dio especial atención a la presencia y abundancia de la maleza *Dicranopteris linearis*. El área experimental se dividió en dos sublotés, uno donde *Dicranopteris* era la principal especie y otro donde otras especies dominaban. Las condiciones de sitio no diferían de un lote a otro (pendientes de 24 a 37 %, estructura blocosa a prismática, consistente aún húmedo). Se comprobó que el crecimiento y la apariencia de *P. caribae* es extremadamente pobre en los sitios cubiertos por *Dicranopteris*, cuya presencia posiblemente indica un suelo muy degradado y deficiente de fósforo.

Aunque la información muestra que existe correlación, la vegetación menor no es confiable como rasgo distintivo para estimar el índice de sitio, por varias razones: no es un buen indicador durante el periodo de dormancia de algunas especies, aún bajo cubierta forestal la vegetación está influenciada por la luz, tanto las especies como la proporción del piso del bosque que ocupan varía con el grado de apertura del dosel (Trimble & Weitzman 1956). Las características de los horizontes más profundos del suelo pueden mostrar poco impacto sobre la vegetación menor, pero tienen gran influencia sobre la calidad del sitio para el crecimiento de los árboles. Además la

abundancia y composición de la vegetación es a menudo alterada por agentes externos como incendios o quemas controladas, pastoreo, limpiezas y tratamientos de preparación de la tierra (Cluter *et al.*, 1983).

2.11 Factores que afectan la calidad de sitio

2.11.1 Suelos

Young (1976) citado por (Wadsworth, 2000) indica que siete factores afectan la formación de los suelos de forma significativa: el clima, el material de partida, el relieve, el drenaje, los organismos, el tiempo y la actividad humana. La profundidad del perfil, el carácter pedregoso y la textura afectan las propiedades de los suelos durante su formación. El clima ayuda a determinar el componente orgánico, la reacción y la saturación de las bases; el material de partida influye en la textura del suelo, el relieve en la profundidad del suelo y en la pedregosidad.

2.11.2 Topografía

La topografía juega un papel importante en relación con la calidad de sitio por la influencia que ejerce a través de sus tres elementos: aspecto, exposición y posición. El aspecto se refiere a la dirección del frente de la pendiente con relación al norte magnético, la exposición a la ausencia de protección contra vientos secos y la posición al lugar que ocupa sobre la pendiente ya sea arriba o abajo (Auten, 1945). De esta manera la topografía se relaciona con la humedad y luz disponible para las plantas (Einspahr & McCombe, 1951).

Ninguno de los elementos de la topografía ejerce una influencia directa sobre el crecimiento, pero condicionan una serie de factores que si pueden influir sobre los procesos fisiológicos del árbol, como son: desplazamiento del agua dentro y sobre el suelo, que a su vez determina el desarrollo del suelo mismo, aumento de la posibilidad de lixiviación de nutrientes y mayor acumulación de materia orgánica (Ure, 1950; Tschinkel, 1972).

Tschinkel (1972) evaluó factores como distancia de la parcela al cerro y al valle mas cercano, la exposición, la elevación, la concavidad del relieve y la pendiente, con el

objeto de encontrar un método de clasificar sitios de *Cupressus lusitanica* con base en factores sencillos de medir en el campo o posibles de obtener mediante fotografías aéreas antes de plantar. Encontró una relación causal entre el crecimiento y la pendiente y la forma topográfica.

Hannah (1971) encontró variaciones en índices de sitios como resultado de cambios en el aspecto. Einspahr & McCombe (1951) determinaron en el norte de Iowa, que en aspecto norte y este el índice de sitio era de 8 a 12 puntos más alto que sitios similares con aspectos sur y oeste. Otro estudio realizado por Tajchman & Wiant (1983) en el hemisferio norte, establecieron que sobre pendientes de cara al norte se incrementa la biomasa con el incremento de la inclinación y sobre pendientes sur sucede lo contrario. Esto parece ser efecto de la variabilidad de la radiación con inclinación y aspecto. Castaños (1962) encontró que el índice de sitio es mayor en exposiciones oeste que en exposiciones este en Oxaca, México.

El porcentaje de pendiente y la posición topográfica explicaron el 72 % de la variación en índice de sitio para *Cupressus lusitanica* en Colombia (Tschinkel, 1972). En términos generales al incrementarse la pendiente, decrece el índice de sitio. Por ejemplo, en Surinam el buen crecimiento de *Virola surinamensis* es mejor en pendientes inferiores y pie de colinas, la pendiente no debe exceder del 5 %, (Vega, 1969). En el sur de Arkansas y el norte de Louisiana, Zahner (1957) encontró que para varias especies del género *Pinus* los sitios con pendientes arriba del 15 % son los más pobres.

Por ejemplo estudio realizado por Sánchez (1981) en los bosques naturales tropicales húmedos en América Central manifiesta que el pH, y la humedad son los factores que influyen en la calidad de los suelos. Indica que el pH afecta la disponibilidad de nutrimentos minerales. Un pH bajo reduce la disponibilidad de cationes de calcio, magnesio y fósforo, y libera cantidades tóxicas de elementos como hierro, aluminio y manganeso.

Louman (2001) concluye que dos componentes de la topografía influyen en la vegetación: la altitud y la pendiente. En el caso de la pendiente puede influir en aspectos del suelo, como la profundidad (mucho menor en pendientes fuertes que en terrenos

planos) y el drenaje (generalmente mejor en pendientes que en valles). En ambos casos se requiere de la vegetación a la condición específica.

En cambio Sheng (1990) citado por Escobedo (1995) recomienda una clasificación de la capacidad de la tierra para la producción agropecuaria y forestal basada en la pendiente, la profundidad de los suelos y en otros factores limitantes (como presencia de piedras, humedad, inundaciones frecuentes). Según su clasificación, todo terreno con pendientes mayores a 30°, o con otros factores que limitan el cultivo de productos agropecuarios, se debe clasificar como de vocación forestal.

2.11.3 Propiedades físicas

Los factores de suelo que más influyen en el crecimiento de la vegetación son aquellos que están estrechamente relacionados con la humedad del suelo.

Shrivastava & Ulrich (1978) determinaron que el suplemento de agua disponible fue el factor más importante al aportar la mayor variabilidad en índice de sitio para *Picea abies* K., en la región de Hesse, provincia de la República Federal Alemana. Este factor aumenta su importancia cuando el efecto se combina con textura, estructura, profundidad, contenido de materia orgánica, compactación, características topográficas y permeabilidad del subsuelo.

Igualmente en la región de Dehra Dun, India, el crecimiento de *Shorea robusta* correlacionó positivamente con el contenido de humedad, la humedad equivalente y la capacidad de retención de los suelos donde estaba creciendo (Seth & Bhatnagar, 1960). (Mader, 1976) encontró que los factores asociados a los mejores sitios donde crece *Pinus strobus* en Massachussets fueron el incremento de limo y arcilla del horizonte A, lo cual, probablemente, contribuye a mejorar la humedad y fertilidad del suelo en la zona de raíces primarias. Mientras que Van *et al.* (1963) determinaron que el índice de sitio para *Pinus resinosa* se correlacionó significativamente con suelos que poseían una textura arenosa y moderadamente arenosa, factores que favorecían un adecuado suplemento humedad, además de no poseer factores que limiten la profundidad efectiva del mismo.

Alfaro (1983) evaluando la relación entre el índice de sitio y los factores edáficos para *Cupressus lusitanica* en el Valle Central de Costa Rica, encontró que el 61 % de la variabilidad del índice de sitio se podía atribuir al porcentaje de limo, porcentaje de arcilla, porcentaje de poros y porcentaje de agua disponible. Linnartz (1963) trabajó con varias especies de pino y determinó que el índice de sitio se incrementa con un mínimo aumento de la profundidad de la capa permeable. Castaños (1962), Oliver (1978), Hannah (1971), Hurtado & Jerez (1975) encontraron que la profundidad del suelo influye en la calidad de sitio. Slager y Schulz citados por Vincent (1970) llegaron a la conclusión de que las características del suelo más importantes para la estimación de la calidad de sitio para *P. caribae* en Surinam son: la influencia del agua freática, la textura, la materia orgánica y la bioporosidad.

Según Keat (1981) los factores físicos que parecen predominar en la limitación del crecimiento son: profundidad del suelo, inundación, pendiente, compactación del subsuelo, estructura y drenaje. Leack (1978) encontró que el índice de sitio para las especies: *Acer saccharium*, *Betula lutea* y *B. papyrifera* generalmente era más bajo en sitios pobremente drenados y rocosos. *Albizia falcataria* presenta mejor crecimiento en suelos originados en las proximidades de cursos de agua; aunque estos suelos son variables en morfología y nutrimentos tienen buen drenaje interno (Chong & Jones, 1982).

2.11.4 Propiedades químicas

El análisis de las investigaciones realizadas en diversos países y para otras especies diferentes a *P. caribae* parece mostrar que el contenido de fósforo es el factor que mejor correlacionó con el índice de sitio. Otros elementos que influyen en el índice de sitio, ya sea actuando solos o en combinación con el fósforo, son el nitrógeno y el calcio.

Varias investigaciones realizadas con ciprés, *Cupressus lusitanica*, refuerzan esta afirmación. Por ejemplo, Alfaro (1983) determinó que el fósforo, nitrógeno y la capacidad de intercambio catiónico mostraron mayor asociación con el índice de sitio. Fassbender & Tschinkel (1974) encontraron que las reservas de fosfatos de aluminio mostraron las correlaciones más significativas. Del Valle (1975) en Antioquia Colombia, estableció que el nitrógeno y fósforo actuando conjuntamente explican el 85 % de la

variación en el índice de sitio para *C. lusitanica*. En otro estudio, Del Valle (1976) concluyó que el 58 % de la variación en el crecimiento del ciprés en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia, se debe al nitrógeno mineralizado expresado en Kg/ha. Según Tschinkel (1972), en el oriente antioqueño (Colombia), las plantaciones de ciprés que en algunos sitios presentan un crecimiento pobre, éste se debe a una disponibilidad deficiente del fósforo y nitrógeno.

Velez (1982), trabajando con *Eucalyptus saligna* en Colombia, encontró que el único factor que mostró una correlación significativa con el índice de sitio fue el fósforo disponible. Bowersox & Ward (1977) encontraron que calcio, nitrógeno y fósforo fueron variables importantes que determinaron la altura y el rendimiento de varias especies maderables. Truman, Humphreys & Lambert (1983), detectaron que el fósforo total y el calcio intercambiable contribuyen con el 88 % de la variación de índice de sitio para *Pinus radiata*.

El estudio realizado por Carter (1981) sobre la asociación del CaCO_3 y el CaCO_3 activo sobre el crecimiento de *Populus sp.* y *Larix siberica Ledeb*, mostró que el CaCO_3 activo (una estimación del CaCO_3 en la arcilla y partículas de sedimento fino, fue mas efectivo para la determinación del índice de sitio de varias especies de árboles que el CaCO_3 total. Según Del Valle & Escobar (1975) el máximo crecimiento en altura a los 46 años (índice de sitio 28 m – S=28 m-) de *Cordia alliodora* se alcanza en suelos con un pH de 5,5 y una capacidad de intercambio catiónico de 40 meq/100 gr de suelo en el suroeste antioqueño, en Colombia. Estas fueron las únicas propiedades químicas del suelo que correlacionaron significativamente con el sitio.

Orantes & Musálem (1982) trabajando con *Pinus hartwegii* Lind encontraron que las características dasométricas y edáficas que más íntimamente se correlacionaron fueron el incremento medio anual en altura y el contenido de materia orgánica del horizonte A.

Para Van Goor (1965/1966) el contenido de bases intercambiables en suelos tipo Latosol y Podzólicos, según la nomenclatura de la División de Pedología y Fertilidad de Suelos de Río de Janeiro, es el factor principal que limita el crecimiento de las especies

Pinus patula, *P. caribae* y *P. elliottii* y el nutrimento más importante parece ser el magnesio.

El contenido de aluminio detectado por Veiga (1977) en Sao Paulo, Brasil, en plantaciones de *Pinus elliottii* var. *Elliottii*, sobrepasó, en la mayoría de los casos, el límite de tolerancia de 0,5 meq/100 gr sin que hubiese influencia sobre la capacidad productiva del sitio. La Bastide y Van Goor (1970) encontraron que Ca y Mg son nutrimentos especialmente importantes en el crecimiento de *Pinus elliottii* y *Araucaria angustifolia*. Payandeh (1978) mostró que existen diferencia entre los patrones de crecimiento en altura de *Picea nigra* en sitios pobres y aquellos que crecen en suelos minerales.

Según Yadav (1966) el porcentaje de nutrimentos, especialmente N, P, K y Ca no parecen ejercer un papel decisivo en el crecimiento de *Shorea robusta*. Sin embargo Platteborze (1970) encontró que el fósforo parece ser un factor importante que afecta el crecimiento de *P. caribae* var. *hondurensis* en el oeste Malayo, donde suelos con menos de 30 Kg/ha de fósforo disponible pueden ser calificados como altamente deficientes y un pequeño incremento en fósforo resulta en un gran incremento en altura de los árboles.

Brito *et al.* (1980) en Venezuela, concluyeron que la distribución de la textura en el perfil y el drenaje son los elementos de más peso en la determinación de la calidad de sitio para *P. caribae* y lo interpretan como una consecuencia de la importancia de la retención de humedad y en general del balance hídrico. Isolan (1972) en Turrialba, encontró que en sitios con mal drenaje la especie no se desarrolló bien, concluyendo que el mayor impedimento al crecimiento en la zona es el drenaje del suelo y sus efectos correlacionados, capa freática y profundidad de raíces. Entre las propiedades químicas, se puede concluir que los nutrimentos que ejercen mayor influencia son magnesio y fósforo.

2.11.5 Otros métodos para estimar el índice de sitio

Otros investigadores han probado métodos diferentes a las curvas altura/edad para calcular el índice de sitio de diferentes especies.

Doolittle (1958) estudió el índice de sitio para diez especies. Llegó a la conclusión que cuando se conoce el índice de sitio de una especie para un área de terreno dada, es posible determinarlo para una o todas las demás especies, mediante el uso de ecuaciones o mapas. Carmean & Vasilevsky (1971) citado por Ortega (1986) manifiesta que ambos trabajando con rodales mixtos, determinaron los valores de índice de sitio para todas las combinaciones posibles de pares de especies y prepararon diagramas para cada par de especies. Se derivaron ecuaciones de regresión para calcular directamente el índice de sitio de una especie, basado en la medición del índice de sitio de la especie asociada. De este modo se puede estimar el índice de sitio para especies deseadas que no están presentes en el rodal, basado en la medición del índice de sitio de especies actualmente presentes en el rodal.

Farr & Harris (1979) determinaron que el promedio de índice de sitio de *Picea sitchensis* está altamente correlacionado con la latitud y con las temperaturas diarias de la estación de crecimiento, expresadas en grados, y detectó que el índice de sitio decrece hacia el norte a razón de un metro por grado de latitud. Schiller (1982) determinó que los árboles de *P. halepensis* que crecen sobre marga tienen un mejor comportamiento que aquellos que están creciendo sobre dolomita con marga y son también superiores a aquellos que crecen sobre piedra caliza. Bonnor & Morrier (1981) probaron un método de clasificar sitios mediante fotointerpretación y datos de campo, en el cual por medio de fotografías aéreas se elaboró un mapa de tipos de bosque. Cada área delimitada se muestreó para dar una idea del volumen de cada área. Una prueba posterior demostró que el método tiene una precisión de 76 %. Tajchman & Wiant (1983) sugieren incluir la distribución actual de biomasa en los estudios de índice de sitio, ya que la calidad de sitio debe ser expresada en unidades de rendimiento.

2.12. El crecimiento de los árboles

2.12.1 Crecimiento

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal está representado por su respectivo desarrollo, es decir, por el aumento en sus dimensiones: altura, diámetro, área basal y volumen. Este crecimiento, considerado en un período de tiempo determinado se denomina incremento, el cual representa un aumento en la cantidad de tejido acumulado de floema y xilema en forma de corteza y madera respectivamente (Klepac, 1983).

De acuerdo con Zeide (1993), el crecimiento resulta de la interacción de dos fuerzas oppositoras: un componente positivo manifestado por la expansión de un organismo que tiende hacia la multiplicación exponencial, este componente está asociado con el metabolismo constructivo o anabolismo. Un componente opositor que representa las restricciones impuestas por factores externos como la competencia por recursos, respiración, estrés, es decir el catabolismo.

En el ámbito forestal, el crecimiento es considerado como una función que depende directamente de los factores del sitio que se encuentran interactuando en el rodal, formulado en términos de tasa de crecimiento e integrada en el tiempo. La forma general de dicha función en un tiempo dado es:

Crecimiento = f (especie, edad, densidad, calidad de sitio).

Alder (1980), considera que el crecimiento es un proceso biológico que involucra dos procesos: uno que impulsa al organismo a aumentar de tamaño mediante la acumulación de la energía bioquímica y, el otro, que frena el crecimiento mediante el gasto de energía para realizar sus funciones fisiológicas. Estos dos procesos son conocidos como los procesos anabólicos y catabólicos respectivamente.

Louman (2001) define al crecimiento de un árbol como el aumento de tamaño en el tiempo. Este se puede expresar en términos de diámetro, altura, área basal o volumen. A la magnitud del crecimiento se denomina incremento. El crecimiento es el proceso principal que se pretende influir con la silvicultura pues conlleva al producto deseado: madera de ciertas dimensiones y cierta calidad. El crecimiento implica un estado inicial

mensurable y cambios en ese estado con el paso del tiempo. A partir de ahí se puede hablar de incremento total (diferencia entre un estado en un momento dado y el estado inicial), incremento corriente anual (incremento del último año de medición, ICA), incremento medio anual (promedio por año desde el año 0, IMA) o periodo anual (promedio por año durante un cierto periodo, IPA), o incremento relativo (en porcentajes del tamaño total promedio entre el comienzo y final del periodo de medición del crecimiento, IR).

Así mismo indica que para describir el crecimiento sobre el tiempo se suele emplear una curva sigmoidea, la cual tiene más o menos la misma forma para cualquier organismo vivo. En producción forestal, esta curva se suele aplicar para analizar el aumento del diámetro, la altura, área basal o volumen de madera.

Para el aumento de volumen el responsable es el cambium que se define como la zona reproductiva localizada bajo la corteza, que se encuentra en el perímetro del fuste, Tesch (1980/1981). Esta zona es responsable del crecimiento diámetro del árbol y como todo crecimiento, está influenciado por factores físicos y fisiológicos como temperatura, luz, localización geográfica de la planta, agua, contenido de auxinas y tasa de fotosíntesis, Paliwal & Prasad (1970). El periodo de más alta actividad del cambium coincide con el periodo de más alta producción fotosintética, Auten (1945). Sin embargo Lojan (1967) indica que a pesar de esa estrecha relación que existe, el inicio y fin de sus respectivos periodos no coincide con exactitud.

2.12.2 Anillos de crecimiento

La manifestación de las variaciones periódicas en el crecimiento del cambium se llama anillo de crecimiento y está definido por una capa formada por el crecimiento concéntrico de la madera e identificable por las fluctuaciones de ciertas características de los tejidos formados. En coníferas, estas fluctuaciones tienen un efecto sobre el tamaño de la vacuola de la fibra de traqueada y el grosor de su pared. En las latifoliadas estas variaciones generalmente afectan el tamaño y número de vasos, Trenard (1982).

Estudios en un ámbito amplio de ambientes forestales han mostrado que las variaciones en la amplitud de los anillos del árbol están bien correlacionados con variaciones en factores macroclimáticos, (Brubaker, 1980). El patrón de anillos anuales es causado por

la formación de un crecimiento vigoroso de una pared de células delgadas en la madera temprana, conforme el tiempo progresa el crecimiento es lento y en la madera tardía la pared de células es mas gruesa (Mirov, 1967).

La mayoría de árboles del bosque húmedo no muestran anillos de crecimiento anuales tal como sucede en zonas templadas (Alvim, 1964), aunque hay veces en que las especies caducifolias no presentan anillos y veces en que las perennifolias si (Lojan, 1967). En las perennifolias a menudo ocurren anomalías, causadas por condiciones ambientales adversas tales como anillos discontinuos, anillos perdidos, anillos extremadamente oscuros (Mirov, 1967). Además no todos los anillos son a anuales, algunos años un árbol puede formar dos anillos y en otros años puede no formar ninguno, al menos no alrededor de toda la circunferencia, ya que cuando la humedad llega a alcanzar los límites de tolerancia los anillos de crecimiento se reducen o se pierden (McGinnies, 1963).

2.12.3 Factores que afectan el crecimiento de los árboles

El árbol modifica su crecimiento en respuesta a diversos factores: clima, ambiente, factores biológicos internos (como la procedencia) y la intervención humana sobre el árbol o el rodal (Trenard, 1982). Dentro del clima los factores que son de gran importancia para el crecimiento de los árboles son la precipitación, la temperatura y la luz (Glock, 1941), uno o más de estos factores puede ejercer mayor influencia que los otros y convertirse en limitante del crecimiento. Entre las características del ambiente, el suelo es la más importante al regular el suplemento de agua y nutrientes. Entre los factores biológicos internos, la edad del árbol tiene un marcado efecto al reducir el crecimiento y la aplicación de pesticidas lo pueden reducir (Trenard, 1982).

Estudio realizado en Wisconsin en un rodal de *Pinus resinosa* se determinó que el crecimiento en diámetro de árboles individuales es un proceso sumamente intermitente, (Kozlowski & Peterson, 1963). Mientras en el trópico las especies siempre verdes continúan creciendo a un ritmo mayor durante el periodo lluvioso y menor en el periodo seco, las caducifolias dejan de crecer en cierta parte del año (periodo de reposo) y el periodo de máximo crecimiento anual coincide más o menos con el periodo lluvioso (Lojan, 1965).

2.12.4 Factores fundamentales que determinan el crecimiento

- A. **Factores climáticos:** La temperatura del aire, la humedad, la energía radiante, precipitación, viento, etc.
- B. **Factores Edáficos:** la profundidad efectiva, las propiedades físico químicas, la humedad, el PH, los microorganismos etc.
- C. **Factores topográficos:** pendiente y forma de relieve altitud y exposición.
- D. **Factores de competencia:** Otros árboles, vegetación menor, animales etc.

Los factores anteriores pueden ser descritos en términos de ciertas características numéricas específicas. Por ejemplo oferta de agua disponible bajo el suelo, profundidad efectiva de la raíz, acumulación de humus en el horizonte A, nivel del fósforo disponible en el suelo y así sucesivamente para cada factor, en realidad todos los factores intervienen por si solos en una gran interacción dando como resultado un crecimiento potencial específico (LIVERY, 1986).

Si se intenta hacer la descripción de un área a través de un muestreo, se observará que probablemente no exista ningún punto igual a otro. La naturaleza se constituye a partir de cambios a veces graduales o a veces abruptos pero que con el correr del tiempo y los procesos de dinámica ambiental se suavizan espacialmente.

El patrón de variación espacial puede ser modelado como una gran tendencia de variaciones direccionales graduales y pequeñas perturbaciones de orden local, más bien aleatorias, las grandes tendencias surgen como respuesta al conjunto de interacciones más relevantes para explicar el fenómeno, en cambio los ruidos locales, obedecen a la presencia de otros factores, que se apartan de la gran tendencia y que gravitan en la respuesta específica en ese punto.

En general los factores de sitio pueden tener una variación espacial con un patrón característico que hace que existan interdependencias entre ellos, Cuando existen discontinuidades espaciales en uno o en varios de los factores de sitio, la dinámica natural se encarga de suavizar esos espacios creando zonas de transición entre un sitio y otro. (Corlovan, P., Gouet, R. y Reyes, C. 1998).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

La Empresa Manejo Forestal Sostenible “Bosques Amazónicos” SAC., posee un área de 16 mil ha ubicada en el Caserío de Agua Blanca, Distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo, Región de Ucayali, de las cuales tiene instalado 1000 ha de plantaciones. La temperatura promedio es de 25°C, con una precipitación anual promedio de 1500 mm, presentando una época lluviosa y otra seca (pero con esporádicas lluvias). Según el sistema Holdridge (1978) el área de estudio se encuentra dentro de las zonas ecológicas de bosque húmedo tropical (bh-t) a bosque húmedo premontano tropical (bh-pt). Los suelos son de origen sedimentario, de textura arcillosa a arcillo-arenosa, drenaje moderado a pobre, pH de 4.3 a 5.3 (fuertemente ácido).

3.2 Clima

El clima de esta zona deducida a partir de la información proveniente Estación meteorológica agrícola principal de la UNU de la ciudad de Pucallpa, se caracteriza en términos generales por ser cálido y húmedo.

Cuadro 1. Datos meteorológicos de la zona de Pucallpa, Perú. (Promedio 25 años)

Meses del año	Temperatura C				Horas de sol	H.R	Evap. Mm	ETP mm	PP Mm M
	máxima	mínima	media	oscilación					
Enero	31,1	20,8	25,9	10,2	130,8	85	51,9	127,7	142,2
Febrero	30,6	20,5	25,7	10,1	109,2	86	38,1	105,3	197,2
Marzo	30,7	20,7	25,6	10,1	117,4	86	39,2	132,2	218,1
Abril	31,1	20,6	25,8	10,4	127,7	86	40,8	156,8	183,4
Mayo	30,8	20,5	25,7	10,3	163,7	86	44,2	158,9	101,6
Junio	30,2	19,1	24,8	11,2	162,1	86	44,1	155,6	84,2
Julio	30,6	18,4	24,5	12,2	200,9	83	51,1	189,3	54,4
Agosto	31,7	18,8	25,2	12,2	183,1	82	65,1	174,8	61,1
Setiembre	32,1	19,9	26,1	12,2	171,3	82	56,7	168,1	106,3
Octubre	35,3	20,4	26,3	11,7	167,2	82	53,1	165,1	126,4
Noviembre	31,1	20,7	26,1	10,7	140,7	88	43,5	138,1	187,3
Diciembre	31,6	21,1	26,3	10,5	143,1	83	50,7	141,1	160,7
Promedio	31,1	20,1	25,7	11		85			
TOTAL					1817,2		578,5	1813	1623

FUENTE: Estación meteorológica agrícola principal de la UNU.

✓ Temperatura

En el cuadro 1, el comportamiento térmico, la temperatura promedio mensual es de 25.7 °C. Las temperaturas máximas más altas se presentan en los meses de setiembre y octubre; las temperaturas mínimas más bajas en febrero, junio y julio. La mayor oscilación entre ambas temperaturas se presenta en los meses julio, agosto y setiembre de 12.2°C y las de menor rango en los meses de febrero y marzo de 10. 1°C.

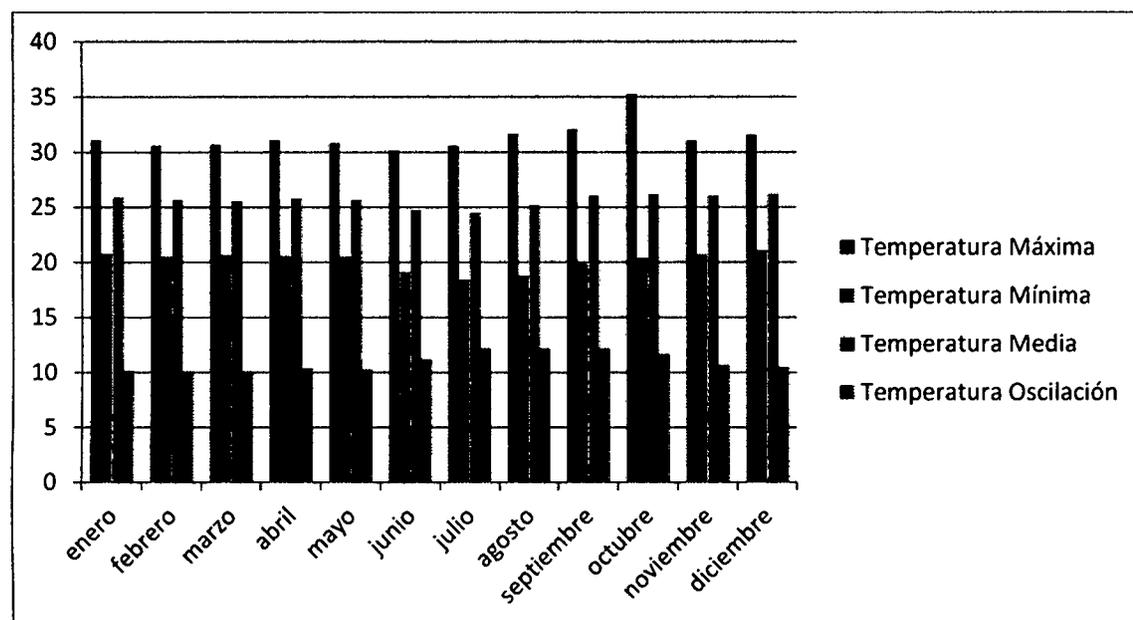


Figura 1. Temperaturas promedio

✓ Precipitación

La distribución de las lluvias en Pucallpa es estacional, dividiéndose el régimen en dos estaciones lluviosas, una seca y otra semiseca. La primera estación lluviosa está comprendida entre enero a abril, llamado verano astral, la estación seca entre mayo a agosto, llamado invierno astral. La segunda estación lluviosa comprende la estación de la primavera, octubre, noviembre y parte de diciembre.

La estación semiseca ocurre entre mediados de diciembre y del mes de enero, que en la zona se denomina “verano del niño” posiblemente sea ocasionado por el cambio de posición de la tierra al iniciarse el solsticio de verano en el hemisferio sur.

✓ Evapotranspiración potencial

En el mismo cuadro 1, la mayor evapotranspiración se presenta en los meses de mayor luminosidad de julio, agosto, setiembre y octubre con 189.3, 174.8, 168.1 y 165.1 milímetros mensuales respectivamente.

Esto hace que en estos tres meses la evapotranspiración sea mayor que la precipitación pluviométrica produciéndose un déficit de agua que próximamente requerirá la aplicación de técnicas de conservación de agua del suelo y de sistemas de riego adicional para equilibrar el coeficiente hídrico de los cultivos.

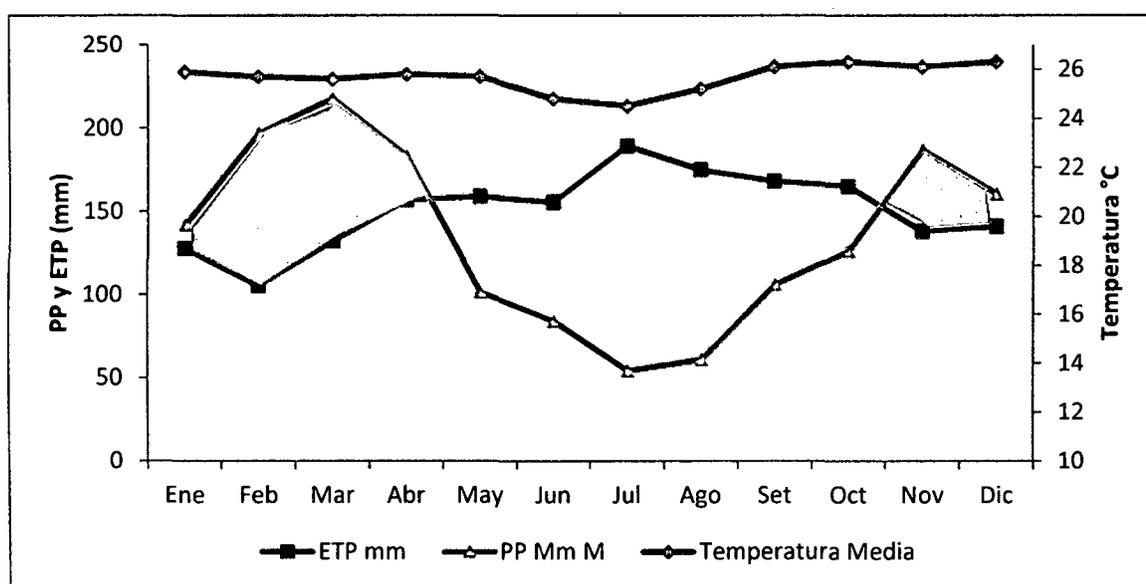


Figura 2. Evapotranspiración potencial promedio

✓ Horas de sol

En el cuadro 1, en el promedio de 25 años, Pucallpa cuenta con 1817.8 horas de sol anual; los meses de menor horas de sol son febrero y marzo con 109.2 y 117.4 horas respectivamente. Inversamente, los meses de julio, agosto y setiembre son los meses de mayor horas de sol con 200.9, 183.1 y 171.30 horas, respectivamente.

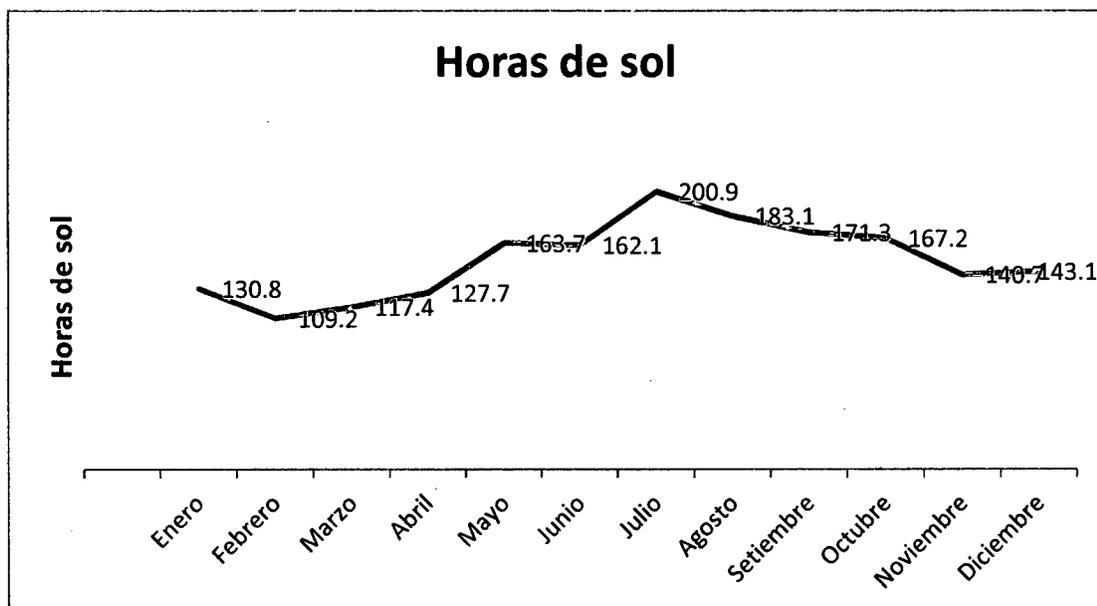


Figura 3. Horas de sol

✓ **Humedad relativa**

En el mismo cuadro 1, se observa que durante todo el año esta se mantiene en un nivel alto; sin embargo, por la distribución de las precipitaciones la humedad relativa tiene un ciclo semejante, la mayor humedad en el aire se tiene en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y junio, los meses de agosto, setiembre y octubre son los meses más secos.

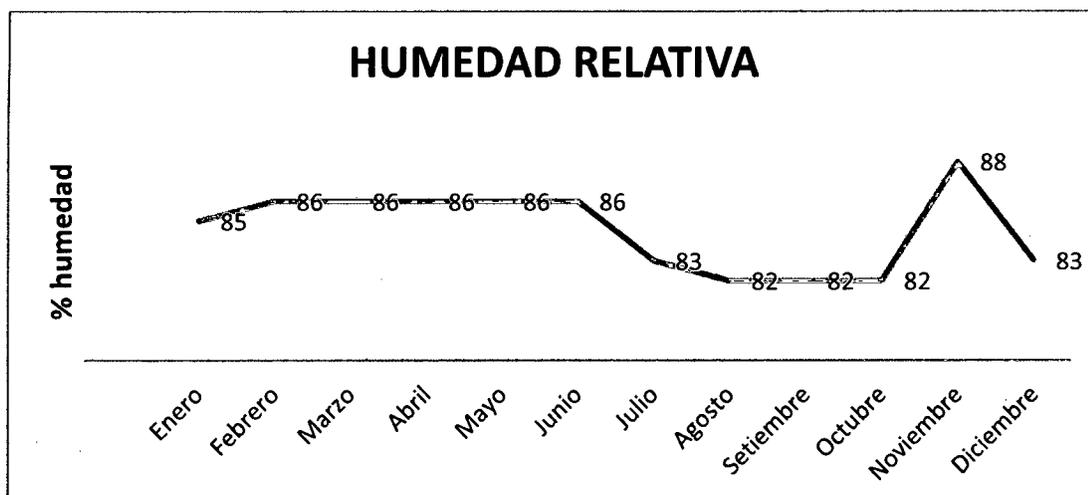


Figura 4. Humedad relativa

✓ Evaporación

A través del cuadro 1, se observa que el periodo de mayor evaporación ocurre entre los meses de agosto, setiembre y octubre, debido a que en estos meses el espacio aéreo se encuentra despejado con escasa presencia de nubes.

Las menores pérdidas por evaporación ocurren en los meses de febrero, marzo y abril donde el cielo se encuentra cubierto con nubes densas y de diferente grado de opacidad y de colores de diferentes tonalidades de gris debido a las cargas altas de vapor de agua.

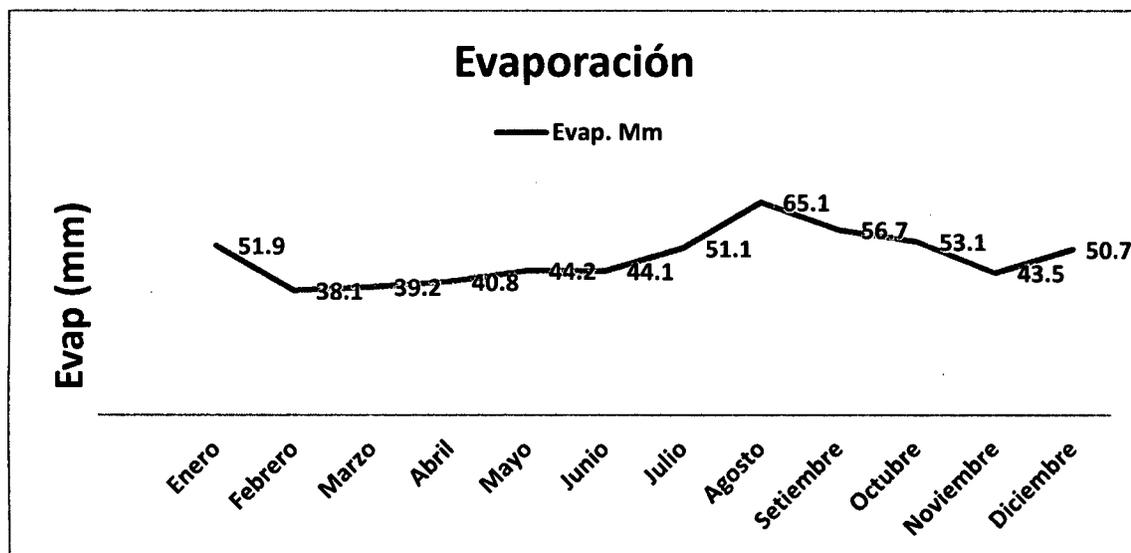


Figura 5. Evaporación

3.3 Materiales

3.3.1 Materiales, equipos y herramientas

- ✓ Regla telescópica.
- ✓ Cinta métrica.
- ✓ Wincha de 50 m.
- ✓ Muestreador de suelo.
- ✓ Bolsa de 1 kg.
- ✓ Equipo de cómputo.
- ✓ Impresora.
- ✓ Cámara fotográfica digital.
- ✓ Pintura spray color rojo.
- ✓ Plumón indeleble.
- ✓ Libreta de apuntes.
- ✓ Machete.

3.3.2 Material experimental

El material experimental es la plantación de *Dipteryx odorata* de la Empresa SFM – BAM SAC, la cual tiene cuatro años de edad y fue realizada con plantones producido en vivero. Esta plantación se encuentra ubicada en suelo del tipo acrisol con una topografía variada, que presenta ondulaciones leves y planas.

3.4 Diseño experimental

Se utilizó el diseño estadístico de bloques completamente al azar, con tres repeticiones.

3.5 Distribución de parcelas de evaluación

Debido a la variabilidad topográfica del área de plantación y de acuerdo al diseño estadístico se establecieron tres parcelas de medición, cuya evaluación se realizó en base a la metodología del sistema MIRASILV (Ugalde, 2003). Cada parcela estará compuesta de 20 árboles (unidad experimental) la misma que es sugerido por Wraihgt (1964) citado por Piotto (2001) quien comparó el comportamiento de parcelas de 20 y 200 árboles, demostrando que ambos tipos de parcelas daban estimaciones igualmente válidas acerca del crecimiento relativo en altura y diámetro.

3.6 Variables a evaluar y procesamiento de datos

En el cuadro 2 se muestra las variables que fueron evaluadas. Las alturas de los árboles fueron evaluadas con regla telescópica y el Dap (diámetro a la altura del pecho) con cinta diamétrica. Los datos se procesaron en un PC compatible, mediante el programa SAS (Statistics Analysis System) y el manejador de datos MIRASILV, Ugalde (2003).

Cuadro 2. Parámetros evaluados

PARAMETROS	UNIDAD	DESCRIPCION
Dap	cm.	Diámetro a la altura del pecho (1.3 m) medido con cinta diamétrica.
Altura total	m.	La altura se mide hasta la cima.
Estado fitosanitario	Código	Observación de la salubridad del árbol. Sistema Mirasilv.

El total de individuos evaluados fueron 60 árboles.

3.6.1 Parámetros de medición:

Con la información obtenida en el anterior cuadro se calculó los siguientes parámetros:

- A. **Parámetros de crecimiento:** Altura promedio (m), diámetro (cm), área basal promedio (m^2), altura dominante (m) y supervivencia (%).
- B. **Parámetros de productividad:** Área basal/ha (m^2/ha), volumen/ha (m^3), e incrementos medios anuales por hectárea para altura, diámetro, área basal y volumen (m^3).

3.7 Muestreo y análisis de suelo

3.7.1 Fertilidad del suelo a 20 cm de profundidad

Para determinar la fertilidad del suelo en el crecimiento de la plantación de *Dipteryx odorata* establecida a campo abierto, en un suelo degradado, en cada una de las parcelas de medición se realizó el muestreo de suelo aun nivel de profundidad de 20 cm. En cada parcela se obtuvo 1 kg de suelo, después de muestrear 5 puntos diferentes, tratando de abarcar toda el área de la parcela con el fin de homogenizar el muestreo. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelo de la Estación Experimental Agraria Pucallpa - INIA, estableciendo la caracterización de los elementos P, K, Ca, Mg y el nivel de pH de acuerdo a la metodología de análisis establecida por el laboratorio mencionado. Asimismo mediante el programa PIAs se determinó el análisis químico y físico del suelo en cada una de las parcelas muestreadas. Finalmente se realizó una prueba estadística de coeficiente de correlación Pearson entre elementos químicos del suelo con el crecimiento de la especie de *Dipteryx*, para determinar si estas influyen en su comportamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4. Plantación de *Dipteryx odorata* de 4 años a campo abierto

4.1 Crecimiento

En el cuadro 3 se muestra el resumen dasométrico de los resultados de las variables de crecimiento obtenido de las tres parcelas de evaluación, mediante programa MIRASILV.

Cuadro 3. Promedio de las variables de crecimiento de *Dipteryx odorata* en plantación a campo abierto.

PARCELA	SUPERV. (%)	DAP (cm)	ALTURA (m)	ALTURA DOMINANTE (m)	IMA DAP (cm/año)	IMA ALTURA (m/año)
1 (Isula)	95	6.0	6.23	7.45	1.4	1.38
2 (Yangunturo)	100	8.4	9.01	10.80	2.0	2.00
3 (Shapajal)	100	7.4	8.66	10.05	1.9	1.92

4.1.1 Diámetro a la altura del pecho (DAP)

En el cuadro 3 se observa que el mayor (DAP) promedio se obtuvo en la parcela 2, con 8.4 cm de diámetro y un incremento medio anual en (DAP) de 2.0 cm/año. Comparando con una plantación mixta instalado en suelo ácido, a los 3.8 años presenta un diámetro y un incremento medio anual en (DAP) de 8.0 cm y 2.2 cm/año respectivamente. También comparando una plantación de edad de 3.6 años, asociado con caoba, tahuarí, quillobordon, tornillo, más un kilo de mantillo, 200 gr de roca fosfórica, presenta un DAP e IMADAP de 9.68 cm y 2.6 cm/año, respectivamente. Mientras que en un sistema silvopastoril, suelo ácido, asociado con centrosema, más 150 gr de roca fosfórica/planta, distanciamiento 10 x 10 m, a los 6.6 años presenta un diámetro y un incremento medio anual de 11.2 cm y 1.7 cm/año respectivamente.

El menor (DAP) se obtuvo en la parcela 1 con un diámetro de 6.0 cm y un incremento medio anual en DAP de 1.4 cm/año.

Es importante indicar que esta especie ecológicamente está considerada dentro del grupo de las esciofitas, en el bosque tiene un incremento medio anual en DAP de 0.66 cm/año.

4.1.2 Altura total y altura dominante

En el mismo cuadro 3, se observa que *Dipteryx* tiene el mayor crecimiento en la parcela 2, teniendo una altura promedio y una altura dominante de 9.01 m y 10.80 m respectivamente; y un incremento medio anual en Altura de 2.00 m/año. Y la menor altura presenta en la parcela 1, teniendo 6.23 m; una altura dominante de 7.45 m; y un incremento medio anual en altura de 1.38 m/año. Comparando con un sistema silvopastoril, a la edad de 6.6 años, presenta una altura promedio de 8.92 m; y un IMA en altura de 1.42 m/año.

En el cuadro 04 se muestra el resumen del ANVA el cual indica que a nivel de tratamiento estadísticamente hay una alta significancia de **<.0001**.

Cuadro 4. ANVA de los bloques y tratamientos en altura de *Dipteryx*

Fuente	Gl	Sumat.Cuad.	C.M.	F Calc.	F. Tab.
Tratamientos	2	89.80741242	44.90370621	35.93	<.0001
Repeticiones	19	10.82623277	0.56980172	0.46	0.9648
Error	37	46.2443209	1.2498465		
Total	58	146.8779661			

R²	Coef. Var	desv. estándar.	Altura Med.
0.685151	13.98731	1.117965	7.992712

Mediante prueba de Duncan, como se observa en el cuadro 5, se observa que en la altura total no existe diferencia significativa entre los tratamientos al nivel 0.05.

Cuadro 5. Comparación de medias del tratamiento de altura

DUNCAN	MEAN	N	TRATAMIENTO
A	9.4900	2	17
A	8.4967	3	13
A	8.4733	3	1
A	8.2900	3	12
A	8.2867	3	7
A	8.2700	3	3
A	8.1833	3	16
A	8.1600	3	9
A	8.0433	3	11
A	8.0133	3	4
A	7.8733	3	19
A	7.8567	3	2
A	7.8100	3	10
A	7.7833	3	14
A	7.6633	3	18
A	7.6567	3	8
A	7.5433	3	6
A	7.5400	3	15
A	7.5067	3	20
A	7.4133	3	5

Las medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (P 0.05). Prueba de Duncan

4.2 Productividad

En el cuadro 6 se muestra el resumen dasométrico de los parámetros de productividad obtenido para las tres parcelas de evaluación.

Cuadro 6. Promedio de las variables de productividad de *Dipteryx* en plantación a campo abierto.

PARCELA	AREA BASAL (m ² /ha)	VOLUMEN (m ³ /ha)	IMA VOLUMEN (m ³ /ha/año)
1 (Isula)	3.02	8.78	1.95
2 (Yangunturo)	6.13	25.80	5.73
3 (Shapajal)	4.83	19.42	4.31

4.2.1 Área basal

El cuadro 6 indica que *Dipteryx* presenta la mayor área basal en la parcela dos, con 6.13 m²/ha. El menor resultado en área basal se obtuvo en la parcela uno, con 3.02 m²/ha. A comparación con una plantación de edad de 3.6 años, instalado en plantación mixta, suelo ácido, distancia entre árboles de 5 x 6 m, presenta un área basal de 2.94 m²/ha. Mientras en una plantación de edad de 6.8 años, distanciamiento 5 x 5 m, presenta un área basal de 5.30 m²/ha.

4.2.2 Volumen

En el mismo cuadro el mayor volumen se obtuvo en la parcela dos, con 25.80 m³/ha, y el incremento medio anual en volumen de 5.73 m³/ha/año. El menor volumen se obtuvo en la parcela uno, con 8.78 m³/ha, y un IMA en volumen de 1.95 m³/ha/año. Comparando con una plantación de 3.6 años, plantación mixta, suelo ácido, distanciamiento de 5 x 6 m, presenta un volumen e IMA en volumen de 11.08 m³/ha y 3.02 m³/ha/año, respectivamente. A la edad de 6.8 años, distanciamiento 5 x 5 m, presenta un volumen e IMA en volumen de 26.70 m³/ha y 3.90 m³/ha/año, respectivamente.

4.3 Descripción morfológica y caracterización física y química del suelo en estudio

Con la información registrado en el campo y con los resultados de los análisis de suelo realizados en el laboratorio de suelos y tejidos vegetales de la Estación Experimental Agraria Pucallpa, de acuerdo a su metodología, que se consigna en los cuadros siguientes, en este acápite se presenta la descripción morfológica y la caracterización física y química de los suelos de las parcelas de estudio.

4.3.1 Suelo de la parcela 1: "Isula"

Cuadro 7. Análisis textural

ANALISIS TEXTURAL					
Profundidad (cm)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural	Densidad Aparente (gr/cm ³)
0-20	44.24	27.20	28.56	Fr. Arcilloso	1.37

Laboratorio de análisis de suelo de la EEAP - INIA

Cuadro 8. Análisis de fertilidad

	ANÁLISIS DE FERTILIDAD								
	pH	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	Al (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	K (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	Ca (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	Mg (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	Bases Totales (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)
Valores	4.66	2.30	0.10	4.31	5.90	0.21	1.12	0.20	1.52
Interpretac.	Muy Fuertem. ácido	Bajo	Medio	Muy bajo	Muy alto	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo

Laboratorio de análisis de suelo de la EEAP - INIA

4.3.1.1 Caracterización física y química

La caracterización física del suelo de esta parcela nos indica que tiene una densidad aparente de 1.37 gr/cm³, debido a que presenta 44.24 % de contenido de arena, motivo por el cual hay una baja disponibilidad de agua para la plantación de Shihuahuaco, siendo de (0.12 cm³ agua/cm³ suelo).

En cuanto a las propiedades químicas, en la capa arable (20 cm) se caracteriza por presentar una clase textural franco-arcilloso (Fr.Ar), predominando la fracción arena (44.24 %), seguido de la fracción limo (28.56 %), y un (27.20 %) de la fracción arcilla, ver anexo 9.

Desde el punto de vista de fertilidad, la capa arable es de reacción muy fuertemente ácido (pH 4.66), este valor se debe a la presencia alta de Al que satura con 5.90 cmol⁽⁺⁾/Lt de complejo de cambio debido a la muy baja presencia de Ca la cual presenta 1.12 cmol⁽⁺⁾/Lt.

El contenido de materia orgánica (MO) en la capa arable es de 2.30 % considerado de nivel bajo, teniendo 62.10 TM/ha y que en términos de nitrógeno disponible representa aproximadamente 77.62 kg/ha.

El contenido de fósforo disponible en la capa arable muestra tan solo 4.31 ppm de suelo, que se considera de nivel muy bajo, que en términos prácticos significa 26.77 kg de P₂O₅/ha; en términos generales tomando en cuenta los resultados obtenidos en la capa

arable no existe suficiente P para satisfacer los requerimientos nutritivos de la especie shihuahuaco.

El contenido de potasio en términos de K_2O derivados a partir del catión K^+ es de 265.36 kg/ha en la capa arable, que se considera de nivel medio.

La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) en la capa arable, que resulta de la suma de cationes cambiables es de 7.43 $cmol^{(+)}/kg$ de suelo considerado generalmente de nivel bajo debido a que el contenido de MO su nivel es bajo (2.30 %) y a la fracción arcilla (27.20 %) que debe ser el grupo de las Kaolinitas. En cuanto en la relación de los cationes cambiables, el catión que predomina es el Ca^{2+} (5.66 $cmol^{(+)}/kg$ de suelo), seguido del catión Mg^{2+} (0.94 $cmol^{(+)}/kg$ de suelo), resultado que guarda relación con el bajo porcentaje de saturación de bases (PSB) que alcanza a un 20.59 %.

4.3.2 Suelo de la parcela 2: “Yangunturo”

Cuadro 9. Análisis textural

ANALISIS TEXTURAL					
Profundidad (cm)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural	Densidad Aparente (gr/cm ³)
0-20	30.24	41.20	28.56	Arcilla	1.28

Laboratorio de análisis de suelo de la EEAP - INIA

Cuadro 10. Análisis de fertilidad

	ANALISIS DE FERTILIDAD								
	pH	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	Al ($cmol^{(+)}/Lt$)	K ($cmol^{(+)}/Lt$)	Ca ($cmol^{(+)}/Lt$)	Mg ($cmol^{(+)}/Lt$)	Bases Totales ($cmol^{(+)}/Lt$)
Valores	4.76	1.78	0.08	4.69	9.20	0.24	1.72	0.13	2.08
Interpretac.	Muy Fuertemen. ácido	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy alto	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo

Laboratorio de análisis de suelo de la EEAP - INIA

4.3.2.1 Caracterización física y química

La caracterización física del suelo de esta parcela nos indica que tiene una densidad aparente de 1.28 gr/cm^3 , debido a que presenta 41.20 % de contenido de arcilla, motivo por el cual hay una alta disponibilidad de agua para la plantación de Shihuahuaco, siendo de ($0.14 \text{ cm}^3 \text{ agua/cm}^3 \text{ suelo}$), existiendo una alta concentración de electrolitos.

Las propiedades químicas de este suelo en la capa arable (20 cm) se caracteriza por presentar una clase textural arcillosa (Ar), predominando la fracción arcilla (41.20 %), seguido de la fracción arena (30.24 %), y un (28.56 %) de la fracción limo.

Desde el punto de vista de fertilidad, la capa arable es de reacción muy fuertemente ácido (pH 4.76), este valor se debe a la presencia alta de Al que satura con $9.20 \text{ cmol}^{(+)}\text{/Lt}$ de complejo de cambio debido a la muy baja presencia de Ca la cual presenta $1.72 \text{ cmol}^{(+)}\text{/Lt}$.

El contenido de materia orgánica (MO) en la capa arable es de 1.78 % considerado de nivel bajo, llegando 46.28 TM/ha y que en términos de nitrógeno disponible representa aproximadamente 57.85 kg/ha .

El contenido de fósforo disponible en la capa arable muestra tan solo 4.69 ppm de suelo, que se considera de nivel muy bajo, que en términos prácticos significa $28.05 \text{ kg de P}_2\text{O}_5\text{/ha}$; en términos generales tomando en cuenta los resultados obtenidos en la capa arable no existe suficiente P para satisfacer los requerimientos nutritivos de la especie shihuahuaco.

El contenido de potasio en términos de K_2O derivados a partir del catión K^+ es de 292.03 kg/ha en la capa arable, que se considera de nivel medio.

La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) en la capa arable, que resulta de la suma de cationes cambiables es de $11.29 \text{ cmol}^{(+)}\text{/kg}$ de suelo considerado generalmente de nivel bajo debido a que el contenido de MO su nivel es bajo (1.78 %) y a la fracción arcilla (41.20 %) que debe ser el grupo de las Kaolinitas. En cuanto en la relación de los cationes cambiables, el catión que predomina es el Ca^{2+} ($13.04 \text{ cmol}^{(+)}\text{/kg}$ de suelo), seguido del catión Mg^{2+} ($0.56 \text{ cmol}^{(+)}\text{/kg}$ de suelo), resultado que

guarda relación con el bajo porcentaje de saturación de bases (PSB) que alcanza un 18.51 %.

4.3.3 Suelo de la parcela 3: “Shapajal”

Cuadro 11. Análisis textural

ANALISIS TEXTURAL					
Profundidad (cm)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural	Densidad Aparente (gr/cm ³)
0-20	32.24	39.20	28.56	Fr. Arcilloso	1.29

Laboratorio de análisis de suelo de la EEAP - INIA

Cuadro 12. Análisis de fertilidad

	ANALISIS DE FERTILIDAD								
	pH	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	Al (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	K (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	Ca (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	Mg (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)	Bases Totales (cmol ⁽⁺⁾ /Lt)
Valores	4.70	1.81	0.08	3.81	8.90	0.26	1.92	0.20	2.37
Interpretac.	Muy Fuertemen. ácido	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy alto	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo

Laboratorio de análisis de suelo de la EEAP - INIA

4.3.3.1 Caracterización física y química

La caracterización física del suelo de esta parcela nos indica que tiene una densidad aparente de 1.29 gr/cm³, debido a que presenta 39.20 % de contenido de arcilla, motivo por el cual hay una baja disponibilidad de agua para la plantación de Shihuahuaco, siendo de (0.13 cm³ agua/cm³ suelo).

La caracterización química de este suelo en la capa arable (20 cm) se caracteriza por presentar una clase textural franco-arcilloso (Fr.Ar), en el cual predomina la fracción arcilla con 39.20 %, seguido de la fracción arena (32.24 %), y (28.56 %) de la fracción limo.

La fertilidad del suelo a los 20 cm de profundidad, es de reacción muy fuertemente ácido (pH 4.70), este valor se debe a la presencia alta de Al que satura con 8.90 $\text{cmol}^{(+)}\text{/Lt}$ de complejo de cambio debido a la muy baja presencia de Ca la cual presenta 1.92 $\text{cmol}^{(+)}\text{/Lt}$.

El contenido de materia orgánica (MO) en la capa arable es de 1.81 % considerado de nivel bajo, llegando 47.06 TM/ha y que en términos de nitrógeno disponible representa aproximadamente 58.82 kg/ha.

El contenido de fósforo disponible en la capa arable muestra tan solo 3.81 ppm de suelo, que se considera de nivel muy bajo, que en términos prácticos significa 22.78 kg de $\text{P}_2\text{O}_5\text{/ha}$; en términos generales tomando en cuenta los resultados obtenidos en la capa arable no existe suficiente P para satisfacer los requerimientos nutritivos de la especie shihuahuaco.

El contenido de potasio en términos de K_2O derivados a partir del catión K^+ es de 316.37 kg/ha en la capa arable, que se considera de nivel medio.

La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) en la capa arable, que resulta de la suma de cationes cambiables es de 11.28 $\text{cmol}^{(+)}\text{/kg}$ de suelo considerado generalmente de nivel bajo debido a que el contenido de MO su nivel es bajo (1.81 %) y a la fracción arcilla (39.20 %) que debe ser el grupo de las Kaolinitas. En cuanto en la relación de los cationes cambiables, es catión que predomina es el Ca^{2+} (9.71 $\text{cmol}^{(+)}\text{/kg}$ de suelo), seguido del catión Mg^{2+} (0.77 $\text{cmol}^{(+)}\text{/kg}$ de suelo), resultado que guarda relación con el bajo porcentaje de saturación de bases (PSB) que alcanza a un 21.10 %.

4.4 Contenido de materia orgánica de las tres parcelas

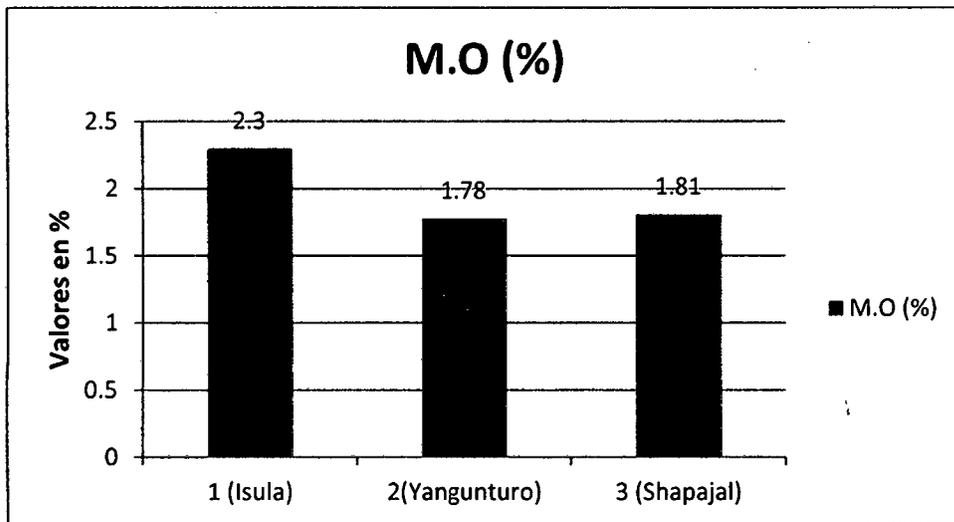


Figura 6. Contenido de materia orgánica por parcelas estudiadas

Los valores obtenidos del estudio con respecto a la materia orgánica están ordenados por el número de parcela para observar cuánto está influyendo la materia orgánica. En la figura 7 se puede observar que la mayor concentración de materia orgánica se encuentra en parcela 1 (Isula) y la de menor valor se encuentra en la parcela 2 (Yangunturo), pero haciendo una comparación con respecto a la altura se observa que no es un factor influyente y esto se observa en las figuras 6.

4.5 pH de las tres parcelas

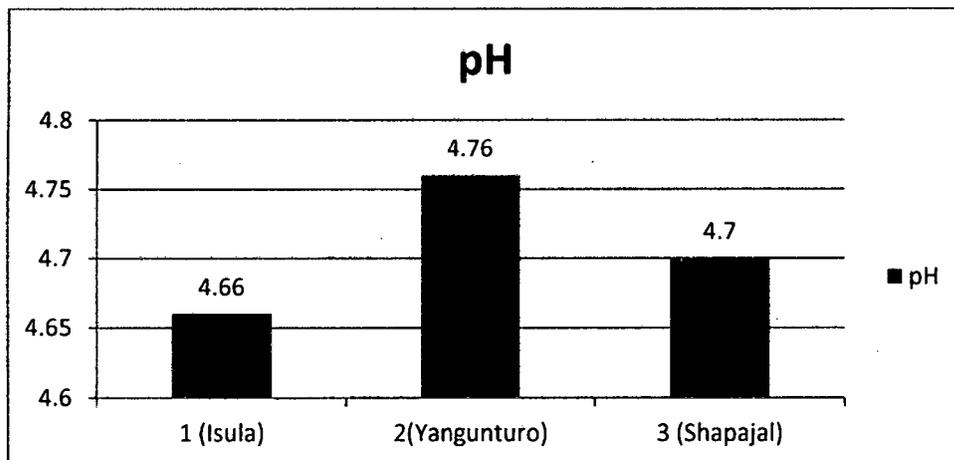


Figura 7. pH en las tres parcelas

Al igual que en el anterior los valores obtenidos del estudio se caracterizan por presentar reacciones fuertemente ácidas. La especie indicada muestra que las concentraciones de pH se encuentran en valores cercanos. En la figura 7 se puede observar que la mayor

concentración de pH se encuentra en parcela 2 (Yangunturo) y la de menor valor se encuentra en la parcela 1 (Isula), como se observa en las figuras 7.

4.6 Contenido de nitrógeno de las tres parcelas

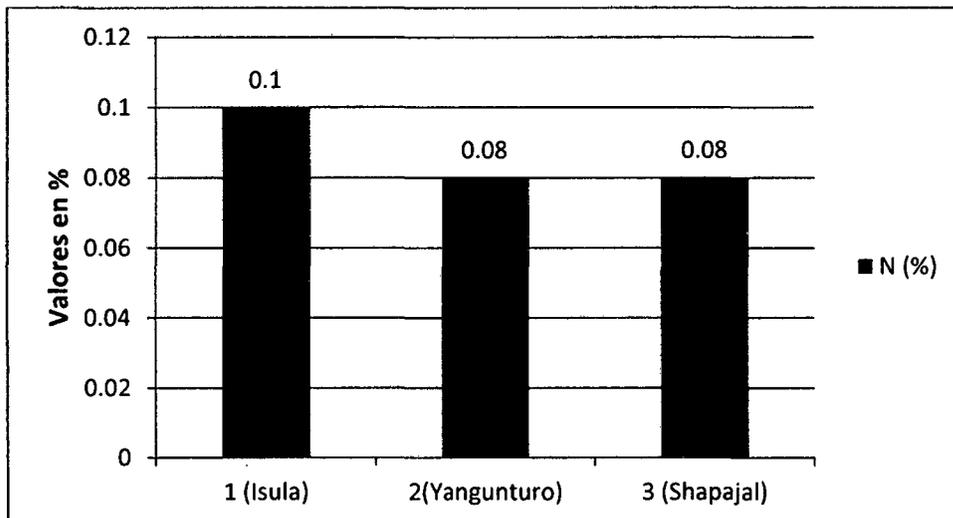


Figura 8. Contenido de nitrógeno por parcelas estudiadas

La especie indicada en el porcentaje de nitrógeno con respecto a la altura no hay influencia significativa esto se observa en la figura 8. En la figura 8 se puede observar que la mayor concentración de nitrógeno se encuentra en parcela 1 (Isula), como se observa en las figuras 8.

4.7 Contenido de fósforo de las tres parcelas

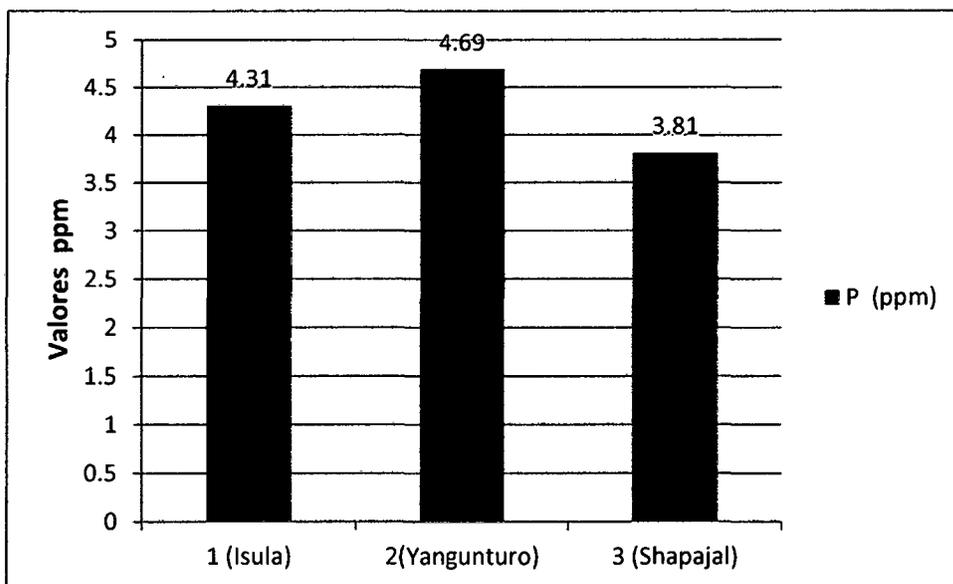


Figura 9. Contenido de fósforo por parcelas estudiadas

Al igual que en el anterior los valores obtenidos del estudio se caracterizan por presentar concentraciones muy bajas. La especie indicada muestra que las concentraciones de fósforo son diferentes haciendo una relación con respecto a la altura alcanzada por la especie, podría tener una influencia en la parcela 2 (Yangunturo), ya que el Fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de plantas, porque está relacionado con muchos procesos metabólicos.

4.8 Porcentaje de saturación de aluminio de las tres parcelas

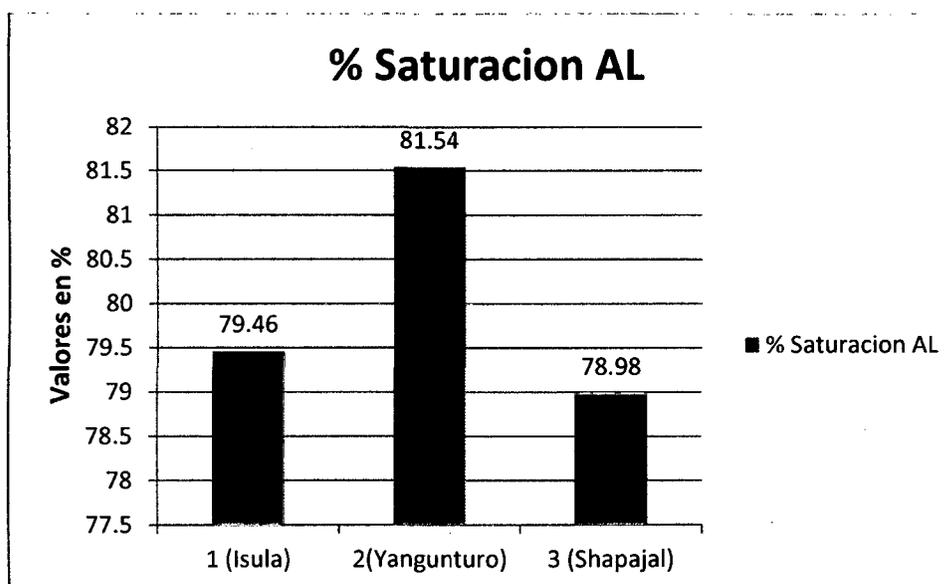


Figura 10. Porcentaje de saturación de aluminio por parcelas

La especie indicada en la concentración de aluminio con respecto a la altura hay una concentración significativa en las parcelas 2 y 1 esto se observa en la figura 10. Se puede hacer una comparación con respecto a la altura se observa que no es un factor influyente.

4.9 Contenido de potasio de las tres parcelas

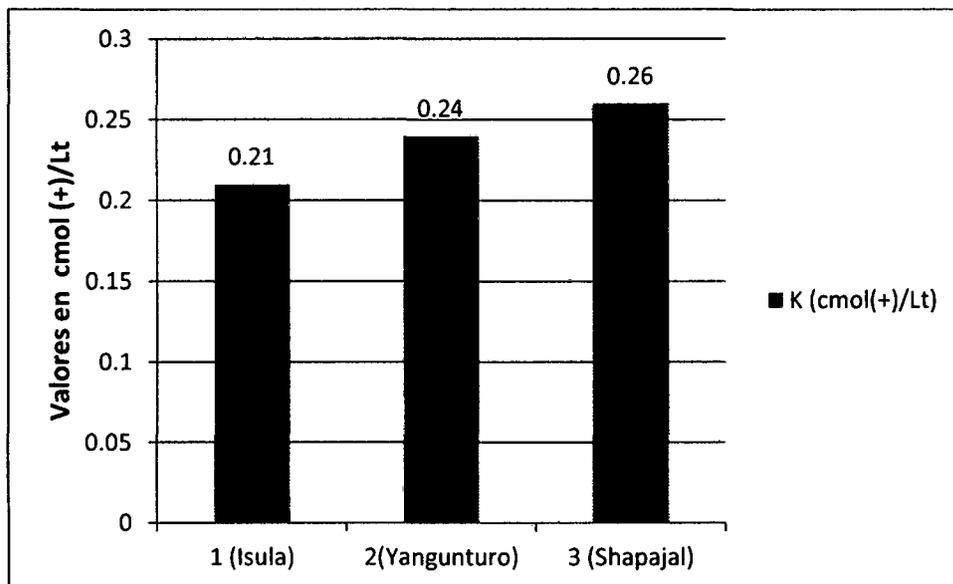


Figura 11. Contenido de potasio por parcelas estudiadas

Los valores obtenidos del estudio con respecto al potasio hay una concentración baja para las tres parcelas. En la concentración potasio con respecto a la altura hay influencia significativa esto se observa en la figura 11. Se puede hacer una relación con respecto a la altura se observa que es un factor influyente, las parcelas con mayor crecimiento son las que mayor concentración de potasio y son las parcelas 2 y 3, ya que el este elemento cumple una función importante en la estabilización del pH.

4.10 Contenido de calcio de las tres parcelas

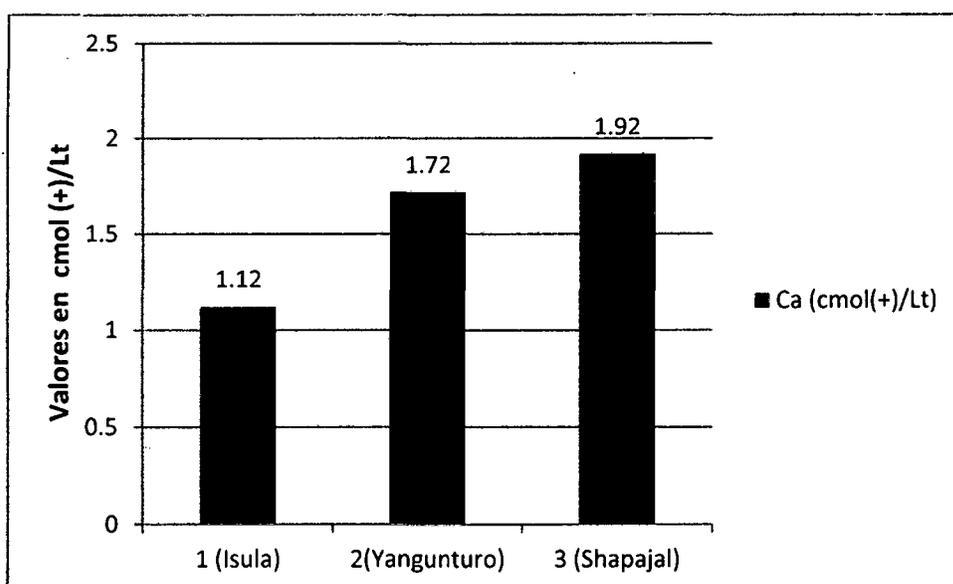


Figura 12. Contenido de calcio por parcelas estudiadas

Los valores obtenidos del estudio con respecto al calcio hay una concentración muy baja para las tres parcelas. En la concentración calcio con respecto a la altura hay una significancia. Se puede hacer una relación con respecto a la altura se observa que es un factor influyente porque actúa como activador de enzimas y la fijación de N.

4.11 Contenido de magnesio de las tres parcelas

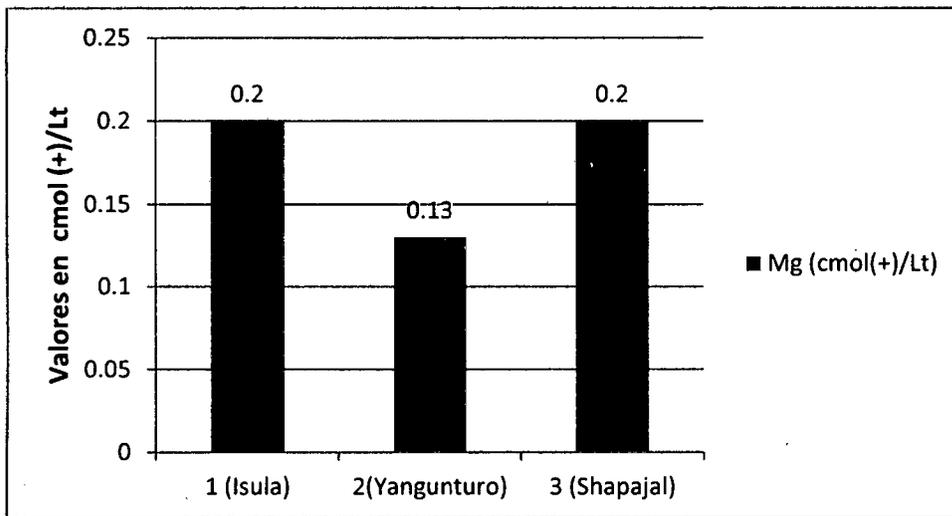


Figura 13. Contenido de magnesio por parcelas estudiadas

Los valores obtenidos del estudio con respecto al magnesio están ordenados por el número de parcela para observar cuánto está influyendo. La especie indicada en la concentración con respecto a la altura no hay influencia significativa esto se observa en la figura 13. En la figura 13 se puede observar que las mayores concentraciones de magnesio se encuentran en parcela 1 (Isula) y parcela 3 (Shapajal).

4.12 Relación entre las variables dasométricas y algunas propiedades del suelo

4.12.1 Relación entre altura y pH

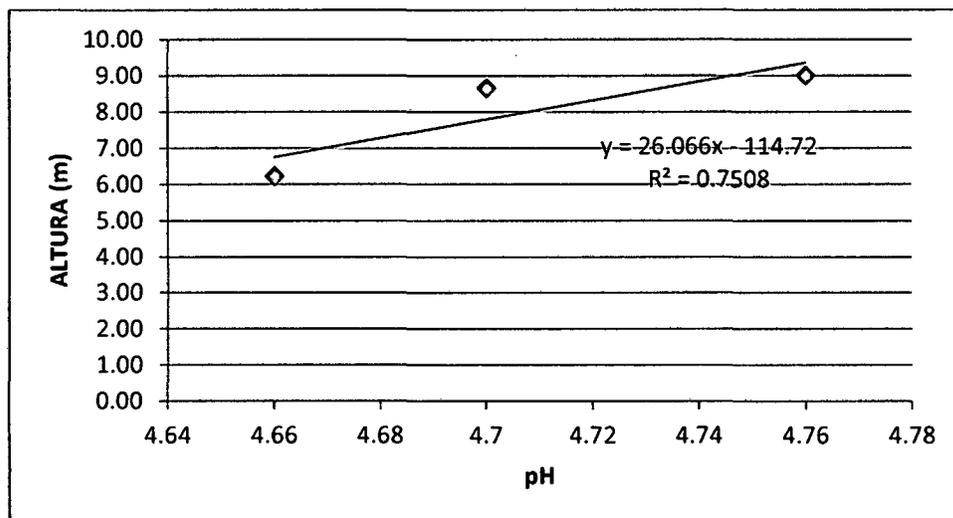


Figura 14. Relación entre altura y pH

Como se muestra en la Figura 14, los valores de pH de las tres se encuentran dentro del rango de fuertemente ácido (4,66 a 4,76), existe una concentración muy alta de Al^{3+} tal es así que la saturación varía de 78.98 a 81.54% (Figura 18); Según Díaz (2000), cuando el porcentaje de saturación de Al supera al 60% en la solución suelo ocurren problemas de toxicidad que se manifiesta por la atrofia del sistema radical, ya que el Al inhibe la división celular al nivel de tejido meristemático radical, disminuyendo la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. Contrariamente a la alta saturación de Al, el porcentaje de saturación de bases PSB (Ca, Mg, K) es bajo, variando de 18.46 a 21.02%; este resultado nos está indicando la mala disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas, a excepción del nitrógeno y fósforo.

Al efectuar el análisis estadístico de regresión lineal simple, para determinar la relación que existe entre el pH y la altura (m) de *Dipteryx odorata*, se encontró relación entre ambas variables, como se muestra en la figura 18. Fassabender (1975), sostiene que el pH no influye directamente en el desarrollo de la vegetación, su efecto es indirecto debido que está asociado a otras propiedades químicas del suelo, como es por ejemplo la disponibilidad de nutrientes.

4.12.2 Relación entre altura y elemento fósforo

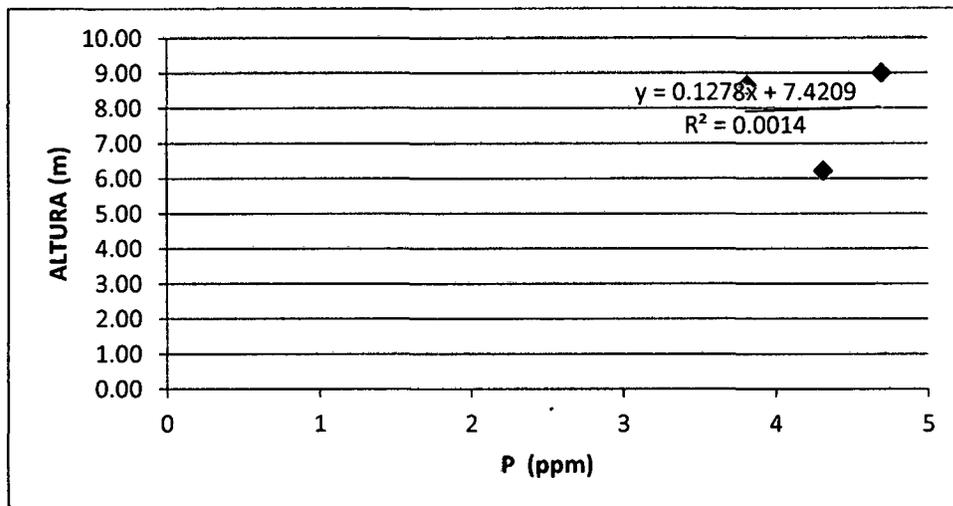


Figura 15. Relación entre altura y fósforo

Al efectuar el análisis estadístico de regresión lineal simple, para determinar la relación que existe entre el contenido de fósforo (P) y la altura, existe una concentración muy baja tal es así que varía de 3.81 a 4.69 ppm (Figura 15); Según Binçey (1993) obedece a que por lo regular no se observa correlación alguna con el fósforo disponible para las plantas, por lo que existe dificultad para entender las complejas interacciones entre el suelo y la planta. Por otro lado Pritchett (1986) afirma que, muchas especies en los bosques tropicales, aparentemente tienen un buen crecimiento a niveles relativamente bajos de fósforo disponible en el suelo; esta capacidad de sobrevivir a niveles bajos de fósforo, puede deberse a la capacidad de los árboles para aprovechar grandes volúmenes de suelo y usar formas menos disponibles del fósforo del suelo.

4.12.3 Relación entre altura y elemento potasio

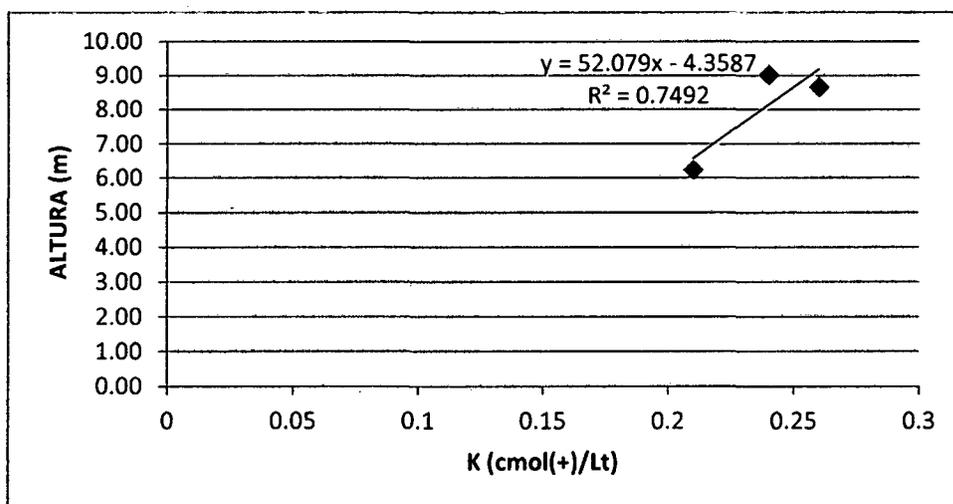


Figura 16. Relación entre altura y potasio

Al efectuar el análisis estadístico de regresión lineal simple, para determinar la relación que existe entre el contenido de potasio (K) y la altura se encontró una relación directa entre estas variables ($R^2 = 0.7492$), es decir que la altura depende de un 74% del contenido de K, como se puede observar en la Figura 16.

4.12.4 Relación entre altura y elemento Calcio

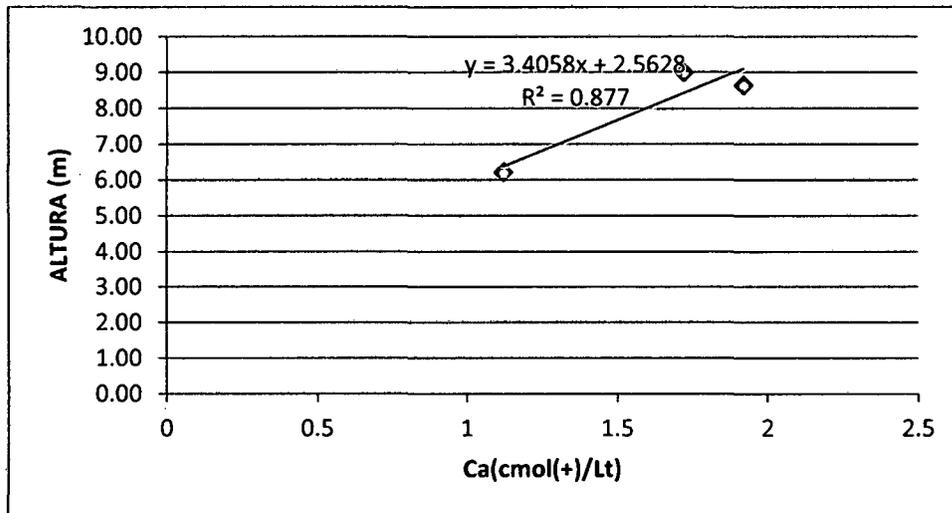


Figura 17. Relación entre altura y calcio

También se encontró una alta relación directa entre el contenido de Ca y la altura ($R^2 = 0.877$), es decir que este caso la altura de esta especie depende en un 87% de calcio, como se presenta en la Figura 17.

4.13 Relación entre altura (*Dipteryx odorata*) y propiedades físicas

4.13.1 Relación entre altura y porcentaje arcilla

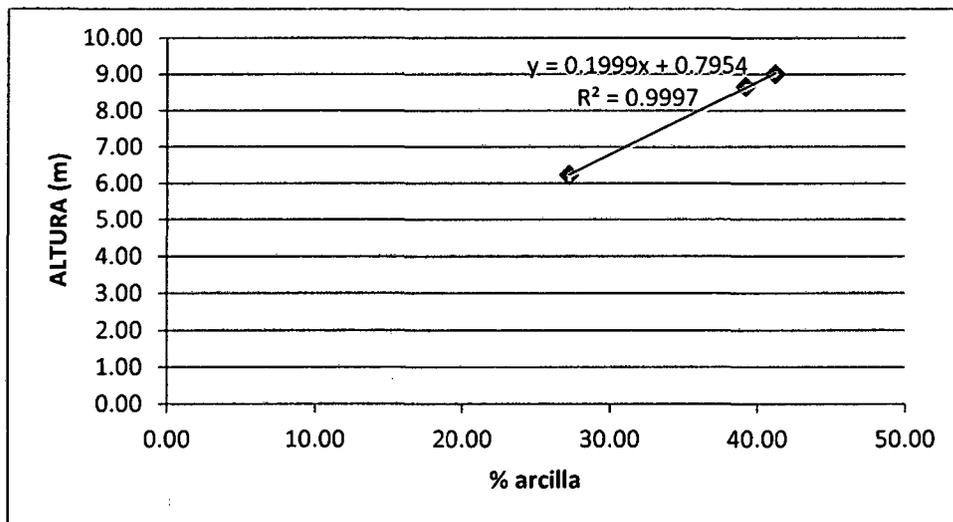


Figura 18. Relación entre altura y % arcilla

Al efectuar el análisis estadístico de regresión lineal simple, para determinar la relación que existe entre el contenido de porcentaje de arcilla y la altura se encontró una relación directa entre estas variables ($R^2= 0.9997$), es decir que la altura depende de un 99% del contenido de arcilla, como se puede observar en la Figura 18.

4.13.2 Relación entre altura y porcentaje arena

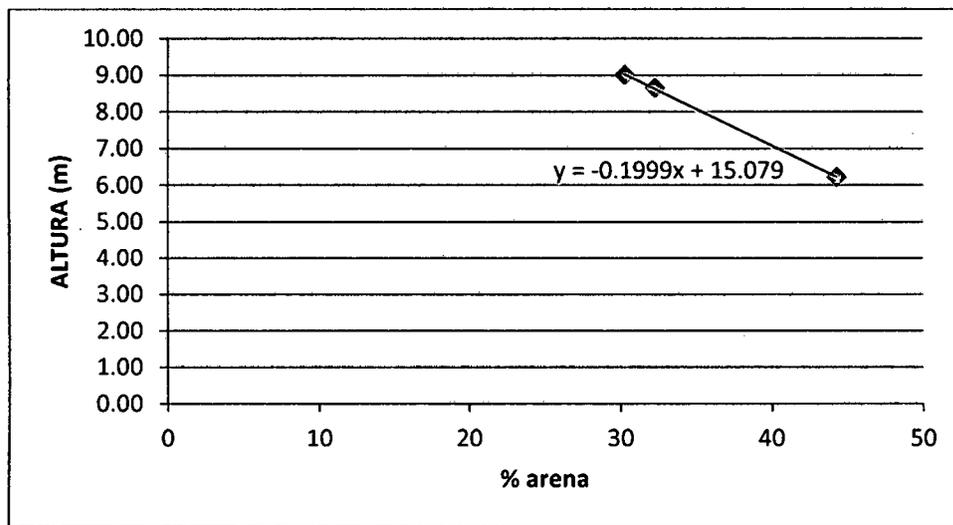


Figura 19. Relación entre altura y % arena

En el análisis estadístico de regresión lineal simple, para la determinación de la relación que existe entre el porcentaje de arena y la altura se encontró que no hay relación directa entre estas variables porque la línea de tendencia es negativa, como se puede observar en la Figura 19.

4.14 Fertilidad del suelo y asociación de la variable de crecimiento de la especie con los elementos del suelo

- ✓ Fósforo disponible en el suelo, promediando las tres parcelas muestreadas, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes bajo, de 25.86 Kg de P_2O_5 /ha. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.3017 ($P > 0.05$), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie Shihuahuaco.
- ✓ Potasio disponible en el suelo, promediando las tres parcelas muestreadas, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes

medio, de 291.25 kg de K_2O /ha. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.0882 (P 0.05), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie Shihuahuaco.

- ✓ Calcio disponible en el suelo, promediando las tres parcelas muestreada, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes medio, de 1,04 cmol+Lt. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.1360 (P 0.05), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie Shihuahuaco.

- ✓ Magnesio promediando las tres parcelas muestreada, a una capa arable de 20 cm de profundidad, muestra un nivel crítico de nutrientes bajo, de 0.07 cmol+Lt. Estadísticamente mediante prueba de correlación, muestra una significancia alta de 0.6553 (P 0.05), edáficamente se atribuye que no influye en el crecimiento de la especie Shihuahuaco.

V. CONCLUSIONES

1. El mayor crecimiento para altura total se obtuvo en la parcela dos, con 9.01 m. Mediante el ANVA a nivel de tratamientos estadísticamente hay una alta significancia de $<.0001$. Sin embargo mediante prueba de Duncan los tratamientos no presentan diferencia significativa con los otros tratamientos al nivel de 95 %.
2. En cuanto al área basal, volumen e incremento medio anual en volumen, el mayor valor se da en la parcela dos, con $6.13 \text{ m}^2/\text{ha}$; $25.80 \text{ m}^3/\text{ha}$ y $5.73 \text{ m}^3/\text{ha/año}$ respectivamente, mientras el valor más bajo se obtiene en la parcela uno, con $3.02 \text{ m}^2/\text{ha}$, $8.78 \text{ m}^2/\text{ha}$ y $1.95 \text{ m}^3/\text{ha/año}$, respectivamente.
3. Se concluye que el mejor crecimiento de la especie Shihuahuaco se encuentra en la parcela 2 (Yangunturo), cuya característica física del suelo presenta un contenido de arcilla de 41.20 % de arcilla, que permite una disponibilidad de agua para la plantación de Shihuahuaco, ($0.14 \text{ cm}^3 \text{ agua}/\text{cm}^3 \text{ suelo}$).
4. Las características nutricionales indica que Fósforo y magnesio presentan un nivel crítico de nutrientes bajo; mientras que para potasio y calcio el nivel crítico es medio.
5. La relación que existe entre el pH y la altura (m) de *Dipteryx odorata*, se encontró relación entre ambas variables, el pH no influye directamente en el desarrollo de la vegetación, su efecto es indirecto debido que está asociado a otras propiedades químicas del suelo.
6. La relación que existe entre el contenido de fósforo (P) y la altura se encontró una relación baja entre las variables ($R^2= 0.0014$), esta capacidad de sobrevivir a niveles bajos de fósforo, puede deberse a la capacidad de los árboles para aprovechar grandes volúmenes de suelo y usar formas menos disponibles del fósforo del suelo.
7. La relación que existe entre el contenido de potasio (K) y la altura se encontró una relación directa entre estas variables ($R^2= 0.7492$), es decir que la altura depende de un 74% del contenido de K.
8. También se encontró una alta relación directa entre el contenido de Ca y la altura ($R^2= 0.877$), es decir que este caso la altura de esta especie depende en un 87% de calcio.

9. La relación que existe entre el contenido de porcentaje de arcilla y la altura se encontró una relación directa entre estas variables ($R^2= 0.9997$), es decir que la altura depende de un 99% del contenido de arcilla.
10. La relación que existe entre el porcentaje de arena y la altura se encontró que no hay relación directa entre estas variables porque la línea de tendencia es negativa.

VI. RECOMENDACIONES

1. A pesar de ser una plantación joven de 4 años de edad, y la especie Shihuahuaco al estar considerada ecológicamente como esciofita, presenta buen crecimiento y productividad en suelo ácido, por lo que se recomienda para futuros programas de reforestación utilizar esta especie, ya que permite recuperar áreas degradadas o abandonadas, convirtiéndolas en productivas.
2. Para el establecimiento de futuras plantaciones de Shihuahuaco en suelos ácidos se recomienda aplicar abonos orgánicos que permita determinar dosis óptima que favorezca el crecimiento y productividad de las mismas.

VII. BIBLIOGRAFIA

Adegbehun, J. 1982. Growth and yields de *Pinus patula* in some parts de eastern Africa with particular referente to Sao – Hill, Southern Tanzania. Commonwealth Forestry Review (G.B.) 61 (1): 27 -32 p.

Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. II Predicción del rendimiento. FAO. FAO Montes 22/2. Roma. 80 p.

Alfaro, M. 1983. Relación entre factores edáficos e índices de sitio para *Cupressus lusitanica* (Mill) en el valle central, Costa Rica. Tesis Magíster Sc. UCR, CATIE. Costa Rica. 132 p.

ALVIM T. 1964. Tree growth periodicity in tropical climates. Ed. By M.H. Zimmermann. The formation of Wood in forest tres. New York, Academic Press. Pág. 479-495.

Álvarez O, P. A, Varona J.C. (1988). Silvicultura. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación; 354pp.

Andenmatten, E., Letourneau, F. (1998). Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para pino Oregón (*Pseudotsuga menziesi* Mirb. Franco) de aplicación en la región andino patagónica de las provincias de Rio Negro y Chubut, Argentina. *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 103: 69-75.

Angulo, W. 1995. Experiencias Silviculturales para el Establecimiento de Regeneración Artificial en el Bosque del Campo Experimental Alexander von Humboldt INIA – Estación Experimental Pucallpa. Tesis de Ing. Forestal, Iquitos. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 94 p.

-----2008. Efecto de tres factores de sitio en el rendimiento maderable de las plantaciones de dos especies forestales en la Estación Experimental Alexander von Humboldt. Tesis de M.Sc. UNALM. Lima, Perú. 73 p.

AUTEN J. 1945. Perdition of site index for Yellow Poplar from soil and topografy. Journal of forestry (EE.UU.).

Bastide, J.; Goor, C. 1970. Relación sitio- altura en plantación de Araucaria angustifolia y Pinus elliotti en Brasil. Suelo y planta. 32 (2): 349 – 366 p.

Baver, L.; Gardner, H.; Gardner, R. 1973. Física de suelos. Unión Tipográfica Ed. Hispano. 529 p.

Benítes, J. 1981. Suelos de la amazonía peruana: Su potencial de uso y de desarrollo. INIPA. Serie de separata N° 9. Yurimaguas. 11 p.

Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. 157 p.

Bowersox, T.; Ward, W. 1977. Soil fertility, growth and yield of young Irbid Popler plantations in Central Pennsylvania. Forest Science (EE.UU.) 23 (4): 463 – 469 p.

Brito, P. et al. 1975. Aptitud de las tierras de la zona de Chaguaramas, estado Monagas, para la siembra de Pinus caribaea. Agronomía Tropical (Ven.) 25 (4): 295 – 304 P.

BRUBAKER B. 1980. Spatial patterns of tree growth anomalies in the Pacific Northwest. Ecology (EE. UU.) 61(4): Pág. 793-807.

Campos, C.; Turnbull, K. 1980. Un método de estimar índices de local utilizando a analice de tronco. Revista Arvore (Bra.). 4(1): 47-61 p.

Chapman, G.W.; Allan, T.G. 1984. Establishment techniques for forest plantations. Forestry Pap. 8. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 183 p.

Carmean W. (1975). Forest site quality evaluation in the US. *Adv. Agron.* 27:209-269.

Carmean, W. H., and A. Vasilevsky. 1971. SITE INDEX COMPARISONS FOR TREE SPECIES IN NORTHERN MINNESOTA. USDA For. Serv. Res. Pap. NC-65, 8 p. North Cent. For, Exp. Stn., St. Paul, Minn.

Carter, M. 1981. Asociación total de carbonato de calcio activo con el crecimiento de árboles de cinco especies en suelos Chernozemic. *Revista de Ciencia de Suelo Canadiense (Canadá)* 61 (1): 173 – 175 p.

Castañeros, L. 1962. Evaluación de la calidad de Estación de *Pinus patula* en el Norte de Oaxaca, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico N° 2. 6 – 8, 23 p.

Chavarria, M. 1996. Curvas preliminares de índices de sitio y factores de sitio asociado con el crecimiento del *Eucalyptus deglupta* Blume (deglupta) para la región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Licenciatura en Ciencias Forestales, Universidad Nacional.

Chong, T.; Jones, N. 1982. Fost growing hardwood plantations on Logged – over forest sites in Sabah. *Malaysian Forester (Malaysia)* 45 (4): 558 – 575 p.

Clutter J, Forston J, Pienaar L, Brister G, Bailey R. (1983). *Timber management: a quantitative approach.* Wiley. Nueva York, EEUU. 333 pp.

Coile, T. 1938. Forest classification, classification of forest sites with especies referente to group vegetation. *Journal of Forestry (EE.UU.)* 36 (10): 1062 – 1066 p.

Corlovan, P., Gouet, R. y Reyes, C. 1998. Determinación del índice de sitio en tres plantaciones de teca (*tectona grandis*) de la compañía reybanpac reybanano del pacifico c.a. Tesis para Ing. Ecuador. 89 p.

Courtin, P.; Feller, M.C.; Demaerschalk, J.P. 1988. An approach to quantitative classification nutrients regimes of forests soils. *CANADIAN JOURNAL OF BOTANY* (Can.) 66 (12): 2640-2653

CURTIS R. 1964. A stean-analisis approach to site-index curves. *Forest Science* (EE.UU.).10 (2): Pág. 241-256.

Daniel, P.; Helms, J.; Backer, F. 1982. Principios de silvicultura. Segunda edición. Ed. Mc. Graw-Hill. México. 492 p.

Davidian M, Giltinan D (1995). *Nonlinear Models for Repeated Measurement Data.* Chapman and Hall/CRC. Boca Raton, Florida.360 pp.

Davis, K. 1954. American forest management. New York, McGraw-Hill. 482 p.

Daubenmire, R. 1961. Vegetative indicators of rate of height growth in Ponderosa Pine. *Forest Science* (EE:UU.) 7 (1): 24 – 34 p.

De las Salas, G. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. *Bosques de Colombia* (Col.). 1: 15 – 30 p.

Diggle P., Heagerty p, Liang K, Zeger S (2002). *Analysis of Longitudinal Data.* 2a ed. Oxford University Press. Nueva York, EEUU. 396 pp.

Donoso, C. 1981. Ecología Forestal: El bosque y su medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. Ed. Universitaria. 369 p.

Doolittle, W. 1958. Site index comparisons for Several forest species in the Southern Appalachians. *Soil Science Society of America Proceedings* (EE.UU.) 22 (5): 455 – 458 p.

Escobedo, A. 1995. Indices de sitio para *Pinus pseudostrabus* Lindl, en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 82p.

Einspahr, D.; McCombe, A. 1951. Site index of Oaks in relation to soil and topography in Northeastern Iowa. *Journal of Forestry* (EE.UU.) 49 (10): 719 – 723 p.

FAO. 1985. Evaluación de tierras con fines forestales. Estudio FAO Montes 48. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Italia, Roma. 106 p.

FAO (2003). Hacia una Definición de Degradación de los Bosques. FAO Montes. 63 p.

Farr, W.; Harris, A. 1979. Site index of Sitka Spruce along the Pacific coast related to latitud and temperaturas. *Forest Science* (EE.UU.) 25 (1): 145 -153 p.

Fassbender, H.; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina. Segunda edición. IICA. San José, Costa Rica. 420 p.

Fassbender, H.; Tschinkel, H. 1974. Relación entre el crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitánica* y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Turrialba. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 24 (2): 141 – 149 p.

Fontes L, Tome M, Coelho M, Wright H, Luis JS, Savill P. (2003). Modelling dominant height growth of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in Portugal. *Forestry* 76: 509-523.
Foggie, A. 1957. Forestry problems in the closed forest zone of Ghana. *Journal of the West African Science Association*. 3(2): 131-147.

Florence, R.G. 1967. Factors that may have a bearing upon the decline of productivity under forest monoculture. *Australian Forestry*. 31: 50-71.

Gaillard et al, 2000. Estimación del crecimiento y producción de una plantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* var. gigantea) sin riego en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho* 9: 127-140.

Galloway, G.; Alomoto, V.; Maldonado, E. 1991. Estudio de algunas especies forestales en la región costera del Ecuador. Borrador presentado a la Subsecretaría Forestal y de Recursos Naturales Renovables. Proyecto DISFEL/AID. 163 p.

Gavande, S. 1972. Física de suelos: principios y aplicaciones. México. Limusa – Wiley. 351 p.

Giraldo, L. Del Valle; Escobar, M. 1980. El Crecimiento de nogal (*Cordia alliodora* Ruiz & Pavon) Oken en relación con algunos factores climáticos, edáficos y fisiográficos en el suoste de Antioquia (Colombia). Revista Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Colombia. 23 (1): 21 – 32.

GLOCK S. 1941. Growth rings and climate. Botanical Review (EE.UU.) 7(12): Pág 49-713.

Greaves, A. 1978. Site index curves for *Gmelina arborea* Rexb. England. Commonwealth Forestry Institute. Ocasional Papers N° 2. 8 p.

Gregoire T, Schabenberger O, Barrett J (1995). Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements. Can. J. For. Res. 25: 137-156.

Hannah, P. 1971. Soil – site relationships for white Pine site in Southern New Hampshire. Vermont . Vermont Agriculture Experiment Station. Bolletin N° 667. 27 p.

Hazard, H. 1937. Plant indicators of pure White Pine Site in Southern New Hampshire. Journal of Forestry (EE.UU.) 35 (5): 477 – 486 p.**Herrera, B. 1996.** Evaluación del efecto del sitio en la productividad de las poblaciones de dos especies dominantes en un bosque tropical de la tercera fase de la sucesión secundaria en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. UCR-CATIE. Turrialba, Costa Rica. 152 p.

Holdridge, L.R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San Jose, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 216 p.

Hurtado, P.; Jerez, C. 1975. Índice de sitio, rendimiento y algunos aspectos económicos del *Eucalyptus globulus* en la Sabana de Bogotá. Tesis Ing. For.. Bogotá, Col., Universidad Distrital Fco. José de Caldas. 63 p.

INFOR-JICA. 1985. Proyecto de Estudio sobre Investigación y Experimentación en Regeneración de Bosques en la Zona Amazónica de la República del Perú. CENFOR XII. Pucallpa, Perú. 38 p.

Isolan, B. 1972. Estudio de cualidades de sitio para *Pinus caribaea* Morelet var *Hondurensis* Barret e Golfari no cantao de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. IICA, Centro Tropical de Ensino e Pesquisa, Departamento de Ciências Florestais Tropicais. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 83 p.

Jadan, S. 1972. Sistemas de clasificación de índice de sitios para *Eucalyptus deglupta* BL en Turrialba, Costa Rica. Tesis Magíster Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 99 p.

Johnson, J. et al. 1987. Soil-site relationships and soil characteristics associated with even-aged red maple (*Acer rubrum*) stands in Wisconsin and Michigan. For. Eco. Manage. 21: 75 – 89 p.

Keat, T. 1981. Soil sustainability in relation to Caribbean Pine growth and yield. Malaysian (Malaysian) 44 (1): 60 – 73 p.

Keogh, R. 1982. Teak (*Tectonis grandis* Linn. F.) provisional site classification chart for the Caribbean, Central America, , Venezuela and Colombia. Forest Ecology and management (Holanda). 4(2): 143 – 153 p.

Klepac, O. 1983. Crecimiento e incremento de arboles y masas forestales. 2ed. Chapingo, Mexico, Universidad Autonoma Chapingo. 365p.

Kozlowski, T.; Peterson, A. 1963. Seasonal growth of dominant, intermediate and suppressed Red Pine trees. Botanical Gazette (EE.UU.) 124 (2): 146 -154 p.

Laurie, M.V. 1941a. Artificial regeneration in dry forests in Madras. En: Proceedings, 5th silvicultural conference; 1939; Dehra Dun, India. Dehra Dun, India: Forest Research Institute: 419-428

LAVERY, P. 1986. Factores que afectan el crecimiento de los árboles. Universidad de Chile. 9 p.

Leack, W. 1978. Relationships of species and site index to habitat in the White Mountains of New Hampshire. Northeastern Forest Experiment Station. Research Paper NE – 397. 9 p.

Linnartz, E. 1963. Relation of soil and topographic characteristics to site quality for Southern pines in the Florida Parishes of Louisiana Journal (EE.UU.) 61 (6): 434 – 438 p.

Littell R, Milliken G, Stroup W, Wolfinger R, Schabenberger O (2006). *SAS for Mixed Models*. 2a ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU. 795 pp.

LOJAN L. 1967. Aspectos del crecimiento diametrico quincenal de algunos arboles tropicales. Turrialba (C.R.) Pág. 231-237

LOUMAN B. et al. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en america central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pág. 265.

Mader, L. 1976. Soil site productivity for natural stands of White Pine in Massachussets. Soil Science Society of America Journal (EE.UU.) 40 (1): 112 – 115 p.

Monserud, R.; Moody, U.; Breuer, D. 1990. A soil-site study for inland Douglas fir. Can. J. For. Res. 20: 686 – 695 p.

MCGINNIES W. 1963. Dendrochronology. Journal of forestry (EE.UU.). Pág 5-11

MIROV T. 1967. The genus Pinus. New York, Ronald Press. Pág 602.

Navarro, C. 1987. Evaluación del crecimiento y rendimiento de *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand en 15 sitios de Costa Rica. Indices de sitio y algunos factores financieros de la especie. Tesis de Mag. Sc. UCR-CATIE. Turrialba, Costa Rica. 137 p.

OIMT 2002. Directrices De la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques secundarios y degradados. Serie de políticas forestales Pag. 13-87

Orantes, G.; Musalem, M. 1982. Determinación de calidad de estación de *Pinus hartwegii* Lind. en Zoquiapan, México. *Ciencia Forestal (Méx.)* 7 (35): 3 – 20 p.

Ortega, H. 1986. Factores edáficos y topográficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* en Pavones, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mc. Sc. Universidad de Costa Rica – CATIE. 109 p.

Oliver, C. 1978. Subsurface geologic formations and site variation in upper sand hills of South Carolina. *Journal of Forestry (EE.UU.)* 76 (6): 352 – 354 p.

Pacheco, C. 1991. Evaluating site quality of even-aged maritime pine stands in northern Portugal using direct and indirect methods. *For. Ecol. Manage.* 41: 193 – 204 p.

Paliwal, S.; Prasad, N. 1970. Seasonal activity of cambium in some tropical trees, *Dalbergia sissoo*. *Phytomorphology (India)* 20 (4): 333 – 339 p.

Payandeh, B. 1978. A site index formula for peatland Black Spruce in Notario. *Forestry Chronicle (Can.)* 54 (1): 39 – 41 p.

PIOTTO D. 2001. Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua; Comportamiento de las especies y preferencias de los productos. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pág. 153.

Pita, C. 1964. La calidad de la estación en las masas de *P. silvestris* de la península Ibérica. *Anales del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (Esp.)*. 36 (9): 5 – 57 p.

Platteborze, A. 1970. A soil and vegetation study under a *Pinus caribaea* plantation in West Malaysia. *Malayan forester (Malaysia)*. 33 (3): 243 – 255 p.

PÚLIDO P. 1971. Métodos de evaluación y principales factores del medio ambiente que afectan la calidad de sitio (Investigación bibliográfica). Mérida, Ven. Universidad de los Andes. Centro de estudios forestales de posgrado. Pág. 36

SABOGAL 2006. Rehabilitación de áreas degradadas en la amazonia peruana. Peru: Center For Integral Forestry Research. Pág. 25- 35.

Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico; características y manejo. San José, Costa Rica; IICA. 210 -350 p.

Seth, S.; Bhatnagar, H. 1960. Interrelations between mineral constituents of foliage, soil properties, site quality and regeneration status in some *Shorea robusta* forest. *Indian Forester (India)* 86 (10): 590 – 601 p.

Society of American Foresters. 1958. Forestry terminology: a glossary of technical terms used in forestry. Third edition. Washington DC. 97 p.

Scolforo, R. (1992). Curvas de índice de sitio para *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. *IPEF* 45: 40-47.

Schlatter, J. 1987. La fertilidad del suelo y el desarrollo de *pinus radiata* D. Don. Bosque, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 8 (1): 13 – 19 p.

Shrivastava, M.; Ulrich, B. 1978. Valorización cuantitativa de sitios productivos en los bosques de la India. 104 (1): 79 – 89 p.

TAJCHMAN J. & Wiant L. 1983. Topography and biomass characteristics of a forest catchment in the Northern Appalachians. *Forest Ecology and management (Holanda)*. Pág. 55-69.

Taylor, R. 1932. Plants indicators in Southeastern Alaska. Journal of forestry (EE.UU.). 30 (6): 746 p.

Schmidt, M.; Carmean, M. 1988. Jack pine site quality in relation to soil and topography in north central Ontario. Can. J. For. Res. 18: 297 – 305 p.

Tesch, S. 1980/1981. The evolution of forest yield determination and site classification. Forest Ecology and management (Holanda). 5(3): 169 – 182 p.

Torres JM, Magana O. (2001). *Evaluación de Plantaciones Forestales*. Limusa. México. 472 pp.

TRENARD Y. 1982. Making Wood speak, an introduction to dendrochronology. Forestry Abstracts (G.B.). Pág. 729-759.

Trimble, G.; Weitzman, S. 1956. Site – index studies of upland Oaks in the Northern Appalaemins Forest Science (EE.UU.). 2 (3): 102 – 172.

Truman, R.; Humphrey, F.; Lambert, M. 1983. Prediction of site index for Northern Appalecniam Forest Research (A.C.T.) 13 (3/4): 207 – 215 p.

Tschinkel, H. 1972. Factores limitantes del crecimiento de plantaciones de Cupressus lusitánica en Antioquia, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía. 27(2): 3 – 56 p.

UGALDE L. 2003. El sistema MIRA componente de silvicultura. Version 2.9-2003. CATIE. Turrialba. Costa Rica. Pág. 91.

Ure, J. 1950. The natural vegetation of the Kaingava plañís as a inductor of site quality for exotic conifers – New Zeland Juornal of Forestry (New Zeland). 6 (2): 112 – 123 p.

Vallejo, O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona Grandis* L. F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugand y *Gmelina arbórea* Roxb. en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.

Valle, J. DEL. 1975. Estado nutritivo de plantaciones de ciprés *Cupressus lusitanica* (Mill) en Antioquia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía (Col.)* 30 (2): 59 – 71 p.

Van, E. et al. 1963. Site evaluation studies en red Pine plantations in Michigan. *Soil Science Society of America Proceeding (EE.UU.)* 27 (6): 709 -714 p.

Van Goor, C. 1965/1966. La nutrición de algunos pinos tropicales. *Silvicultura en Sao Paulo. (Bra.)* 4/5 (4): 313 - 340 p.

Vasquez, W.; Ugalde, L. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea* Roxb., *Tectona grandis* L. f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Pinus Caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final, Convenio de Cooperación Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO) Proyecto Madeleña-3. Turrialba, Costa Rica. 132 p.

-----, 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea* Roxb., *Tectona grandis* L. f., *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Convenio de Cooperación IDA/FAO/Holanda y Proyecto Madeleña-3. Serie Técnica. Informe Técnico 256. 32 p.

Vega, L. 1969. Calidad de Sitio para *Virola surinamensis* con Relación al Suelo y la Topografía en Mapane – Surinam. *Revista Forestal Venezolana (Ven.)*. 12(18): 53 – 65 p.

Veiga, A. et al. 1977. Macronutrientes e alumínico em povoamentos de *Pinus ellioti* var. *ellioti*. Instituto Florestal, Sao Paulo, Bra. *Boletim Tecnico* N° 27. 13 p.

Velez, J. 1982. Índice de sitio su estimación edáfica y rendimiento del *Eucalyptus saligna* Sm., en Antioquia. Tesis Ing. Forestal, Medellín, Col. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. 142 p.

Verbeke G, Molenberghs G (2000). *Linear Mixed Models for Longitudinal Data.* Springer. Nueva York , EEUU. 608 pp.

Vidaurre, H. 1992. Tecnologías para el Manejo de los Bosques Tropicales. Proyecto Suelos Tropicales. Boletín Técnico N° 3. La Molina, Perú. 29 p.

Vincent, L. 1970. Plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Surinam con referencia especial a la calidad de sitio. Revista Forestal Venezolana (Ven.). 13 (19-20): 27 – 59 p.

..... **1980.** Manejo de plantaciones forestales con fines de producción. Universidad de los Andes. Fac. Ciencias Forestales. Centro de Estudios de Postgrado. Dpto. Manejo de Bosques. Mérida. 90 p.

VOORHOEVE A.; SCHULZ J. 1968. La necesidad de parcelas permanentes de claro y rendimiento en plantaciones forestales. Venezuale, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigacion y Capacitacion. Boletin N° 27/28.Pág. 3-17.

Wadsworth, F. 2000. Producción forestal para Bosques de América Tropical. USDA. 265 – 309 p.

Wakeley, P.C. 1954. Planting the southern pines. Agric.Monograph 18. . Washington DC: U.S. Department of Agriculture. 233 p.

Yadav, J. 1966. Soil studies in Sal forest of Dehra Dun division. Indian Forester (India) 92 (4): 240 252 p.

Young, A. 1976. Tropical soils and soil survey. Cambridge UK. Geographical Studies. 468 p.

Zahner, R. 1957. Mapping soil for Pine site quality in South Arkansas y North Lousiana. Journal of Forestry (EE.UU.). 55 (6): 430 – 433 p.

Zeide (1993). Modelamiento ecológico de las características. España. 14 p.

Zúñiga, E. 2003. Edafología. Manual de Prácticas. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. 96 p.

ANEXO

Cuadro 13. Análisis físico del suelo (parcela 1, Isula). Programa PIAs.

Programa para interpretación de análisis de suelos - versión 1.0 beta (Demo)

Tarea Interpretación Reportes Ayuda

Análisis Abrir Guardar Químico Físico T. textural Fertilidad Reporte Ayuda Salir

Análisis Químico **Análisis Físico** Triángulo Textural Fertilidad

% Arena	% Arcilla	Calcular >>
44.20	27.20	

Resultados

Punto marchitez permanente (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.16
Capacidad de campo (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.28
Densidad aparente (g/cm ³)	1.37
Saturación (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.48
Conductividad hidráulica saturada (cm/hr)	0.41
Agua disponible (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.12

1. Punto de marchitez permanente (PMP)
Es el contenido de humedad en el suelo para un potencial métrico de -1.500 kPa (-15 bares). Entérminos gruesos corresponde al límite inferior del agua disponible.

2. Capacidad de Campo (CDC)
Es el contenido de humedad en el suelo correspondiente al límite superior del agua disponible o límite superior drenado. Entérminos gruesos corresponde a un potencial métrico de -30 kPa (-0,3 bares) en la mayoría de los suelos y a -10 kPa (-0,1 bares) en suelos arenosos.

3. Agua disponible (AD)
 $AD = (CDC - PMP)$ este valor se expresa como (vol agua/vol suelo), o mejor, porcentaje de agua. Corresponde a la diferencia entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

4. Densidad
 $Da = (1 - saturación) * 2,65$. Se utiliza para determinar la porosidad del suelo. El valor se expresa en gramos de masa de suelo por centímetro cúbico de suelo.

Cuadro 14. Análisis físico del suelo (parcela 2, Yangunturo). Programa PIAs.

Programa para interpretación de análisis de suelos - versión 1.0 beta (Demo)
X

Tarea Interpretación Reportes Ayuda

Análisis	Abrir	Guardar	Químico	Físico	T. textural	Fertilidad	Reporte	Ayuda	Salir

Análisis Químico	Análisis Físico	Triángulo Textural	Fertilidad
------------------	-----------------	--------------------	------------

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border: 1px solid black; padding: 2px;">% Arena</td> <td style="width: 50%; border: 1px solid black; padding: 2px;">% Arcilla</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">30.20</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">41.20</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Calcular >></td> </tr> </table>	% Arena	% Arcilla		30.20	41.20	Calcular >>	<p>1. Punto de marchitez permanente (PMP) Es el contenido de humedad en el suelo para un potencial métrico de -1.500 kPa (-15 bares). Entérminos gruesos corresponde al límite inferior del agua disponible.</p> <p>2. Capacidad de Campo (CDC) Es el contenido de humedad en el suelo correspondiente al límite superior del agua disponible o límite superior drenado. Entérminos gruesos corresponde a un potencial mátrico de -30 kPa (-0,3 bares) en la mayoría de los suelos y a -10 kPa (-0,1 bares) en suelos arenosos.</p> <p>3. Agua disponible (AD) $AD = (CDC - PMP)$ este valor se expresa como (vol agua/vol suelo), o mejor, porcentaje de agua. Corresponde a la diferencia entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.</p> <p>4. Densidad $D_a = (1 - saturación) * 2,65$. Se utiliza para determinar la porosidad del suelo. El valor se expresa en gramos de masa de suelo por centímetro cúbico de suelo.</p>
% Arena	% Arcilla						
30.20	41.20	Calcular >>					

Resultados	
Punto marchitez permanente (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.23
Capacidad de campo (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.36
Densidad aparente (g/cm ³)	1.28
Saturación (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.52
Conductividad hidráulica saturada (cm/hr)	0.20
Agua disponible (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.14

Cuadro 15. Análisis físico del suelo (parcela 3, Shapajal). Programa PIAs.

Programa para interpretación de análisis de suelos - versión 1.0 beta (Demo)
X

Tarea Interpretación Reportes Ayuda


Análisis


Abrir


Guardar


Químico


Físico


T. textural


Fertilidad


Reporte


Ayuda


Salir

Análisis Químico

Análisis Físico

Triángulo Textural

Fertilidad

% Arena	% Arcilla	
32.20	39.20	Calcular >>

Resultados

Punto marchitez permanente (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.22
Capacidad de campo (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.35
Densidad aparente (g/cm ³)	1.29
Saturación (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.51
Conductividad hidráulica saturada (cm/hi)	0.22
Agua disponible (cm ³ agua/cm ³ suelo)	0.13

1. Punto de marchitez permanente (PMP)
Es el contenido de humedad en el suelo para un potencial métrico de -1.500 kPa (-15 bares). Entérminos gruesos corresponde al límite inferior del agua disponible.

2. Capacidad de Campo (CDC)
Es el contenido de humedad en el suelo correspondiente al límite superior del agua disponible o límite superior drenado. Entérminos gruesos corresponde a un potencial métrico de -30 kPa (-0,3 bares) en la mayoría de los suelos y a -10 kPa (-0,1 bares) en suelos arenosos.

3. Agua disponible (AD)
 $AD = (CDC - PMP)$ este valor se expresa como (vol agua/vol suelo), o mejor, porcentaje de agua. Corresponde a la diferencia entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

4. Densidad
 $Da = (1 - saturación) \cdot 2,65$. Se utiliza para determinar la porosidad del suelo. El valor se expresa en gramos de masa de suelo por centímetro cúbico de suelo.

Cuadro 16. Análisis químico del suelo (parcela 1, Isula). Programa PIAs.

Programa para interpretación de análisis de suelos - versión 1.0 beta (Demo)

Tarea Interpretación Reportes Ayuda

Análisis Abrir Guardar Químico Físico T. textural Fertilidad Reporte Ayuda Salir

Análisis Químico	Análisis Físico	Triángulo Textural	Fertilidad
Parámetros de Entrada Capa Arable (metros): 0.20 Textura: Fco. Ar. Densidad Aparente (g/cc): 1.35 pH: 4.66 Materia Orgánica (%): 2.30 P (mg/kg de suelo): 4.31 Ca (cmol(+)/Kg de suelo): 1.12 Mg (cmol(+)/Kg de suelo): 0.20 K (cmol(+)/ Kg de suelo): 0.21 Na (cmol(+)/Kg de suelo): 0.0 H (cmol(+)/Kg de suelo): 0.0 Al (cmol(+)/Kg de suelo): 5.90 <input type="button" value="Calcular >>"/> <input type="button" value="Nuevo Análisis"/>		Resultados Nivel de pH: Muy fuertemente ácido Peso de capa arable (TM/ha): 2700.00 Materia Orgánica (TM/ha): 62.10 <input type="checkbox"/> N-orgánico (TM/ha): 3.10 <input type="checkbox"/> N- mineral (kg/ha): 77.62 <input type="checkbox"/> P disponible (kg de P2O5/ha): 26.77 <input type="checkbox"/> K disponible (kg de K2O/ha): 265.36 <input type="checkbox"/> CICE (cmol(+)/Kg de suelo): 7.43 <input type="checkbox"/> Saturación de Bases (%): 20.59 <input type="checkbox"/> Saturación de Aluminio (%): 79.41 <input type="checkbox"/> Acidez cambiable (%): 79.41 <input type="checkbox"/> Porcentaje de porosidad: 49.06 Muy bajo <input checked="" type="checkbox"/> Bajo <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Alto <input type="checkbox"/> Muy Alto <input checked="" type="checkbox"/>	

Cuadro 17. Análisis químico del suelo (parcela 2, Yangunturo). Programa PIAs.

Programa para interpretación de análisis de suelos - versión 1.0 beta (Demo)			
Tarea Interpretación Reportes Ayuda			
Análisis	Abrir	Guardar	Químico
			Físico
			T. textural
			Fertilidad
			Reporte
			Ayuda
			Salir
Análisis Químico	Análisis Físico	Triángulo Textural	Fertilidad
Parámetros de Entrada Capa Arable (metros): 0.20 Textura: Arc. Densidad Aparente (g/cc): 1.30 pH: 4.76 Materia Orgánica (%): 1.78 P (mg/kg de suelo): 4.69 Ca (cmol+)/Kg de suelo: 1.72 Mg (cmol+)/Kg de suelo: 0.13 K (cmol+)/Kg de suelo: 0.24 Na (cmol+)/Kg de suelo: 0.0 H (cmol+)/Kg de suelo: 0.0 Al (cmol+)/Kg de suelo: 9.20		Resultados Nivel de pH: Muy fuertemente ácido Peso de capa arable (TM/ha): 2600.00 Materia Orgánica (TM/ha): 46.28 <input type="checkbox"/> N-orgánico (TM/ha): 2.31 <input type="checkbox"/> N- mineral (kg/ha): 57.85 <input type="checkbox"/> P disponible (kg de P2O5/ha): 28.05 <input type="checkbox"/> K disponible (kg de K2O/ha): 292.03 <input type="checkbox"/> CICE (cmol+)/Kg de suelo: 11.29 <input type="checkbox"/> Saturación de Bases (%): 18.51 <input type="checkbox"/> Saturación de Aluminio (%): 81.49 <input type="checkbox"/> Acidez cambiable (%): 81.49 <input type="checkbox"/> Porcentaje de porosidad: 50.94	
<input type="button" value="Calcular >>"/> <input type="button" value="Nuevo Análisis"/>		Muy bajo <input checked="" type="checkbox"/> Bajo <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Alto <input type="checkbox"/> Muy Alto <input checked="" type="checkbox"/>	

Cuadro 18. Análisis químico del suelo (parcela 3, Shapajal). Programa PIAs.

Programa para interpretación de análisis de suelos - versión 1.0 beta (Demo)

Tarea Interpretación Reportes Ayuda

Análisis Abrir Guardar Químico Físico T. textural Fertilidad Reporte Ayuda Salir

Análisis Químico	Análisis Físico	Triángulo Textural	Fertilidad
Parámetros de Entrada Capa Arable (metros): 0.20 Textura: Fco. Ar. Densidad Aparente (g/cc): 1.30 pH: 4.70 Materia Orgánica (%): 1.81 P (mg/kg de suelo): 3.81 Ca (cmol(+)/Kg de suelo): 1.92 Mg (cmol(+)/Kg de suelo): 0.20 K (cmol(+)/Kg de suelo): 0.26 Na (cmol(+)/Kg de suelo): 0.0 H (cmol(+)/Kg de suelo): 0.0 Al (cmol(+)/Kg de suelo): 8.90		Resultados Nivel de pH: Muy fuertemente ácido Peso de capa arable (TM/ha): 2600.00 Materia Orgánica (TM/ha): 47.06 <input type="checkbox"/> N-orgánico (TM/ha): 2.35 <input type="checkbox"/> N- mineral (kg/ha): 58.82 <input type="checkbox"/> P disponible (kg de P2O5/ha): 22.78 <input type="checkbox"/> K disponible (kg de K2O/ha): 316.37 <input type="checkbox"/> CICE (cmol(+)/Kg de suelo): 11.28 <input type="checkbox"/> Saturación de Bases (%): 21.10 <input type="checkbox"/> Saturación de Aluminio (%): 78.90 <input type="checkbox"/> Acidez cambiante (%): 78.90 <input type="checkbox"/> Porcentaje de porosidad: 50.94	
<input type="button" value="Calcular >>"/> <input type="button" value="Nuevo Análisis"/>		<input checked="" type="checkbox"/> Muy bajo <input type="checkbox"/> Bajo <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Alto <input checked="" type="checkbox"/> Muy Alto	

Correlación

Variables: ALTPR TRAT PH MO N P AL K CA MG DA

Simple Statistics

Variables	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
Altpr	53	16.77358	2.42298	889.0000	10.0000	21.0000
Trat	59	2.00000	0.83045	118.0000	1.0000	3.0000
pH	58	6.95017	2.07152	403.1100	4.0000	10.8100
MO	59	2.15085	0.05296	126.9000	2.0900	2.2300
N	59	0.09729	0.00448	5.7400	0.0900	0.1000
P	59	3.68034	0.37899	217.1400	3.1700	4.0600
Al	59	2.35881	0.27962	139.1700	0.4700	2.5000
K	59	0.15458	0.00897	9.1200	0.1400	0.1600
Ca	59	1.18576	0.06716	69.9600	1.0800	1.2400
Mg	59	0.20847	0.05436	12.3000	0.1300	0.2600
Da	59	1.38458	0.00502	81.6900	1.3800	1.3900

Pearson Correlation Coefficients

Prob > |r| under H0: Rho=0

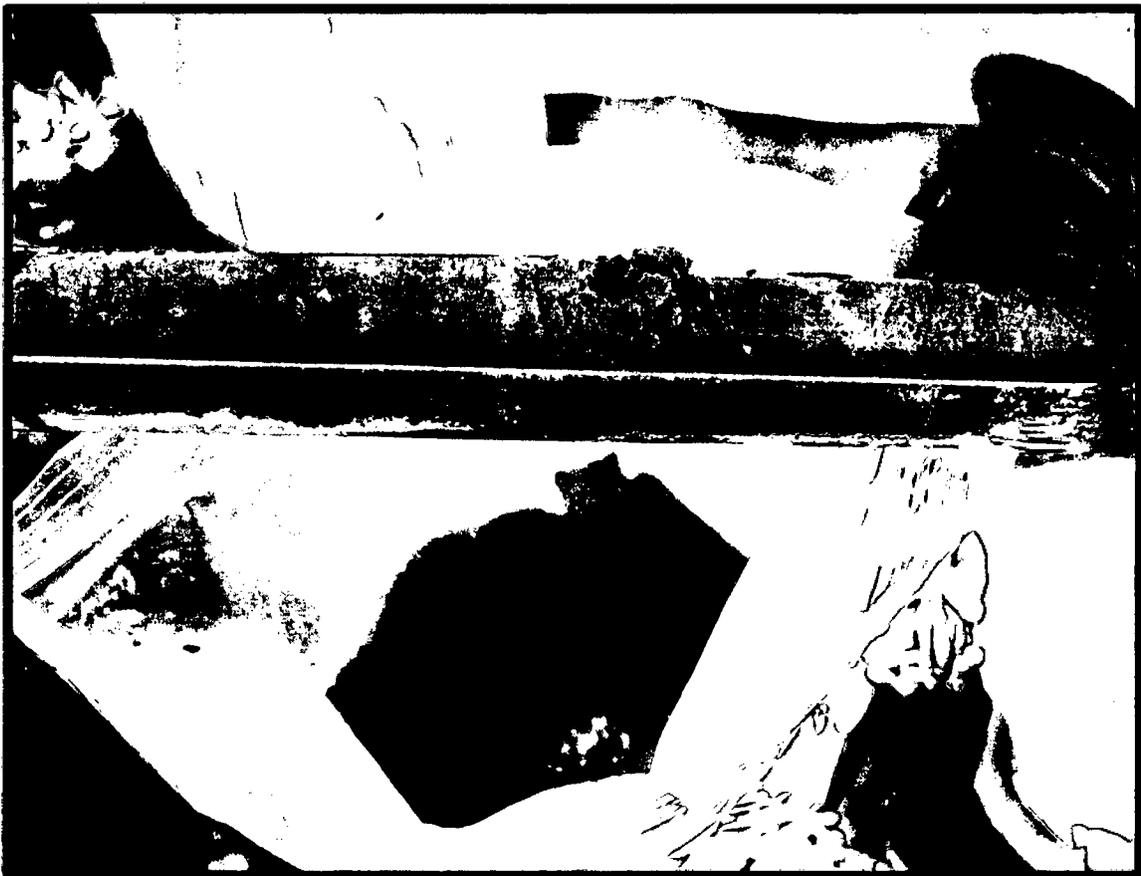
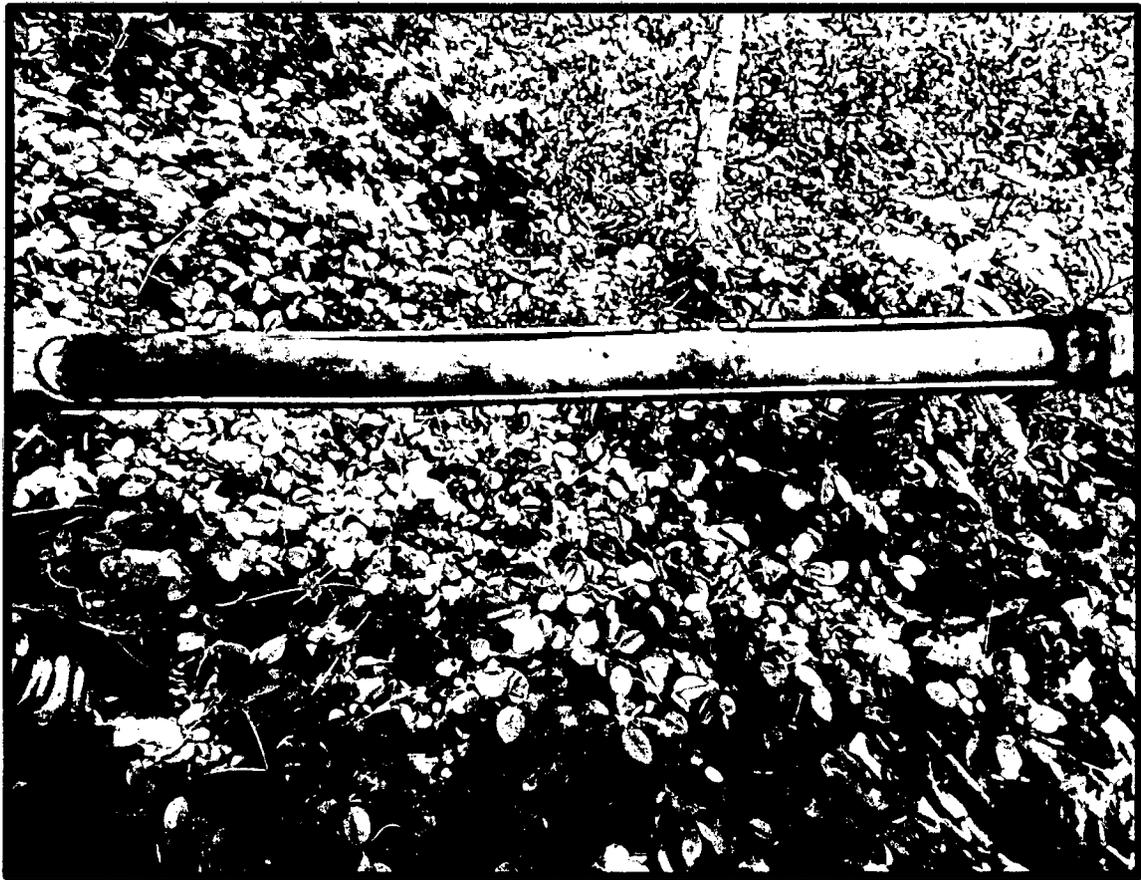
Number of Observations

	ALTPRO	TRAT	PH	MO	N	P
PH	-0.42072 0.0019	-0.14706 0.2706	1.00000	0.32638 0.0124	0.20180 0.1287	0.02109 0.8752
MO	-0.22012 0.1133	0.63119 <.0001	0.32638 0.0124	1.00000	0.70690 <.0001	0.18949 0.1506
N	-0.23650 0.0882	0.74084 <.0001	0.20180 0.1287	0.70690 <.0001	1.00000	0.82845 <.0001
P	-0.14457 0.3017	0.52863 <.0001	0.02109 0.8752	0.18949 0.1506	0.82845 <.0001	1.00000
Al	-0.09229 0.5110	0.28957 0.0261	-0.16817 0.2070	0.01474 0.9118	0.34943 0.0067	0.47340 0.0002
K	-0.23650 0.0882	0.74084 <.0001	0.20180 0.1287	0.70690 <.0001	1.00000 <.0001	0.82845 <.0001
CA	-0.20749 0.1360	0.68005 <.0001	0.13112 0.3265	0.50952 <.0001	0.96879 <.0001	0.94142 <.0001
MG	0.06275 0.6553	-0.08021 0.5459	-0.24164 0.0676	-0.63625 <.0001	0.09592 0.4699	0.63694 <.0001
DA	-0.05632 0.6887	0.28923 0.0263	-0.10390 0.4377	-0.18977 0.1500	0.56032 <.0001	0.92808 <.0001

Plantación de Shihuahuaco. Bosques Amazónicos







UNIVERSIDAD NACIONAL
BIBLIOTECA
CENTRAL
U. N. U.