



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Posgrados**

**¿Cómo interfieren las plantas introducidas y nativas en la calidad del suelo en un proceso de restauración ecológica en el sur del Ecuador?**

**María Cristina Narváez Riofrío**

**Venancio Arahana, Ph.D., Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Master en Ecología

Quito, mayo de 2015

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Posgrados**

**HOJA DE APROBACION DE TESIS**

**¿Cómo interfieren las plantas introducidas y nativas en la calidad del suelo en un proceso de restauración ecológica en el sur del Ecuador?**

**María Cristina Narváez Riofrío**

Venancio Arahana, Ph.D.

**Director de Tesis**

.....

Kelly Swing, Ph.D.

**Director Fundador de la Estación de Biodiversidad Tiputini, Profesor y Miembro del Comité de Tesis**

.....

Carlos Ruales, M.Sc

**Profesor de Ingeniería Industria y IMiembro del Comité de Tesis**

.....

Margarita Brandt, Ph.D.

**Director de la Maestría en Ecología**

.....

Stella de la Torre, Ph.D.

**Decano del Colegio de Biología**

.....

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.

**Decano del Colegio de Posgrados**

.....

Quito, mayo de 2015

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

-----

Nombre: María Cristina Narváez Riofrío

C. I.: 1712751880

Fecha: 11 de mayo del 2015

## Dedicatoria

A mis ángeles y a ti mi comando nunca me dejaste de apoyar y ahora desde donde estés quiero que sepas que aunque me tarde lo hice.

## Agradecimiento

Gracias Melito por ser mi coautor y ese gran compañero de vida que eres.

Chichito, gracias por tus consejos y apoyo, sin ellos no lo hubiese logrado; gracias Negro, Panchito, Aleja, Ñaño, Elsie, Vitu y Fanita.

Gracias caneito y sobre todo a mi uvita que me acompañó durante todo este proceso; las dos son mi fiel compañía.

## RESUMEN

Después de siete años de monitoreo de restauración ecológica en zonas degradadas en áreas de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, se evaluó la dinámica poblacional de 5 especies forestales (3 nativas y 2 introducidas) en función de tres estados de sucesión, y se indagó la influencia en la calidad del suelo mediante el uso de indicadores biológicos del suelo. Planteándose que la calidad biológica del suelo y el desarrollo fisiológico van a ser mayores en los tres lugares donde se plantaron las especies nativas, y además que la calidad tiene una relación directa positiva con la fisiología de cada especie. Para comprobar esta hipótesis se evaluaron variables fenotípicas de los árboles que intervienen directamente en la dinámica del suelo. Se tomó a la presencia de microorganismos como indicador biológico del suelo; los cuales fueron evaluados mediante la cuantificación de la biomasa microbiana y la respiración basal del suelo. Entre los principales resultados se observaron diferencias significativas entre las especies en estudio en todos los parámetros fenotípicos e indicadores biológicos del suelo, sin diferenciarse si son nativos o introducidos. Se encontró relación entre las variables fenotípicas y los indicadores biológicos del suelo, mayormente en dos especies aliso (*Alnus acuminata*) y pino (*Pinus patula*), siendo estos los arboles con mejor estado sanitario. Las especies que presentaron valores inferiores en las variables fenotípicas, mientras el guayacán (*Tabebuia chrysantha*) en las variables del suelo. En base a esta investigación es recomendable ampliar el estudio, enfocándose en como intervienen las especies nativas e introducidas en el ecosistema.

Palabras claves: restauración ecológica, suelo, indicadores biológicos.

## ABSTRACT

After a seven-year monitoring period of the ecological restoration of degraded areas within buffer zones in Podocarpus National Park, the population dynamics of 5 forestry species (3 indigenous, 2 introduced) were assessed on the basis of three succession stages, and the impact on soil quality was analyzed through the use of biological indicators. The assumptions were that the soil's biological quality and physiological development would be higher in the three areas in which indigenous species were planted, and also that there is a direct and positive correlation between soil quality and the physiology of each species. To test this hypothesis, we evaluated the phenotypic variables of trees that have a direct impact on soil dynamics. The presence of microorganisms was used as proxy for the soil quality biological indicator, and was evaluated by quantifying the microbial biomass and basal respiration of the soil. The main results included significant differences among all the phenotypic parameters of the species in the study and the soil biological indicators, with no distinction between indigenous and introduced species. Correlation was found between the phenotypic variables and the soil quality biological indicators, mainly in two species: alder (*Alnus acuminata*) and patula pine (*Pinus patula*), the two trees with the best health outcomes. The species with the lowest values were cedar (*Cedrela montana*) and guayacan (*Tabebuia chrysantha*) for the phenotypic variables, and guayacan (*Tabebuia chrysantha*) for the soil variables. Based on this research, the recommendation is to broaden the study, focusing on the impact of indigenous and introduced species on the ecosystem.

Keywords: ecological restoration, soil, biological indicators.

## Tabla de contenido

RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
Lista de Figuras .....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
Área de Estudio .....	14
Estados de sucesión en estudio .....	15
Especies seleccionadas para el estudio.....	16
Diseño experimental .....	17
Indicadores fenotípicos de las especies y de calidad del suelo.....	18
Fase de Campo .....	21
Fase de laboratorio .....	21
Análisis Estadístico .....	23
RESULTADOS.....	24
Análisis de parámetros fenotípicos de las especies nativas e introducidas.....	24
Relación de los parámetros fenotípicos con los de calidad de las especies nativas e introducidas .....	26
Análisis de varianza de los parámetros fenotípicos y de calidad de suelo de las especies nativas e introducidas .....	27
Altura Total .....	27
Altura Comercial .....	29
Ancho de Copa .....	31
Comparación de los parámetros de suelo de las especies nativas e introducidas.....	33
Respiración Basal.....	33
Biomasa Microbiana.....	35
DISCUSIÓN.....	37
REFERENCIAS .....	45

## Lista de Figuras

### FIGURAS

**Figura 1.** Ubicación geográfica del sitio de estudio

**Figura 2.** Fotografía aérea de los tres estados de sucesión

**Figura 3.** Respirómetro electrolítico de micro compensación de O<sub>2</sub>

### TABLAS

**Tabla 1.** Características y criterios de selección de las especies

**Tabla 2.** Factores de bloques al azar

**Tabla 3.** Metodología y unidades de los Indicadores fenotípicos

**Tabla 4.** Metodología y unidades de los indicadores biológicos del suelo

**Tabla 5.** Relación entre los parámetros fenotípicos de los árboles y de suelo en las cinco especies

**Tabla 6.1** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Total

**Tabla 6.2** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Total

**Tabla 7.1** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Comercial

**Tabla 7.2** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Comercial

**Tabla 8.1** Prueba de HSD Tukey: variable Ancho de Copa

**Tabla 8.2** Prueba de HSD Tukey: variable ancho de Copa

**Tabla 9.1** Prueba de HSD Tukey: variable Respiración Basal

**Tabla 9.2** Prueba de HSD Tukey: variable Respiración Basal

**Tabla 10.1** Prueba de HSD Tukey: variable Biomasa Microbiana

**Tabla 10.2** Prueba de HSD Tukey: variable Biomasa Microbiana

### GRÁFICO

**Gráfico 1.** Supervivencia global de las especies de árboles estudiados

**Gráfico 2.** Supervivencia de las especies de árboles estudiadas por cada estado de sucesión

**Gráfico 3.** Estado sanitario de los árboles estudiados

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador es considerado uno de los países con mayor biodiversidad del mundo, caracterizado por los bosques tropicales y los Andes, llegando a tener records mundiales por su representativa flora (Gunter, et al., 2009). Además los Andes orientales son considerados puntos calientes de biodiversidad (Gonzales & Ordóñez, 2009).

La biodiversidad de los bosques tropicales está disminuyendo de forma acelerada, llegando a tener niveles muy altos de deforestación, como lo estimó la Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO) la pérdida de 450 millones de hectáreas de bosque tropical entre 1960 y 1990, con una tasa de deforestación de más del 2% en la década de 1990 (James, 2006). Este fenómeno en el Ecuador es mayor a 150.000 hectáreas por año; alcanzando uno de los niveles más altos en Latinoamérica (Aguirre, 2007). La deforestación afecta la calidad de los ecosistemas y es causada por varios factores directos e indirectos como son: colonización, situación socio económica de la población y de la región, introducción de plantas, turismo, agricultura, etc. Por ejemplo el 90% de toda la deforestación en los trópicos es provocada por la extensión de tierras para la agricultura. La deforestación está produciendo un descenso en la calidad del ecosistema y pérdida de la biodiversidad; dejando como derivación tierras agrícolamente improductivas y con pobres condiciones naturales (Abreu, et al., 2008 y James, 2006).

Los programas de reforestación generalmente han tenido fines comerciales, protección, recreación y, en su gran mayoría, se han usado especies introducidas como pino y eucalipto (Aguirre, 2007). Con la finalidad de recuperar ecosistemas de una manera integral, se ha incluido una nueva disciplina en los procesos de

reforestación que es la restauración ecológica (Callaham, Rhoades, & Heneghan, 2008). La restauración ecológica es el proceso de apoyo a la regeneración de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos (Gann & Lamb , 2006). Este proceso brinda un enfoque integral en el que se puede incluir elementos propios del hábitat, que permiten la rehabilitación de la biodiversidad propia del lugar.

Para la restauración ecológica, el estudio del suelo es relevante en el mantenimiento y viabilidad de la biodiversidad de los ecosistemas nativos, por la interacción y relaciones inter e intra-específicas que tiene con las estructuras del mismo (Callaham, Rhoades, & Heneghan, 2008).

El estudio del suelo es un proceso de restauración ecológica que se basa en analizar la relación existente con la vegetación y otros elementos del ecosistema (Saetre, 1998). Por lo cual en esta investigación se tiene como referencia suelos intervenidos por factores antropogénicos (quemados, cortados o inundados) y luego abandonados. Para determinar la calidad ecológica actual de los suelos se toma a la biomasa microbiana y respiración basal como un indicador ecológico del suelo. Ya que estos indicadores ayudan a la formación estructural del suelo y a su estabilización, debido a que la biomasa microbiana es el componente funcional de la microbiota del suelo, responsable de la descomposición y reconversión de la materia orgánica y la transformación de nutrientes; definiéndose como una de las partes vivas de la materia orgánica del suelo (Acosta & Paolini, 2006). Y la respiración basal es la actividad metabólica del suelo en reposo sin adición de sustratos orgánicos, considerando la principal fuente de CO<sub>2</sub> del ecosistema terrestre (Yuste, Ma, & Baldocchi, 2010).

La investigación constituye un agregado del proyecto realizado por Aguirre (2007), donde se propuso la rehabilitación de pasturas degradadas en ecosistemas de bosque tropical de montaña en la región Sur del Ecuador, en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus. Este Parque tiene una extensión de 144.993 hectáreas. Su topografía se caracteriza por presentar un relieve muy irregular formado por montañas y colinas, además de tener valles y laderas escarpadas. Cuenta con lagunas de origen glacial en las partes altas de los páramos, de donde nacen cuencas hidrográficas importantes como la Catamayo – Chira, Chinchipe, Zamora y Nangaritzza (MAE, 2015).

En la investigación realizada por Aguirre (2007) se sembró 9 especies de árboles (7 nativas y 2 introducidas) con la finalidad de rehabilitar los pastos degradados. Cada una de las especies fue sembrada en tres estados de sucesión, clasificados en pastos, helechos y arbustos de acuerdo a su dinámica ecológica.

En el presente estudio, se tomaron datos de 5 especies (3 nativas y 2 introducidas) en los tres estados de sucesión. Se evaluó si existe una diferencia en el aspecto fenotípico y en la calidad del suelo entre las especies nativas e introducidas debido a que en algunas investigaciones mencionan que las plantas introducidas alteran la dinámica y composición del suelo por los aspectos morfológicos y fenotípicos de la planta (Ehrenfeld, 2003).

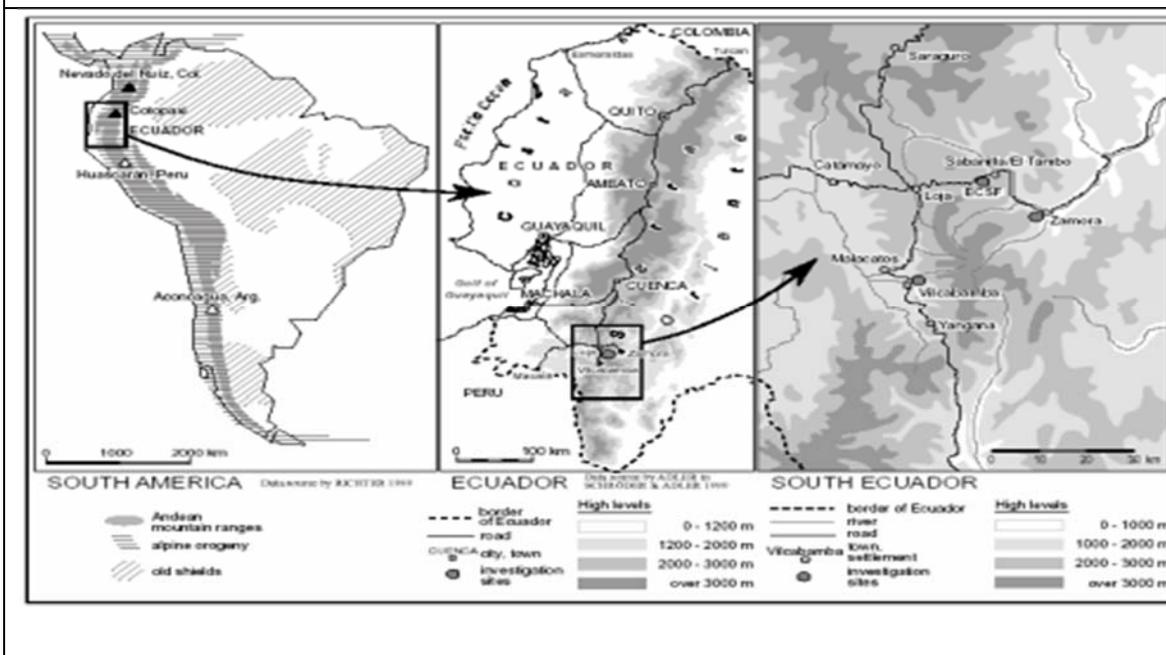
Se planteó investigar si existe una diferencia en el aspecto fenotípico y en la calidad del suelo entre las especies nativas e introducidas; y si las características fisiológicas de una planta influyen directamente en la calidad del suelo en un proceso de restauración natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

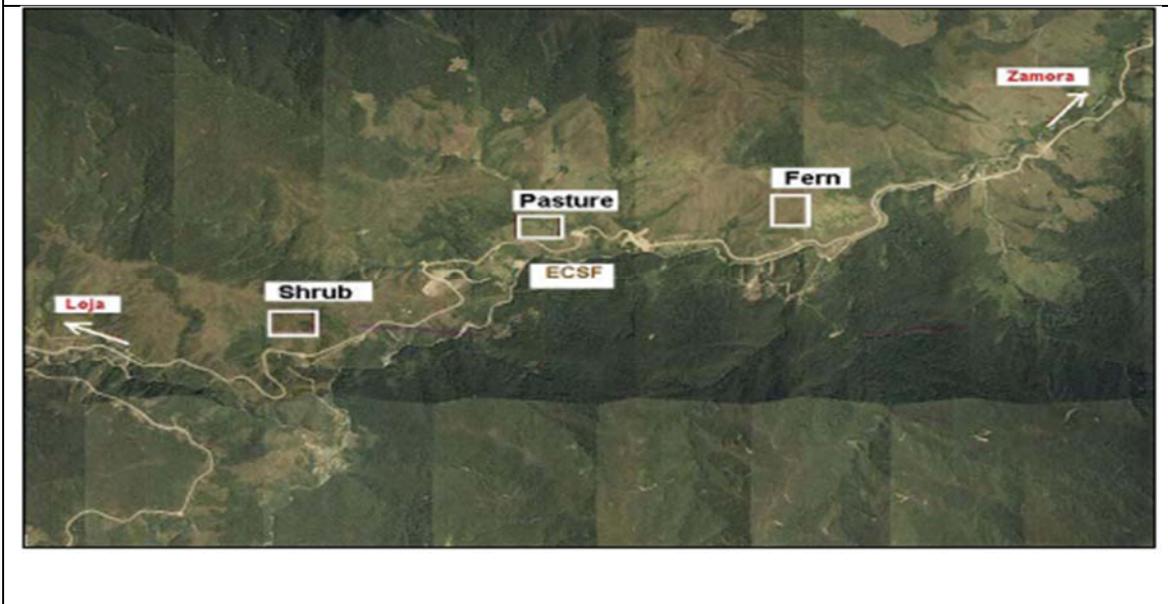
### Área de Estudio

El área de estudio está ubicado en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, en la cuenca del Río San Francisco, en la Provincia de Zamora Chinchipe. Se encuentra en un rango altitudinal de 1,800 a 2,200 msnm, la media anual de temperatura es de 19°C y 13°C según la ubicación altitudinal y la época del año, posee un clima húmedo tropical; las zonas de vida son bosque siempre verde montano bajo, bosque siempre verde montano alto y subparamo (Aguirre, 2007) (Figura 1 ).

**Figura 1.** Ubicación geográfica del sitio de estudio (Aguirre, 2007)



**Figura 2.** Fotografía aérea de los tres estados de sucesión (Aguirre, 2007)



#### Estados de sucesión en estudio

Según Aguirre (2007), se describe los estados de sucesión donde se realizaron los estudios como:

- Pastizales. - entre 1800 a 2100 msnm, topografía irregular con una inclinación del 53 (6-90) %, cobertura vegetal del 100%, dominan las gramíneas *Setaria sphacelata*, *Melinis minutiflora*, *Axonopus compressus* y árboles remanentes de *Piptocoma discolor*, *Isertia laevis* y *Tabebuia chrysantha*.
- Helecho. - entre 1850 a 2100 msnm, con topografía irregular y una inclinación de 69 (10 – 100) %, dominan los helechos como *Pteridium arachnoideum*, los arbustos remanentes son *Nectandra membranaceae*, *Inga sp*, *Ageratina dendroides*, y *Baccharis latifolia*.

- Arbustos. - entre 2000 a 2200 msnm, topografía irregular con una inclinación de 44 (5 – 55) %, dominan las hierbas, helechos y arbustos *Ageratina dendroides*, *Myrsine andina*, *Brachyotum sp.*, existen algunos árboles remanentes como *Vismia ferruginea*, *Tabebuia chrysantha*, *Clethra sp.*

#### Especies seleccionadas para el estudio

La selección de las especies para la investigación se la hizo según los siguientes criterios (Aguirre, 2007):

- Especies con madera valiosa en el mercado local, regional y nacional
- Especies de carácter pionero para facilitar el crecimiento rápido y la provisión de ambientes para el crecimiento de especies más lentas
- Especies de árboles con algún inconveniente en su estado de conservación
- Especies con valor agregado para el ecosistema (leguminosas, frutos comestibles por animales)
- Especies útiles en la protección del suelo
- Especies con más de un uso potencial (utilizadas para madera, leña y otros), y
- Especies de crecimiento rápido

Las características de las especies utilizadas en esta investigación se describen en la Tabla 1 (Aguirre, 2007):

**Tabla 1.** Características y criterios de selección de las especies (Aguirre, 2007).

<b>Familia</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Características</b>	<b>Criterios de Selección</b>
Meliaceae	<i>Cedrela montana</i>	cedro	Tolerante a la sombra	a, c, f
Bignoniaceae	<i>Tabebuia chrysantha</i>	guayacán	Tolerante a la sombra	a, c
Pinaceae	<i>Pinus patula</i>	pino	Introducida	f, g
Myrtaceae	<i>Eucalyptus saligna</i>	eucalipto	Introducida	f, g
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	aliso	Demandante de Luz	a, b, d, e, f, g
a. madera valiosa, b. demandante de luz, c. crítica para conservación, d. fijador nitrógeno, e. protección suelo, f. uso múltiple, g. crecimiento rápido.				

### Diseño experimental

El estudio se dividió en dos fases: en la fase de campo se estudió los indicadores fenotípicos y se recolectó las muestras del suelo; y en la fase de laboratorio se analizó los indicadores de la calidad del suelo.

Se tomaron como base las unidades experimentales (UE) que se incorporaron en la primera etapa de la investigación de Aguirre (2007), con un diseño experimental dispuesto en bloques completos al azar (Tabla 2).

**Tabla 2.** Factores de bloques al azar (Aguirre, 2007)

<b>Factor</b>	<b>Número</b>	<b>Detalle</b>
Estado de sucesión	3	Pasto  Helecho  Arbusto
Tratamiento	1	Sin eliminación de especies competitivas
Especies	5	<i>Alnus acuminata</i> "aliso"  <i>Pinus patula</i> "pino"  <i>Tabebuia chrysantha</i> "guayacán"  <i>Cedrela montana</i> "cedro"  <i>Eucalyptus saligna</i> "eucalipto"
Repetición	8	Todas las especies, en cada sitio
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	

Indicadores fenotípicos de las especies y de calidad del suelo

Para obtener las medidas de los indicadores fenotípicos de las especies vegetales y de calidad del suelo se continuó con la metodología planteada en la tesis previa a este estudio de Gonzales & Ordoñez (2009) (Tablas 3 y 4).

**Tabla 3.** Metodología y unidades de los Indicadores fenotípicos

<b>Indicador Fenotípico</b>	<b>Metodología</b>	<b>Unidad</b>
Sobrevivencia	Se constató la existencia o no de la planta	%
Altura total	Se determinó con una cinta métrica, desde la base de la planta hasta la yema apical más alta	cm.
Altura comercial	Se midió con una cinta métrica, desde la base del tallo hasta la primera ramificación.	cm.
Ancho de la copa	Fue tomado con una cinta métrica dos medidas, la primera correspondió al ancho más grande y la segunda a 90° con respecto a la primera. Posteriormente se obtuvo el promedio de las dos medidas.	cm.
Estado Sanitario	1: excelente (sin lesiones de plagas o enfermedades)	Cualitativamente

	<p>2: muy bueno (lesiones en un 25% del área foliar)</p> <p>3: regular (lesiones en un 50% del área foliar y el tallo)</p> <p>4: malo (lesiones &gt; al 75% del área foliar y el tallo)</p>	
--	---	--

**Tabla 4.** Metodología y unidades de los Indicadores biológicos del suelo

<b>Indicador biológico del suelo</b>	<b>Metodología</b>	<b>Unidad</b>
Biomasa microbiana	Respirómetro electrolítico de micro compensación de O <sub>2</sub>	μg O <sub>2</sub> *h <sup>-1</sup> *g soil dw <sup>-1</sup>
Respiración basal	Respirómetro electrolítico de micro compensación de O <sub>2</sub>	μg Cmic*g soil dw <sup>-1</sup>

## Fase de Campo

En la implementación del estudio se estableció unidades experimentales completamente al azar (Aguirre, 2007), donde se tomaron las muestras. Estudiando 120 unidades experimentales (10.8 x 10.8 m), divididas en 3 grupos de 40 unidades experimentales para cada estado de sucesión. En cada unidad experimental se tomó las muestras de suelo y se midió los datos de las variables fenotípicas de los árboles que la conformaban (25 árboles de cada especie por unidad experimental).

Las muestras de suelo se las recogió en la época lluviosa (septiembre a diciembre), debido al incremento de la actividad microbiana (Schweitzer, et al., 2008). En cada unidad experimental se tomó una muestra general conformada por 10 submuestras. Las submuestras fueron tomadas debajo de la copa de 10 árboles escogidos al azar y dentro de un radio de 25 a 50 cm según el tamaño del árbol (Schweitzer, et al., 2008), retirando la hojarasca, piedras y animales en un cuadrante de 20 x 20cm (Kourtev, Ehrenfeld, & Haggblom, 2002), la profundidad de la muestra fue de los primeros 5 cm usando un metal corer (diámetro 5cm) (Eisenhauer, et al., 2010).

Se recogió 500 gramos de suelo, que se homogenizó por unidad experimental y se guardó en fundas plásticas herméticas, posteriormente se colocó en un refrigerador a 5°C para evitar la evaporación y absorción de luz (Eisenhauer, et al., 2010).

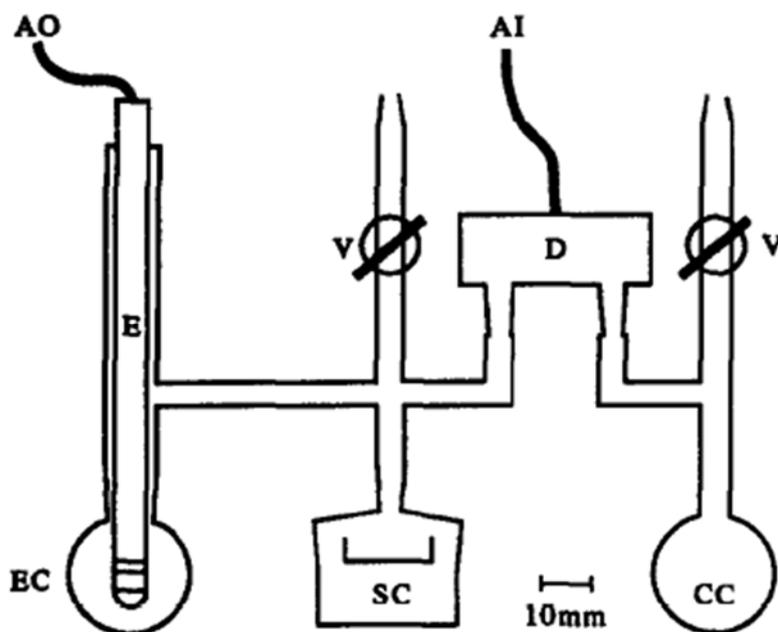
## Fase de laboratorio

El equipo que se usó para medir la Biomasa Microbiana C (Cmic) y la Respiración Basal fue un respirómetro electrolítico de micro-compensación de O<sub>2</sub> (Figura 3), el cual mide en forma constante los cambios de la presión atmosférica utilizando dos cámaras; en la una se coloca la muestra a estudiarse y la otra cámara sirve de

control; las cámaras son sumergidas en un recipiente con agua a una temperatura de 22°C (Scheu, 1992).

La unidad detectora está conectada a un amplificador, que en conjunto con un convertidor análogo a digital es controlado por un computador que almacena los resultados (Scheu, 1992). (Figura 3).

**Figura 3.** Respirómetro electrolítico de micro compensación de O<sub>2</sub> (Scheu, 1992).



SC: muestra de suelo  
 EC: cámara electrolítica  
 E: electrodo integrado  
 CC: cámara de control  
 D: detector electrónico de presión  
 V: válvulas  
 AI: amplificador  
 AO: electrodo con el generador de impulso de corriente

Para obtener el valor de la respiración microbiana se controló la temperatura a 22° centígrados por intervalos de 20 minutos por 24 horas. La respiración basal ( $\mu\text{g O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g soil dry mass}^{-1}$ ) fue determinada sin adición de sustrato y medida a partir de la diferencia de las tasas de consumo de  $\text{O}_2$  de 14 a 24 horas. Posteriormente se añadió la glucosa para saturar las enzimas catabólicas de los microorganismos ( $4 \text{ mg/g dry mass solved in } 400 \mu\text{g deionized water}$ ), de esta manera se indujo la respiración, obteniendo la respuesta de respiración microbiana. La máxima respuesta respiratoria inicial (MIRR;  $\mu\text{g O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g soil drymass}^{-1}$ ) es la media de las tres lecturas más bajas dentro de las 10 primeras horas. Así la biomasa microbiana ( $\mu\text{g C/g soil dry mass}$ ) fue calculada como  $38 \times \text{MIRR}$ . El cociente específico respiratorio (cociente de oxígeno metabólico  $q\text{O}_2$ ;  $\mu\text{g O}_2 \cdot \text{mg Cmic}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) fue calculado como una medida de eficiencia metabólica de la comunidad microbiana dividiendo la respiración basal por la biomasa microbiana (Eisenhauer, et al., 2010)

#### Análisis Estadístico

Se obtuvieron los parámetros estadísticos básicos de varianza y media; y las correlaciones entre las variables fenotípicas (altura total, altura comercial, ancho de copa y estados sanitarios) y las variables del suelo estudiadas (respiración basal y biomasa microbiana). Con la ayuda del programa informático IBM SPSS Statistics 22 Core System, (IBM, 2008 ) y en base a un Diseño de Bloques Completos al Azar se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) inter especies e inter zonal. Las medias fueron comparadas por una Prueba de Tukey.

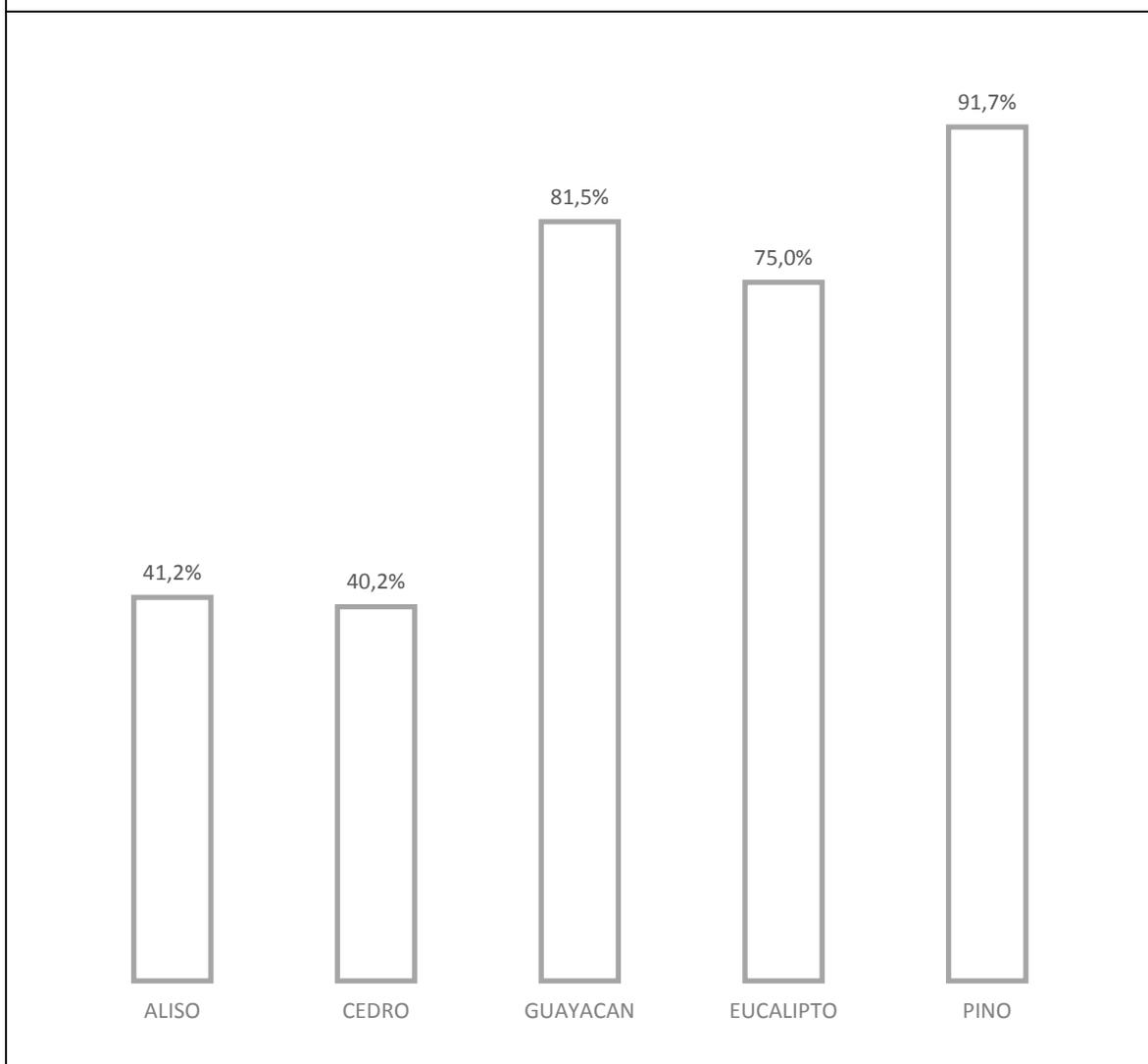
## RESULTADOS

Análisis de parámetros fenotípicos de las especies nativas e introducidas

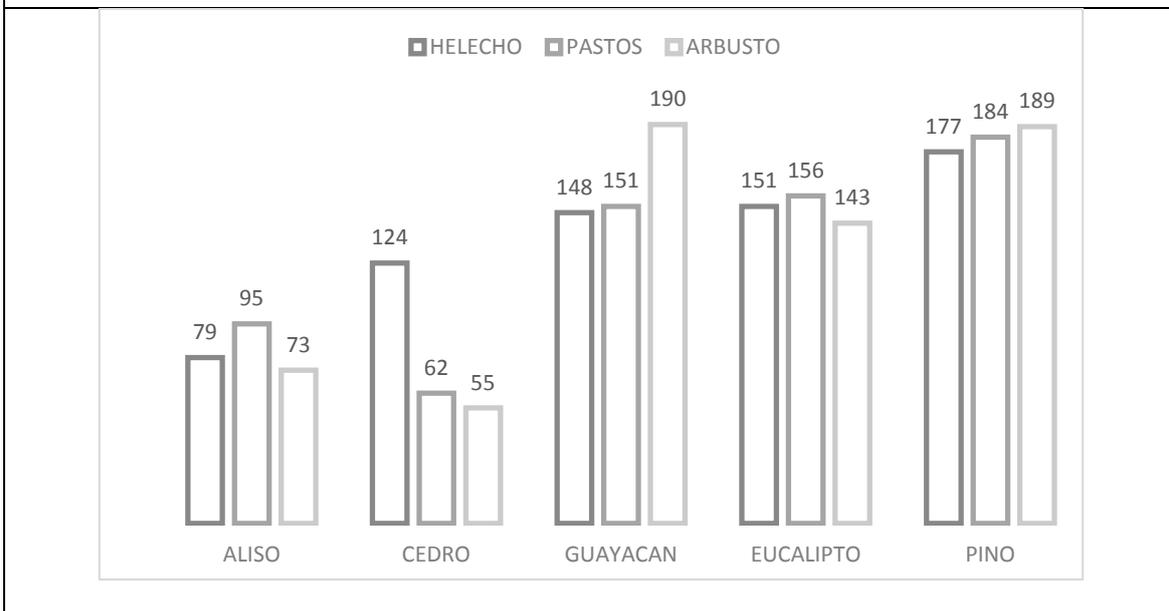
A continuación se muestran en los gráficos la sobrevivencia de cada una de las especies: en forma general y por cada estado de sucesión. (Gráficos 1 y 2)

Obteniendo una mayor sobrevivencia del pino seguido por el guayacán y demás especies.

**Gráfico 1.** Sobrevivencia global de las especies de árboles estudiados

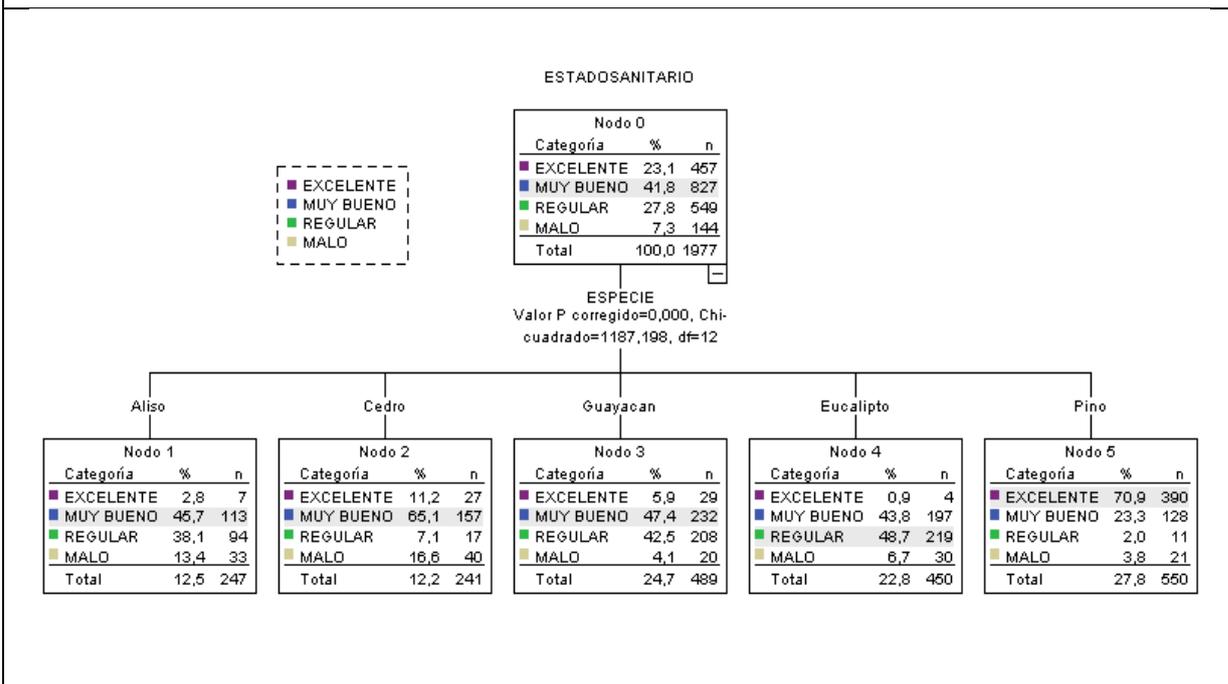


**Gráfico 2.** Supervivencia de las especies de árboles estudiadas por cada estado de sucesión.



En el Gráfico 3, se muestra un árbol de clasificación, con los porcentajes del estado sanitario de las especies estudiadas.

**Gráfico 3.** Estado Sanitario de los árboles estudiados



Relación de los parámetros fenotípicos con los de calidad de las especies nativas e introducidas

Para comparar la relación que tienen las variables parámetros fenotípicos con las variables de los parámetros de suelo se realizó una tabla donde se reflejan las correlaciones existentes. La correlación es significativa en el nivel 0,01; la correlación es significativa en el nivel 0,05.

**Tabla 5.** Relación entre los parámetros fenotípicos de los árboles y de suelo en las cinco especies

ESPECIE		ALISO		CEDRO		GUAYACAN		EUCALIPTO		PINO	
PARAMETRO	ESTADISTICA	RESPIRACIÓN BASAL	BIOMASA MICROBIANA								
ALTURA TOTAL	Correlación de Pearson	,072	-,106	-,001	-,117	,115	-,097	-,029	-,120	,396**	,447**
	Sig. (bilateral)	,262	,096	,992	,069	,011	,031	,542	,011	,000	,000
	N	247	247	241	241	489	489	450	450	550	550
ALTURA COMERCIAL	Correlación de Pearson	,058	-,117	,000	-,114	,118**	-,116	-,024	-,124**	,389**	,451**
	Sig. (bilateral)	,362	,066	,995	,077	,009	,010	,610	,009	,000	,000
	N	247	247	241	241	489	489	450	450	550	550
ESTADO SANITARIO	Correlación de Pearson	,309**	,384**	-,111	,007	,030	-,009	,031	,210**	-,247**	-,370**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,086	,915	,512	,849	,515	,000	,000	,000
	N	247	247	241	241	489	489	450	450	550	550
ANCHO DE COPA	Correlación de Pearson	-,005	-,175**	,028	-,064	,089	-,080	-,014	-,076	,397**	,504**
	Sig. (bilateral)	,934	,006	,665	,323	,048	,077	,760	,109	,000	,000
	N	247	247	241	241	489	489	450	450	550	550
** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).											
* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).											
.1 A .2	Correlación baja										
.3 A .4	Correlación media										
.5 EN ADELANTE	Correlación alta										

Análisis de varianza de los parámetros fenotípicos y de calidad de suelo de las especies nativas e introducidas

Altura Total

Se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre dos grupos: cedro y guayacán vs el resto de especies estudiadas (Tabla 6.1).

**Tabla 6.1** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Total

ALTURA TOTAL						
HSD Tukey						
(I) ESPECIE		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95%	
					Límite inferior	Límite superior
Aliso	Cedro	,9874*	,05634	0,000	,8336	1,1412
	Eucalipto	,2081*	,04928	,000	,0736	,3427
	Guayacan	1,0551*	,04857	0,000	,9225	1,1877
	Pino	-,9259*	,04766	0,000	-1,0560	-,7958
Cedro	Aliso	-,9874*	,05634	0,000	-1,1412	-,8336
	Eucalipto	-,7793*	,04967	0,000	-,9149	-,6436
	Guayacan	,0677	,04897	,639	-,0660	,2014
	Pino	-1,9133*	,04807	0,000	-2,0445	-1,7820
Eucalipto	Aliso	-,2081*	,04928	,000	-,3427	-,0736
	Cedro	,7793*	,04967	0,000	,6436	,9149
	Guayacan	,8470*	,04065	0,000	,7360	,9580
	Pino	-1,1340*	,03955	0,000	-1,2420	-1,0260
Guayacan	Aliso	-1,0551*	,04857	0,000	-1,1877	-,9225
	Cedro	-,0677	,04897	,639	-,2014	,0660
	Eucalipto	-,8470*	,04065	0,000	-,9580	-,7360
	Pino	-1,9810*	,03868	0,000	-2,0866	-1,8754
Pino	Aliso	,9259*	,04766	0,000	,7958	1,0560
	Cedro	1,9133*	,04807	0,000	1,7820	2,0445
	Eucalipto	1,1340*	,03955	0,000	1,0260	1,2420
	Guayacan	1,9810*	,03868	0,000	1,8754	2,0866

Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,387.  
 \*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

**Tabla 6.2** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Total

ALTURA TOTAL					
HSD Tukey <sup>a,b,c</sup>					
ESPECIE	N	Subconjunto			
		A	B	C	D
Guayacan	489	-,8840			
Cedro	241	-,8163			
Eucalipto	450		-,0370		
Aliso	247			,1711	
Pino	550				1,0970
Sig.		,602	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 350,058.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de

c. Alfa = 0,05.

## Altura Comercial

Igual que en la variable anterior se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cedro y guayacán vs el resto de especies (Tabla 7.1).

**Tabla 7.1** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Comercial

ALTURA COMERCIAL						
HSD Tukey						
(I) ESPECIE		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95%	
					Límite inferior	Límite superior
Aliso	Cedro	1,1138*	,05622	0,000	,9603	1,2673
	Eucalipto	,3227*	,04917	,000	,1884	,4569
	Guayacan	1,1783*	,04847	0,000	1,0460	1,3107
	Pino	-,7932*	,04756	0,000	-,9230	-,6633
Cedro	Aliso	-1,1138*	,05622	0,000	-1,2673	-,9603
	Eucalipto	-,7911*	,04956	0,000	-,9265	-,6558
	Guayacan	,0645	,04887	,679	-,0689	,1979
	Pino	-1,9070*	,04796	0,000	-2,0379	-1,7760
Eucalipto	Aliso	-,3227*	,04917	,000	-,4569	-,1884
	Cedro	,7911*	,04956	0,000	,6558	,9265
	Guayacan	,8557*	,04056	0,000	,7449	,9664
	Pino	-1,1158*	,03947	0,000	-1,2236	-1,0081
Guayacan	Aliso	-1,1783*	,04847	0,000	-1,3107	-1,0460
	Cedro	-,0645	,04887	,679	-,1979	,0689
	Eucalipto	-,8557*	,04056	0,000	-,9664	-,7449
	Pino	-1,9715*	,03859	0,000	-2,0769	-1,8661
Pino	Aliso	,7932*	,04756	0,000	,6633	,9230
	Cedro	1,9070*	,04796	0,000	1,7760	2,0379
	Eucalipto	1,1158*	,03947	0,000	1,0081	1,2236
	Guayacan	1,9715*	,03859	0,000	1,8661	2,0769

Se basa en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,386.  
 \*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

**Tabla 7.2** Prueba de HSD Tukey: variable Altura Comercial

ALTURA COMERCIAL					
HSD Tukey <sup>a,b,c</sup>					
ESPECIE	N	Subconjunto			
		A	B	C	D
Guayacan	489	-,8983			
Cedro	241	-,8338			
Eucalipto	450		-,0427		
Aliso	247			,2800	
Pino	550				1,0732
Sig.		,644	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 350,058.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños

c. Alfa = 0,05.

## Ancho de Copa

Se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre dos grupos: cedro y guayacán vs el resto de especies estudiadas (Tabla 8.1).

**Tabla 8.1** Prueba de HSD Tukey: variable Ancho de Copa

ANCHO DE COPA						
HSD Tukey						
(I) ESPECIE		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95%	
					Límite inferior	Límite superior
Aliso	Cedro	1,2350*	,05832	0,000	1,0757	1,3942
	Eucalipto	,8439*	,05101	0,000	,7046	,9831
	Guayacan	1,3068*	,05028	0,000	1,1695	1,4441
	Pino	-,5328*	,04934	0,000	-,6675	-,3981
Cedro	Aliso	-1,2350*	,05832	0,000	-1,3942	-1,0757
	Eucalipto	-,3911*	,05142	,000	-,5315	-,2507
	Guayacan	,0719	,05070	,616	-,0666	,2103
	Pino	-1,7678*	,04976	0,000	-1,9037	-1,6319
Eucalipto	Aliso	-,8439*	,05101	0,000	-,9831	-,7046
	Cedro	,3911*	,05142	,000	,2507	,5315
	Guayacan	,4630*	,04208	0,000	,3481	,5778
	Pino	-1,3767*	,04094	0,000	-1,4885	-1,2649
Guayacan	Aliso	-1,3068*	,05028	0,000	-1,4441	-1,1695
	Cedro	-,0719	,05070	,616	-,2103	,0666
	Eucalipto	-,4630*	,04208	0,000	-,5778	-,3481
	Pino	-1,8396*	,04004	0,000	-1,9490	-1,7303
Pino	Aliso	,5328*	,04934	0,000	,3981	,6675
	Cedro	1,7678*	,04976	0,000	1,6319	1,9037
	Eucalipto	1,3767*	,04094	0,000	1,2649	1,4885
	Guayacan	1,8396*	,04004	0,000	1,7303	1,9490

Se basa en las medias observadas.  
 \*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

**Tabla 8.2** Prueba de HSD Tukey: variable Ancho de Copa

ANCHO DE COPA					
HSD Tukey <sup>a,b,c</sup>					
ESPECIE	N	Subconjunto			
		A	B	C	D
Guayacan	489	-,8331			
Cedro	241	-,7612			
Eucalipto	450		-,3701		
Aliso	247			,4737	
Pino	550				1,0066
Sig.		,578	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 350,058.  
 b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños  
 c. Alfa = 0,05.

Comparación de los parámetros de suelo de las especies nativas e introducidas

### Respiración Basal

Se encontró que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre aliso y eucalipto y entre el cedro, pino y guayacán; existiendo diferencias significativas entre estos dos grupos.

**Tabla 9.1** Prueba de HSD Tukey: variable Respiración Basal

RESPIRACIÓN BASAL						
HSD Tukey						
(I) ESPECIE		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95%	
					Límite inferior	Límite superior
Aliso	Cedro	-,57907*	,088378	,000	-,82037	-,33777
	Eucalipto	-,03898	,077296	,987	-,25002	,17206
	Guayacan	-,39370*	,076196	,000	-,60174	-,18566
	Pino	-,49849*	,074764	,000	-,70261	-,29436
Cedro	Aliso	,57907*	,088378	,000	,33777	,82037
	Eucalipto	,54008*	,077914	,000	,32736	,75281
	Guayacan	,18537	,076823	,112	-,02438	,39512
	Pino	,08058	,075404	,823	-,12529	,28646
Eucalipto	Aliso	,03898	,077296	,987	-,17206	,25002
	Cedro	-,54008*	,077914	,000	-,75281	-,32736
	Guayacan	-,35472*	,063763	,000	-,52881	-,18063
	Pino	-,45950*	,062045	,000	-,62890	-,29010
Guayacan	Aliso	,39370*	,076196	,000	,18566	,60174
	Cedro	-,18537	,076823	,112	-,39512	,02438
	Eucalipto	,35472*	,063763	,000	,18063	,52881
	Pino	-,10479	,060669	,417	-,27043	,06086
Pino	Aliso	,49849*	,074764	,000	,29436	,70261
	Cedro	-,08058	,075404	,823	-,28646	,12529
	Eucalipto	,45950*	,062045	,000	,29010	,62890
	Guayacan	,10479	,060669	,417	-,06086	,27043

Se basa en las medias observadas.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

**Tabla 9.2** Prueba de HSD Tukey: variable Respiración Basal

RESPIRACIÓN BASAL			
HSD Tukey <sup>a,b,c</sup>			
ESPECIE	N	Subconjunto	
		A	B
Aliso	247	-,31552	
Eucalipto	450	-,27654	
Guayacan	489		,07818
Pino	550		,18296
Cedro	241		,26355
Sig.		,984	,088

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la

c. Alfa = 0,05.

## Biomasa Microbiana

Se encontró que no existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre guayacán y eucalipto; y entre eucalipto, cedro y aliso; existiendo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el guayacán frente al cedro y el aliso; y en el pino frente a todas las otras especies en estudio.

**Tabla 10.1** Prueba de HSD Tukey: variable Biomasa Microbiana

BIOMASA MICROBIANA						
HSD Tukey						
(I) ESPECIE		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95%	
					Límite inferior	Límite superior
Aliso	Cedro	-,00181	,088698	1,000	-,24398	,24037
	Eucalipto	,11849	,077575	,545	-,09331	,33030
	Guayacan	,28154*	,076471	,002	,07275	,49033
	Pino	-,26772*	,075034	,003	-,47259	-,06286
Cedro	Aliso	,00181	,088698	1,000	-,24037	,24398
	Eucalipto	,12030	,078196	,537	-,09320	,33380
	Guayacan	,28335*	,077100	,002	,07284	,49385
	Pino	-,26592*	,075676	,004	-,47253	-,05930
Eucalipto	Aliso	-,11849	,077575	,545	-,33030	,09331
	Cedro	-,12030	,078196	,537	-,33380	,09320
	Guayacan	,16305	,063993	,081	-,01167	,33776
	Pino	-,38622*	,062269	,000	-,55623	-,21620
Guayacan	Aliso	-,28154*	,076471	,002	-,49033	-,07275
	Cedro	-,28335*	,077100	,002	-,49385	-,07284
	Eucalipto	-,16305	,063993	,081	-,33776	,01167
	Pino	-,54926*	,060888	0,000	-,71550	-,38302
Pino	Aliso	,26772*	,075034	,003	,06286	,47259
	Cedro	,26592*	,075676	,004	,05930	,47253
	Eucalipto	,38622*	,062269	,000	,21620	,55623
	Guayacan	,54926*	,060888	0,000	,38302	,71550

Se basa en las medias observadas.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

**Tabla 10.2** Prueba de HSD Tukey: variable Biomasa Microbiana

<b>BIOMASA MICROBIANA</b>				
HSD Tukey <sup>a,b,c</sup>				
ESPECIE	N	Subconjunto		
		A	B	C
Guayacan	489	-,25963		
Eucalipto	450	-,09659	-,09659	
Aliso	247		,02191	
Cedro	241		,02371	
Pino	550			,28963
Sig.		,179	,482	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 Se basa en las medias observadas.  
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 350,058.  
 b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica  
 c. Alfa = 0,05.

## DISCUSIÓN

Son varias investigaciones que hablan del cambio de la estructura del ecosistema por la presencia de especies introducidas (Abreu, Llambí, & Sarmiento, 2008); además de investigaciones como la de Batten, et al (2008) quienes mencionan que las plantas introducidas inducen cambios en la composición de la comunidad microbiana del suelo. A partir de estas teorías surgió la pregunta de investigación: ¿Existe alguna diferencia en las variables del aspecto fenotípico y de la calidad del suelo entre las especies nativas e introducidas?

La pregunta, ¿las características fisiológicas de una planta influyen directamente con la calidad del suelo? surgió al analizar varios estudios que hablan de la relación de los diferentes factores ecológicos con la función que tienen en el ecosistema; y cómo estos influyen en los cambios de la interacción de las plantas con el suelo (Schweitzer, et al., 2008). Como un ejemplo la investigación de Batten, et al (2008) habla de una exudación radicular que existe a través de la comunidad de la rizófora. Esta afecta la disponibilidad de nutrientes; y a los microorganismos del suelo; los mismos que se relacionan con la productividad de la planta y la composición de la comunidad de la rizófora.

Al realizar un análisis de todas las variables fenotípicas y de calidad de suelo se evidenció que no existe un patrón de varianza entre las especies introducidas o nativas; sin embargo cada especie muestra características específicas en cada una de las variables. Como se explica en la investigación de Gonzales & Ordoñez (2009) cada especie tiene varios criterios y características de selección que influyen en las variables estudiadas. Es por eso que los análisis se hicieron por cada especie estudiada.

El pino fue seleccionado por tener un uso múltiple y un rápido crecimiento; como lo menciona Gonzales & Ordoñez (2009). Aguirre (2007) publicó que el pino tenía una sobrevivencia del 91.7%; valor superior al del resto de especies en estudio. Este valor se mantuvo igual en la presente investigación. Eso demuestra que el pino ha tenido 0% de mortalidad en dos años.

El pino es la especie que muestra mayor altura total, altura comercial y ancho de copa que las demás especies; esto se debe a que el pino se caracteriza por su rápido crecimiento. En el caso del estado sanitario también demuestra una superioridad al resto de especies con un valor del 79.9% de su población definida como “excelente”.

Ehrenfeld (2003) menciona en su investigación que las especies invasoras aumentan la biomasa y la producción primaria neta. En este caso se rectifica esto ya que el pino tiene altos niveles de biomasa microbiana a comparación con el resto de especies. En la respiración basal muestra niveles intermedios con las otras especies.

El aliso fue seleccionado por ser una planta demandante de luz, tener una madera valiosa, tener características de fijador nitrógeno, brindar protección al suelo, ser de uso múltiple, y tener un crecimiento rápido; así es como lo describe Gonzales & Ordoñez (2009). La sobrevivencia del aliso en la investigación de Aguirre (2007) es del 56,6% y en esta investigación es del 41,2 %, mostrando una mortalidad del 15.4% en dos años. El aliso a comparación del resto de las especies ocupa el cuarto lugar en la sobrevivencia.

Al analizar la altura total, comercial y ancho, el aliso ocupa el segundo lugar en estas variables, y tiene un 45,7% de su población total equivalente a “muy bueno” en el estado sanitario.

El aliso tiene valores inferiores en la biomasa microbiana a comparación con el resto de especies, a su vez en la respiración basal muestra los niveles más bajos del estudio. Esto se debe a que existen cualidades en las plantas que afectan a la dinámica de los nutrientes del suelo. Estos son: tamaño de la planta, índice del área foliar, estacionalidad, fenología, los efectos sobre la rizosfera, la cantidad y composición de exudado radicular, entre otros (Ehrenfeld, 2003). De esta forma se justifica que las cualidades del aliso hayan intervenido en los resultados de los parámetros de calidad de suelo.

El eucalipto al igual que el pino fue seleccionado por poseer uso múltiple y un acelerado crecimiento; así lo mencionan Gonzales & Ordoñez (2009). El eucalipto tiene un 91.5% de sobrevivencia en la investigación de Aguirre (2007) y en la actual investigación tiene un 75%; teniendo un 16,5% de mortalidad en dos años. En las variables de altura total, altura comercial y ancho de copa ocupa el tercer puesto entre las cinco especies; sin embargo en el estado sanitario es el que muestra peores índices ya que tiene un valor del 48,7% de su población total en estado "regular".

Los resultados de los estudios de especies introducidas, frente a las nativas son variados, y pueden ser clasificados de acuerdo a las relaciones que tienen entre el ecosistema y la nueva especie. Estas relaciones clasifican a las especies como facilitadoras, equivalentes, inhibidoras y compensadoras del ecosistema. En este caso el ambiente ha sido un facilitador para que los agentes bióticos afecten el estado sanitario del eucalipto; así como en la práctica el eucalipto se

vuelve un agente inhibidor de otras especies del ecosistema que crecen en su base (Sax, Kinlan, & Smith, 2005).

De igual manera sucede que las especies exóticas se relacionan con el ecosistema externo afectando por ejemplo el equilibrio de la comunidad del suelo nativo; lo que puede desatar aumento de hongos y bacterias. Esta relación evita que exista competencia volviéndolo vulnerable o más fuerte, dependiendo las condiciones externas del hábitat (Wolfe & Klironomos, 2005).

En el caso del eucalipto, la biomasa microbiana es media en sus valores a comparación con el resto de especies, de eso también habla Ehrenfeld (2003), quien menciona que a pesar de que algunos estudios mencionen a las plantas invasoras con altos valores en biomasa, no es un patrón general ya que factores ambientales pueden cambiar la estructura. En el caso del eucalipto; sus aspectos fisiológicos no son tan buenos como el pino y esto influye para no tener una buena biomasa microbiana. En la respiración basal, el eucalipto muestra niveles bajos al mismo nivel que el aliso.

El guayacán es tolerante a la sombra, tiene una madera valiosa, y es una especie crítica para la conservación, así es como Gonzales & Ordoñez (2009), la describe en sus criterios y características de selección. La sobrevivencia del guayacán en la investigación de Aguirre (2007) es del 94,2% y en esta investigación tiene un 81.5%, presentando una mortalidad del 12,7% en dos años. En las variables de altura total, altura comercial y ancho de copa muestra valores bajos, semejantes a los del cedro. El 65,1% de la población total de guayacán está en un estado sanitario "muy bueno".

La interacción de las plantas vecinas de un mismo ecosistema genera una competencia entre ellas en el desarrollo. Este fenómeno ocurre naturalmente cuando las plantas nativas del mismo ecosistema se encuentran distribuidas de manera normal, ya están adaptadas a las mismas condiciones. El guayacán está sometido a una competencia natural de este tipo, sin establecer alguna ventaja o una inhibición para su desarrollo por lo que factores externos no cuantificados podrían afectar su desarrollo (Schneider, Law, & Illian, 2006).

En la biomasa microbiana el guayacán es bajo en sus valores a comparación con el resto de especies. En la respiración basal muestra niveles intermedios entre las otras especies.

Los criterios y características de selección del cedro fueron el ser tolerante a la sombra, madera valiosa, ser una especie crítica para la conservación y ser de uso múltiple; según Gonzales & Ordoñez (2009). En la investigación de Aguirre (2007) muestra un 68,9% de sobrevivencia, y en la presente muestra el 40,2%, mostrando una mortalidad del 28,7%, siendo la especie con menor sobrevivencia en esta investigación. Al igual que el guayacán en las variables de altura total, altura comercial y ancho de copa muestra valores bajos. En el estado sanitario muestra un 65,1% del total de su población en estado "muy bueno".

En la biomasa microbiana, el cedro es medio en sus valores a comparación con el resto de especies. En la respiración basal muestra niveles superiores entre las otras especies.

Para determinar la relación entre las características fenotípicas de la planta y la calidad del suelo se hizo un análisis que determinó:

- Existe una correlación positiva alta en el pino entre la ancho de copa y biomasa microbiana;
- En el aliso, eucalipto y cedro la altura total y la altura comercial tienen una correlación negativa baja y mediana con la biomasa microbiana;
- En el pino la altura total y la altura comercial tienen una correlación positiva baja y mediana con la biomasa microbiana;
- En el pino y el guayacán la altura total y la altura comercial tienen una correlación positiva baja y mediana con la respiración basal;
- El estado sanitario tiene una correlación positiva media entre el aliso y eucalipto.
- El estado sanitario tiene una correlación positiva media en el pino.

Las interacciones de las plantas con el suelo son positivas cuando existe una disponibilidad de nutrientes, y negativas cuando existe un agotamiento o inmovilización de los nutrientes (Bezemer, et al., 2006), por lo que se necesita de parámetros nutricionales del suelo para determinar si la calidad de éste está directamente relacionada con las características fenotípicas de las plantas.

La disponibilidad de nutrientes del suelo viene de la mano con la composición de la vegetación y la dominancia de las especies debido a la relación que se da por la exudación de las raíces en la rizófora descargando gran cantidad de nutrientes (Bardgett, et al., 1999).

De la misma manera para que las plantas tengan una influencia en la composición del suelo, es necesario que exista una dominancia de una especie en un ecosistema (Bezemer, et al., 2006), por lo que la presente investigación ha mostrado el efecto de esto a pequeña escala.

Las comunidades microbianas responden al cambio del uso del suelo en un lapso amplio de tiempo. Eisenhauer, et al. (2010) menciona de la importancia de ampliar las investigaciones de la comunidad microbiana por un lapso prolongado para ayudar a que el tiempo no sea un factor limitante de los resultados del funcionamiento de las comunidades microbianas en el ecosistema.

Los parámetros apropiados para determinar la calidad de suelo fue la biomasa microbiana; ya que la comunidad microbiana es la que regula la producción primaria neta de un ecosistema, ayudando a la mineralización de los nutrientes de la parte orgánica del suelo, y aportando con las necesidades de nutrientes minerales de las plantas (Cleveland, Townsend, Constance, Ley, & Schmidt, 2004)

A pesar que el pino muestre valores altos en todos sus parámetros, se debe analizar de forma más amplia, ya que las plantas exóticas alteran la dinámica del suelo, por la química de sus tejidos, la fenología y morfología de la planta; como lo menciona Ehrenfeld (2003). De igual manera lo señala Gunter, et al. (2009) que el realizar reforestación de plantas exóticas a gran escala llevan a homogenizar el ecosistema y traen problemas ecológicos como: la alteración en composición del suelo.

La composición del suelo de un ecosistema es alterado por la estructura vegetal que es causada por la invasión de las plantas introducidas afectando indirectamente al proceso de un ecosistema, así Wolfe & Klironomos (2005) señalan en su investigación. Con esto, se puede deducir que los dos parámetros de calidad de suelo que usamos en esta investigación son una muestra de la interacción microbiana en este estudio.

Se realizó un análisis individual del árbol con el suelo. Esto permite ver la necesidad de ampliar el espectro de la investigación. El ampliar el espectro de la investigación es importante, ya que cada planta cumple su función en el ecosistema, y la finalidad de la restauración ecológica es la conservación de la biodiversidad.

Este estudio sirve de base para otras investigaciones, analizando el desarrollo del entorno de las parcelas que fueron estudiadas para poder determinar el éxito de la restauración ecológica. Por lo tanto, hay que reforzar el presente estudio con investigaciones de grupos funcionales de plantas, donde las interacciones positivas entre los efectos y contrastes que se estudian en las especies son el resultado de una relación lineal entre la diversidad y el funcionamiento del ecosistema (Eisenhauer, et al., 2010).

## REFERENCIAS

- Abreu, Z., Llambí, L. D., & Sarmiento, L. (2008). Sensitivity of Soil Restoration Indicators during Paramo Succession in the High Tropical Andes: Chronosequence and Permanent Plot Approaches. *Restoration Ecology*, 1 - 10.
- Acosta, Y., & Paolini, J. (2006). Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la Península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos. *Multiciencias*, 180 - 187.
- Aguirre, N. (2007). Silvicultural contributions to the reforestation with native species. *Dissertation* (p. 145). TU Munchen: Lehrstuhl für Waldbau.
- Bardgett, R., Mawdsley, J., Edwards, S., Hobbs, P., Rodwell, J., & Davies, W. (1999). Plant Species and Nitrogen Effects on soil biological properties of temperate upland grasslands. *Functional Ecology*, 650 - 660.
- Batten, K., Scow, K., & Espeland, E. (2008). Soil Microbial Community Associated with an Invasive Grass Differentially Impacts Native Plant Performance. *Microbial ecology*, 220 - 228.
- Bezemer, M., Lawson, C., Hedlund, K., Edwards, A., Brook, A., Igual, J., . . . van der Putten, W. (2006). Plant species and functional group effects on abiotic and microbial soil properties and plant soil responses in two grasslands. *Journal of Ecology*, 893 - 904.
- Callahan, M., Rhoades, C., & Heneghan, L. (2008). A Striking Profile: Soil Ecological Knowledge in. *Restoration Ecology*, 604 - 607.
- Cleveland, C., Townsend, A., Constance, B., Ley, R., & Schmidt, S. (2004). Soil Microbial Dynamics in Costa Rica: Seasonal and Biogeochemical Constraints. *Biotropica*, 184 - 195.
- Ehrenfeld, J. (2003). Effects of Exotic Plant Invasions on Soil Nutrient Cycling Processes. *Ecosystems*, 503 - 523.
- Eisenhauer, N., Bebler, H., Engels, C., Gleixner, G., Habekost, M., Milcu, A., . . . Scheu, S. (2010). Plant diversity effects on soil microorganisms support the singular hypothesis. *Ecology*, 485 - 496.
- Gann, G., & Lamb, D. (2006, enero). *Society for ecological Restoration*. Retrieved from [www.ser.org](http://www.ser.org)
- Gonzales, D. U., & Ordóñez, M. F. (2009). *Evaluación de 8 especies forestales plantadas en tres etapas de sucesión vegetal en la estación científica San Francisco, Provincia de Zamora Chinchipe*. Loja: Tesis de Grado previa a la Obtención del Título de Ingeniero Forestal.
- Gunter, S., Gonzalez, P., Álvarez, G., Aguirre, N., Palomeque, X., Haubrich, F., & Weber, M. (2009). Determinants for successful reforestation of abandoned pastures in the Andes. *Forest Ecology and Management*, 81 - 91.
- IBM. (2008). SPSS Statistics 22 Core System.

- James, B. (2006). Agriculture and Deforestation in the Tropics: A Critical Theoretical and Empirical Review. *Springer*, 9 - 16.
- Kourtev, P., Ehrenfeld, J., & Haggblom, M. (2002). Exotic plant species alter the microbial community structure and function un the soil. *Ecology*, 3152 - 3166.
- MAE. (2015, Marzo 22). *Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Retrieved from [www.ambiente.gob.ec](http://www.ambiente.gob.ec)
- Saetre, P. (1998). Decomposition, microbial community strudture, and earthworm effects along a birch - spruce soil gradient. *Ecology*, 834 - 846.
- Sax, D., Kinlan, B., & Smith, K. (2005). A Conceptual Framework for comparing species assemblages in native and exotics habitats. *Wiley*, 475 - 464.
- Scheu, S. (1992). Automated measurement of the respiratory response of soil microcompartments: Active Microbial Biomass in Earthworm faeces. *Soil Biol. Biochem*, 1113 - 1118.
- Schneider, M., Law, R., & Illian, J. (2006). Quantification of neighbourhood-dependent plant growth by Bayesian hierarchical modelling. *British Ecological Society*, 310 - 321.
- Schweitzer, J., Bailey, J., Fischer, D., LeRoy, C., Lonsdorf, E., Whitham, T., & Hart, S. (2008). Plant - Soil - Microorganism interactions: heritable relationship between plant genotype and associated soil microorganisms. *Ecology*, 773 - 781.
- Wolfe, B., & Klironomos, J. (2005). Breaking new ground: Soil Communities and exotic plant invasion. *BioScience*, 477 - 487.
- Yuste, C., Ma, S., & Baldocchi, D. (2010). Plant soil interactions and acclimation to temperature of microbial mediated soil respiration may affect predictions of soil CO<sub>2</sub> efflux. *Springer*, 127 - 138.