



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**EFFECTO DE LOS RASGOS FUNCIONALES DE ESPECIES FORESTALES
CON LAS CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE UN BOSQUE
ANDINO DEL ECUADOR**

AUTOR: ALARCÓN CASTELLANOS, ANDREA ESTEFANÍA

DIRECTOR: Ing. VILLACÍS BUENAÑO, JAIME EMILIANO, Ph. D.

SANGOLQUÍ

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“EFECTO DE LOS RASGOS FUNCIONALES DE ESPECIES FORESTALES CON LAS CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE UN BOSQUE ANDINO DEL ECUADOR”*** fue realizado por la señorita ***Alarcón Castellanos, Andrea Estefanía*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de enero de 2019

Firma:



.....

Ing. Jaime Emiliano Villacís Buenaño, Ph. D.

CC: 1710004076



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Alarcón Castellanos, Andrea Estefanía*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Efecto de los rasgos funcionales de especies forestales con las características edafológicas de un bosque andino del Ecuador* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 10 de enero de 2019

Firma:



Alarcón Castellanos Andrea Estefanía

CC: 1721717310



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, Alarcón Castellanos, Andrea Estefanía autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: Efecto de los rasgos funcionales de especies forestales con las características edafológicas de un bosque andino del Ecuador en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 10 de enero de 2019

Firma:

.....
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andrea Estefanía Alarcón Castellanos', is written over a horizontal dotted line.

Alarcón Castellanos Andrea Estefanía

CC: 1721717310

DEDICATORIA

A mi hijo

Joaquín Emilio

por ser mi inspiración y motivación

para culminar la carrera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco

A Dios y a la Santísima Virgen por el milagro de la vida.

A mis padres Marco y Rita, apoyo fundamental en mi vida

A mi hermana Michelle, más que hermana una gran amiga, confidente y por regalarme un angelito en mi vida, mi sobrino Josué.

A mis ángeles en el cielo Mami Rosa y Papi Fausto por las grandes enseñanzas

A toda mi familia por el apoyo brindado a lo largo de mi vida

Al Ing. Jaime Villacís por darme la confianza para realizar este proyecto y guiarme a lo largo del mismo.

Agradezco al Ing. Pablo Landázuri y Lic. Taco por su apoyo desinteresado en la etapa de laboratorio.

A mis amigos por los momentos compartidos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS**CARÁTULA****CERTIFICACIÓNi****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD ii****AUTORIZACIÓN iii****DEDICATORIAiv****AGRADECIMIENTO v****ÍNDICE DE CONTENIDOSvi****ÍNDICE DE TABLASxi****ÍNDICE DE FIGURAS xii****RESUMEN xiii****ABSTRACTxiv****CAPÍTULO I****INTRODUCCIÓN**

1.1 Planteamiento y justificación del problema3

1.2 Objetivos4

1.2.1 General4

1.2.2 Específicos4

1.3 Hipótesis.....5

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1	Bosques Altoandinos y su importancia	6
2.2	Matorral altoandino	7
2.3	Matorral húmedo montano	7
2.4	Diversidad funcional	8
2.5	Rasgos funcionales	8
2.5.1	Área foliar (AF).....	9
2.5.2	Área foliar específica (AFE)	9
2.5.3	Contenido foliar de materia seca (CFMS).....	10
2.5.4	Fuerza tensil foliar (FTF)	10
2.5.5	Densidad de Madera (DM).....	10
2.5.6	Contenido foliar de nitrógeno (CFN)	10
2.5.7	Contenido foliar de fósforo (CFP)	10
2.6	Rasgos funcionales y su relación ambiental.....	10
2.7	Tipos funcionales de plantas (TFPs)	11
2.8	Suelos andinos.....	12
2.9	Características de las especies forestales a ser evaluadas	12
2.9.1	<i>Aegiphila ferruginea</i> Hayek & Spruce.....	12

2.9.2	<i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	13
2.9.3	<i>Bacharis latifolia</i>	13
2.9.4	<i>Brachyotum ledifolium</i> (Desr.) Triana	13
2.9.5	<i>Buddleja bullata</i> Ruiz y Pav.....	14
2.9.6	<i>Citharexylum ilicifolium</i> Kunth.....	14
2.9.7	<i>Cleome anomala</i> Kunth.....	15
2.9.8	<i>Euphorbia laurifolia</i> Lam.	15
2.9.9	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	15
2.9.10	<i>Inga insignis</i> Kunth.	16
2.9.11	<i>Juglans neotropica</i> Diels.....	16
2.9.12	<i>Miconia crocea</i> (Desr.) Naudin.....	17
2.9.13	<i>Miconia papillosa</i> (Desr.) Naudin.....	17
2.9.14	<i>Monnina obtusifolia</i> Kunth	18
2.9.15	<i>Morella pubescens</i> H.B ex Wild	18
2.9.16	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	18
2.9.17	<i>Myrcianthes</i> sp. (Kunth) McVaugh.....	19
2.9.18	<i>Oreopanax ecuadorensis</i> Seem.....	19
2.9.19	<i>Phenax rugosus</i> (SW) Wedd.....	20
2.9.20	<i>Phyllanthus salviifolius</i> Kunth.	20

2.9.21 <i>Piper Barbatum</i> Kunth	21
2.9.22 <i>Prunus serotonina</i> Ehrh	21
2.9.23 <i>Sambucus nigra</i> L.....	21
2.9.24 <i>Tournefortia fuliginosa</i> Kunth	22
2.9.25 <i>Vallea stipularis</i> L. f.....	22

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio.....	24
3.2 Selección de especies	24
3.2.1 Evaluación de los rasgos funcionales de plantas.....	27
3.3 Determinación de características edafológicas	28
3.4 Variables Climáticas	29
3.5 Análisis estadístico.....	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados	30
4.1.1 Rasgos Funcionales	30
4.1.2 Variables edafológicas	32
4.1.3 Tipos Funcionales de Plantas (TFP).....	34

4.2	Relaciones entre variables	37
4.2.1	Rasgos funcionales y características edafológicas.	37
4.2.2	Rasgos funcionales y variables climáticas	39
4.3	Discusión.....	41
4.3.1	Tipos funcionales de plantas	41
4.3.2	Relaciones entre rasgos funcionales y las variables edafológicas y climáticas	43
4.3.3	Implicaciones para el manejo sostenible.....	45

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	47
5.2	Recomendaciones.....	48
5.3	Bibliografía.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Nombre vulgar, nombre científico y usos de las especies a evaluar.....</i>	26
Tabla 2	<i>Promedio \pm error estándar de los rasgos funcionales de 25 especies arbóreas presentes en el bosque</i>	30
Tabla 3	<i>Promedio \pm error estándar (coeficiente de variación) de las medidas de resumen de los rasgos funcionales de 25 especies arbóreas</i>	31
Tabla 4	<i>Promedio \pm error estándar de las medidas de resumen de las variables</i>	32
Tabla 5	<i>Promedio \pm error estándar (coeficiente de variación) de las medidas de resumen de las características de los suelos de 25 especies arbóreas</i>	33
Tabla 6	<i>MANOVA para los tres TFPs y prueba de comparación de vectores medios de Hotelling.....</i>	34
Tabla 7	<i>Especies pertenecientes a los tres TFPs de especies arbóreas caracterizados</i>	35
Tabla 8	<i>ANOVA de los rasgos funcionales para los Tipos funcionales de Plantas</i>	36
Tabla 9	<i>ANOVA de las características edafológicas de los suelos para los Tipos Funcionales de Plantas</i>	36
Tabla 10	<i>Relaciones entre rasgos funcionales y características edafológicas de los suelos</i>	37
Tabla 11	<i>Relaciones entre rasgos funcionales y variables climáticas</i>	39

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i>	Ubicación geográfica de las 25 especies arbóreas	25
<i>Figura 2</i>	Dendograma de clasificación de los rasgos funcionales de las 25 especies arbóreas	34
<i>Figura 3</i>	Relaciones entre las características edafológicas de los suelos aledaños y los rasgos funcionales de las especies arbóreas.....	38
<i>Figura 4</i>	Relaciones entre variables climáticas y los rasgos funcionales de las especies arbóreas	40

RESUMEN

El manejo adecuado del recurso forestal, suelo y clima, contribuye a la conservación de los bosques andinos; es por esto que se evaluaron los rasgos funcionales y las características edafológicas de los suelos aledaños a 25 especies arbóreas de un bosque andino, con el fin de determinar los tipos funcionales de plantas y sus relaciones con las variables climáticas. Se seleccionaron 3 individuos de cada especie y se midieron 6 rasgos foliares (área foliar, área foliar específica, fuerza tensil foliar, contenido foliar de materia seca, contenido foliar de nitrógeno y fósforo) y dos de tallo (densidad de la madera y DAP). Además se recolectó 1kilo de suelo cercano a cada individuo evaluado, donde se determinó: ph, SDT, conductividad eléctrica, macro y micronutrientes, materia orgánica, contenido de carbono, nitrógeno y fósforo. Mediante un análisis multivariado se obtuvo tres tipos funcionales de plantas denominados adquisitivo-intermedio, que indica que realizan un eficiente ciclaje de nutrientes; el grupo conservativo que posee características de fijación de Carbono y especies de rápido crecimiento, finalmente el grupo adquisitivo que se destaca porque sus especies son de lento crecimiento y fijadoras de nitrógeno. Además, se encontraron relaciones significativas entre los rasgos funcionales con las variables climáticas y edafológicas, estas determinan el tamaño de hojas y fuste, crecimiento de las especies, disponibilidad de carbono y nutrientes en el suelo. Este estudio permite establecer estrategias de manejo y conservación de los recursos de un bosque andino en relación con las especies, componente climático y fertilidad del suelo.

Palabras clave:

- **TIPOS FUNCIONALES DE PLANTAS**
- **FERTILIDAD DE SUELO**
- **VARIABLES CLIMATICAS**

ABSTRACT

The adequate management of the forest resource, soil and climate, contributes to the conservation of the Andean forests; that is why the functional features and soil characteristics of the soils surrounding 25 tree species of an Andean forest were evaluated in order to determine the functional types of plants and their relationships with climatic variables. Three individuals of each species were selected and 6 foliar traits were measured (leaf area, specific leaf area, leaf tensile strength, dry matter content, foliar content of nitrogen and phosphorus) and two of stem (wood density and DBH). In addition, one kilogram of soil was collected from each individual evaluated, which determined: pH, SDT, electrical conductivity, macro and micronutrients, organic matter, carbon content, nitrogen and phosphorus. By means of a multivariate analysis, three functional types of so-called acquisitive-intermediate plants were obtained, indicating that they perform an efficient cycling of nutrients; the conservative group that has Carbon fixation characteristics and fast growing species, finally the purchasing group that stands out because its species are slow growing and nitrogen fixers. In addition, significant relationships were found between the functional features with the climatic and pedological variables, these determine the size of leaves and stem, growth of the species, availability of carbon and nutrients in the soil. This study allows us to establish management strategies and conservation of the resources of an Andean forest in relation to the species, climatic component and soil fertility.

Keywords:

- **FUNCTIONAL TYPES OF PLANTS**
- **FERTILITY OF SOIL**
- **CLIMATIC VARIABLES**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los bosques de la Cordillera de Los Andes poseen gran diversidad biológica (Abud, 2016; MAE, 2012); estos albergan especies vegetales como: *Bacharis latifolia*, *Miconia crocea*, *Piper barbatum*, *Brachyotum ledifolium*, *Monnina obtusifolia*, *Morella pubescens*, *Euphorbia laurifolia*, *Prunus serótina*, *Alnus acuminata*, *Oreopanax ecuadorensis*, *Aegiphila ferruginea*, *Buddleja bullata*, *Vallea stipularis*, *Tournefortia fuliginosa*, entre otras (De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008). El suelo del bosque está cubierto por musgos (*Polytrichum commune*), selaginelas (*Selaginella* sp.), colchón de pobre (*Lycopodium clavatum*) y muchas otras plantas que funcionan como esponjas que absorben y acumulan grandes cantidades de agua que se infiltra en el suelo o se escurre superficialmente dando origen a riachuelos, quebradas y ríos que descienden a las zonas bajas (Kvist, Aguirre, & Sánchez, 2006).

Para las comunidades vegetales, su distribución está determinada por diferentes factores ambientales como las características del suelo y el clima; siendo este último el principal responsable (Bermeo, 2010). Cuando alguno de dichos factores cambia, en especial las condiciones climáticas, la estructura y composición de los ecosistemas también pueden sufrir modificaciones. La respuesta por parte de las plantas y animales depende de la intensidad y velocidad del cambio en las condiciones climáticas, si el cambio es paulatino y con poca intensidad, es probable que gran parte de las especies logre evolucionar y sus descendencias se adapten a las nuevas condiciones ambientales. Pero, si el cambio se produce con gran intensidad y en período relativamente corto, un bajo porcentaje de la biodiversidad logra adaptarse a esos

cambios, lo que produce la extinción de las especies con baja capacidad de amortiguamiento (Gómez & De Groot, 2008).

Los suelos predominantes en los bosques andinos corresponden al orden de los andisoles, o también conocidos como suelos negros. Estos suelos poseen alto contenido de materia orgánica y una elevada tasa de infiltración, que permite que la recarga del agua del suelo y de los acuíferos provocando el mantenimiento de los caudales de los ríos (Tobón, 2009). El cambio en los patrones climáticos sumado a acciones antropogénicas tales como deforestación, quemas y aumento de la población humana, afectan a los bosques Andinos y por ende su gran diversidad florística (MAE, 2012). Estos problemas provocan la disminución de la cantidad de agua disponible para los humanos (FAO, 2001).

Las investigaciones de los ecosistemas, a partir de metodologías que contemplan el estudio de la ecología funcional, permiten evaluar el esfuerzo energético que tienen las plantas en la construcción de sus rasgos funcionales para así adaptarse al suelo (Casanoves, Pla, & Di Rienzo, 2011). Cuando estos rasgos son comparados, se logran encontrar asociaciones de especies vegetales a partir del análisis de sus rasgos funcionales (Diaz & Cabido, 2001; Swenson & Enquist, 2008). Estudios sobre análisis de diversidad funcional y variables edafológicas, resaltan: a) la importancia del entendimiento de las dinámicas funcionales de los ecosistemas, y b) el establecimiento de los principales indicadores adaptativos de los grupos de plantas a éstas variaciones (Sarmiento, Cadena, Sarmiento, Zapata, & León, 2013).

La relación de los rasgos funcionales con la disponibilidad de nutrientes del suelo, no está cuantificada en forma global debido a las limitaciones geográficas, por lo que solamente se han

encontrado relaciones entre pocas especies arbóreas con algunas características edafológicas (Ordoñez, y otros, 2009).

En este estudio se encontraron relaciones entre los rasgos funcionales de las comunidades arbóreas presentes en un bosque andino, las características de los suelos y las variables climáticas de la zona; para así aportar en el conocimiento sobre el comportamiento de las comunidades vegetales en función de las variables edafológicas y climáticas; con lo que se valora la importancia de los bosques andinos para los asentamientos humanos así como la importancia del entendimiento de las dinámicas edafológicas y climáticas. Se estableció a partir de rasgos funcionales de tallo y hojas, la variación en las comunidades arbóreas evaluadas, con el fin de determinar los TFP que poseen las especies arbóreas, acorde con las características edafológicas y con las variables climáticas de la zona. Estos aspectos son importantes para la planeación y manejo sustentable de los bosques afectados por factores antropogénicos y climáticos.

1.1 Planteamiento y justificación del problema

Los bosques andinos cumplen un rol clave en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos (Tobón, 2009). Actividades antrópicas como alta productividad agrícola y ganadera en esta zona generan alto grado de degradación de los bosques (Márquez, 2000). Una herramienta que podría ayudar a tomar medidas de conservación de los bosques naturales es el análisis de diversidad funcional; sin embargo no existe información documentada al respecto que ayude a desarrollar planes de conservación (Sarmiento, Cadena, Sarmiento, Zapata, & León, 2013).

El conocimiento de caracteres funcionales de especies arbóreas, permiten llevar a cabo estrategias para el manejo sostenible del recurso forestal (Salgado & Paz, 2015). Además

permiten identificar tipos funcionales de plantas cuyas especies muestren respuestas similares a las condiciones medioambientales (Quintero & Amado, 2017). Por otro lado el conocimiento de las relaciones entre los rasgos funcionales, las características edafológicas y climáticas, pueden facilitar las estrategias de manejo y conservación de los bosques andinos.

En ese entorno el presente estudio busca contribuir con el conocimiento de los caracteres funcionales de 25 especies arbóreas presentes en un paisaje agrícola andino mediante la identificación de tipos funcionales de plantas y sus relaciones con variables climáticas y características edafológicas. De esta manera se pueden definir los puntos estratégicos para el manejo sostenible de un bosque andino.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Determinar las relaciones entre las características edafológicas y los rasgos funcionales de veinte y cinco especies forestales presentes en un bosque andino.

1.2.2 Específicos

Determinar los rasgos funcionales de 25 especies forestales para construir grupos funcionales de especies dentro del bosque andino.

Analizar las características físicas y químicas de los suelos que circunscriben a las especies forestales.

Evaluar las relaciones entre los rasgos funcionales con las características físicas y químicas de los suelos y las variables climáticas de la zona.

1.3 Hipótesis

Los rasgos funcionales de las especies arbóreas del bosque andino se relacionan con las variables edafológicas y climáticas.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Bosques Altoandinos y su importancia

Los bosques andinos son muy diversos (Myers, Mittermeier, Mittermeier, & Kent, 2000), constituyendo el hábitat de numerosas especies y cumpliendo funciones importantes como la regulación hídrica (Abud, 2016). La estructura de los bosques andino varía, ya que son modeladas por la geomorfología del paisaje, los suelos, la humedad, los vientos, la precipitación y la radiación solar; sin embargo, las actividades antrópicas afectan este importante ecosistema, poniendo en peligro su composición y función (Tobón, 2009). El factor característico de estos bosques es la alta humedad atmosférica ya que por su ubicación en zonas, donde el aire caliente y saturado de vapor de las zonas bajas se condensa y produce nubosidad, se intercepta la neblina lo que juega un papel importante en la regulación del ciclo hidrológico ya que aumenta los niveles de escorrentía y genera un aporte de agua (Velasco & Vargas, 2008).

Los bosques andinos se encuentran distribuidos en altitudes diferentes dependiendo de las condiciones ambientales de cada sitio y, de su exposición a las corrientes de masas de aire humedecido; no obstante su clasificación cambia según los autores. Por ejemplo para Rada (2002), existen tres tipos: bosque montano bajo o subandino, bosque montano alto y bosque de niebla.

Estudios realizados por Pachacama (2010) y Ushiña (2018), sostienen que el área de estudio corresponde al matorral altoandino que corresponde a la formación vegetacional Matorral húmedo montano (Sierra, 1999).

2.2 Matorral altoandino

Los ecosistemas matorral altoandino encierran una amplia diversidad biológica especialmente florística de la región andina. En las estribaciones orientales estos bosques son perennes y muy húmedos, mientras que en las occidentales (Colombia y norte de Ecuador) son extensos y continuos (Pennington, Reynel, & Daza, 2004). Estos ecosistemas de montaña protegen las laderas empinadas, reduciendo la erosión. Además mantienen el régimen de flujo natural, con ríos más anchos de corrientes fuertes y de menor pendiente. La vegetación nativa de la zona tiene un aspecto húmedo (MECN, 2015). Algunos árboles son grandes y rectos alcanzando 25 m de altura y las epífitas son exuberantes. Por las condiciones de precipitación, la vegetación mantiene el follaje aunque algunos árboles pueden perder sus hojas al final de la época seca (MECN, 2015).

Este ecosistema tiene importancia global por ser reservorio de biodiversidad y es ahí donde radica su conservación (Osinga, Baez, Cuesta, & Aguirre, 2014).

2.3 Matorral húmedo montano

Esta formación vegetacional se localiza en los valles andinos de altitudes entre 2 000 y 3 000 m snm., su cobertura vegetal original está casi totalmente destruida y fue desplazada por cultivos y bosques de *Eucalyptus globulus* (Sierra, 1999). Ciertos remanentes de esta formación vegetacional, subsisten en barrancos, pendientes pronunciadas o en bosques asociados como en el volcán Pasochoa, su flora característica se compone de árboles y arbustos de: *Oreopanax* spp., *Baccharis* spp., *Cordia* spp., *Croton* spp., *Juglans neotropica*, *Erythrina edulis*, *Miconia* spp., entre otras (Sierra, 1999).

2.4 Diversidad funcional

La biodiversidad es un factor determinante en el funcionamiento de los ecosistemas, tradicionalmente la diversidad de especies de una comunidad está basada en la riqueza y la abundancia relativa de esas especies dentro un área específica (Diaz & Cabido, 2001); la medición la diversidad funcional permite evaluar la diversidad de rasgos funcionales, que son los componentes del fenotipo de un organismo que influye y a su vez responde a los procesos ecosistémicos (Fernández, 2007).

El funcionamiento ecosistémico no es dependiente del número de especies en sí mismo, sino de los rasgos funcionales de las especies presentes (Diaz & Cabido, 2001). Los tipos y rango de esos rasgos son determinantes en la función de un individuo dentro de los procesos que se dan en un ecosistema (Casanoves, Pla, & Di Rienzo, 2011).

2.5 Rasgos funcionales

Los caracteres funcionales, también llamados rasgos funcionales son características morfológicas, fisiológicas y/o fenológicas medibles en un individuo, desde el nivel celular hasta un organismo, que influyen en su crecimiento, reproducción y supervivencia y/o en los efectos de dicho organismo en el ecosistema (Fernández, 2007). Además, estos rasgos se asocian con un efecto sobre uno o más procesos ecológicos o con una respuesta a uno o más factores ambientales (Violle, et al., 2007).

Cornelissen et al. (2003) señalan que existen diferentes iniciativas de clasificación de rasgos funcionales de plantas, los dividen en rasgos del individuo completo (forma de crecimiento, forma de vida, altura de la planta, *etc.*); foliares (área específica foliar, tamaño foliar,

concentración de nitrógeno, *etc.*); de tallo (densidad específica de la madera, grosor de la corteza, *etc.*); rasgos bajo el suelo (longitud específica de la raíz, diámetro de raíces finas, estrategia de absorción de nutrientes, *etc.*) y regenerativos (modo de dispersión, masa de semillas, capacidad de respuesta después de una perturbación, *etc.*).

Por otro lado, también es posible diferenciar rasgos efectos, que son aquellos que afectan determinado proceso o propiedad ecológica y rasgos respuesta que son características que determinan la respuesta de una especie a un factor ambiental, tales como perturbaciones y condiciones del clima (Diaz & Cabido, 2001; Hopper, et al., 2005). Así, el conjunto de rasgos funcionales y sus abundancias relativas dentro de la comunidad se considera que son uno de los factores determinantes del funcionamiento ecosistémico (Chapin, y otros, 2000; Diaz & Cabido, 2001), más allá de la simple riqueza de especies.

2.5.1 Área foliar (AF)

Es el área de la superficie proyectada de un lado de una sola hoja o la media ponderada de varias hojas (se expresa en mm^2) (Pérez, y otros, 2004). La variación de este rasgo se ve directamente relacionada con los factores alométricos propios del individuo, y con los factores ambientales (Cornelissen, et al., 2003).

2.5.2 Área foliar específica (AFE)

Es el área de un solo lado de una hoja fresca dividido por su masa seca al horno (Cornelissen, et al., 2003). Este rasgo se relaciona positivamente con la RGR (tasa relativa de crecimiento), la tasa fotosintética de luz saturada, y el contenido de nitrógeno en la hoja; y negativamente con la longevidad, y algunos compuestos secundarios tales como taninos y lignina.

2.5.3 Contenido foliar de materia seca (CFMS)

El CFMS está influenciando directamente con la asimilación de carbono, el crecimiento y el desarrollo de la planta y se relaciona claramente con los procesos de fotosíntesis y producción de biomasa (Medina, 1984).

2.5.4 Fuerza tensil foliar (FTF)

La fuerza física o tensil de las hojas (FTF) es un indicador de la relación de carbono invertido en la protección estructural de tejidos fotosintéticos (Cornelissen, et al., 2003).

2.5.5 Densidad de Madera (DM)

La densidad de madera (DM) está correlacionada con el contenido de carbono e influye directamente sobre la acumulación y flujos de carbono (Wiemann & Williamson, 2002).

2.5.6 Contenido foliar de nitrógeno (CFN)

El N por unidad de peso está altamente correlacionado con tasas máximas de fotosíntesis en un amplio rango de especies (Field & Money, 1986).

2.5.7 Contenido foliar de fósforo (CFP)

El P foliar contenido en la biomasa de las plantas es un indicador del funcionamiento y de la limitación de nutrientes a nivel de la comunidad (Cornelissen, et al., 2003).

2.6 Rasgos funcionales y su relación ambiental

Los rasgos funcionales de las especies arbóreas se relacionan con la producción de biomasa, conservación de nutrientes, descomposición y formación de tejidos vegetales, también facilitan

procesos biogeoquímicos, de ciclaje de nutrientes y de fijación de Carbono (Chave, 2006; Díaz, et al., 2007).

El enfoque de ecología funcional se basa en que ciertos caracteres del fenotipo de los rasgos funcionales influyen en procesos ecosistémicos (Petchey & Gaston , 2006) y tienen respuesta ante un determinado factor ambiental (Lavorel & Garnier, 2002). Las plantas responden a los cambios en las condiciones climáticas variando en su distribución y abundancia, ocasionando impacto en el funcionamiento de los ecosistemas (Díaz, Gurvich, Pérez, & Cabido, 2002).

2.7 Tipos funcionales de plantas (TFPs)

Una de las definiciones más aceptadas y actualizadas considera a los tipos funcionales de plantas (TFPs) como grupos de plantas, frecuentemente polifiléticos, que presentan respuestas similares al ambiente y producen efectos similares en los principales procesos ecosistémicos, como productividad, ciclado de nutrientes, o transferencia trófica (Díaz, Gurvich, Pérez, & Cabido, 2002). Así mismo reducen la complejidad de la diversidad de especies en la función ecológica a unos tipos de plantas clave, agrupando especies con funcionamiento similar independientemente de su filogenia (Bermeo, 2010).

Los grupos funcionales pueden considerarse de dos tipos, grupos funcionales efecto, los cuales son grupos de especies con similar efecto en una o varias funciones ecosistémicas, por otro lado están los grupos funcionales respuesta, que son grupos de especies con respuestas similares a factores ambientales particulares, estos grupos funcionales son tanto efecto como función de un ecosistémica, (Lavorel & Garnier, 2002). Por lo tanto, diferentes individuos, fenotipos, ecotipos o

estadíos de una misma especie pueden ser parte de diferentes grupos funcionales (Díaz, Gurvich, Pérez, & Cabido, 2002).

2.8 Suelos andinos

Los suelos constituyen el soporte de las actividades del hombre dirigidas al aprovechamiento de su potencial productivo, y son una fuente de nutrientes para una cubierta vegetal, por lo que los suelos están dotados de características y propiedades que le permiten tener mayor o menor aptitud agrícola como textura, pH, contenido de nutrientes, retención de agua, etc. (Tobón, 2009)

En el matorral altoandino los suelos predominantes son los andisoles, cuya principal característica es la presencia de materiales con propiedades andicas, en ellos predominan los minerales de bajo grado de ordenamiento o complejos humus, resultado de la meteorización y transformación de los vidrios volcánicos y material piroclástico expulsado tras la erupción de un volcán. En él se puede encontrar desde suelos poco desarrollados hasta suelos más maduros con materiales muy meteorizados (Osinga, Baez, Cuesta, & Aguirre, 2014).

Los suelos presentan una textura Franco-arcilloso a Franco-arcillo-limoso o Franco-arcillo-arenoso, pH ácido a ligeramente ácido, contenido medio de materia orgánica, buen drenaje, colores oscuros (MECN, 2015).

2.9 Características de las especies forestales a ser evaluadas

2.9.1 *Aegiphila ferruginea* Hayek & Spruce

Es un árbol originario del Ecuador propio de los bosques andinos que pertenece a la familia Lamiaceae. Las hojas son opuesto-decusadas. Las flores son actinomorfas, bisexuales, blancas o

amarillas; el cáliz turbinado o campanulado. La madera es muy usada en la fabricación de carbón y como materia prima para la industria maderera (De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.2 *Alnus acuminata* Kunth

Es una especie originaria de América del Sur y pertenece a la familia Betulaceae. Es un árbol caducifolio que alcanza una altura máxima de hasta 30 m, un DAP de 0,45 m. y una densidad de madera de 0,35g/cm³. Las hojas son simples, alternas con la lámina ovada, margen agudamente biserrado. Las flores son de tipo amento. El fruto es elíptico, papiráceo a coriáceo, con el margen alado y estilo persistente. La planta participa en los procesos de regeneración de los bosques (MAE & FAO, 2015).

2.9.3 *Bacharis latifolia*

Es un arbusto que se encuentra distribuido desde Venezuela hasta Argentina y pertenece a la familia Asteraceae. Puede llegar a medir hasta 3 m de alto. Las hojas son simples pero dentadas en los bordes, alternas, ovadolanceoladas, coriáceas y glutinosas. La inflorescencia es axilar de color crema en cabezuelas aplanadas. El fruto es cipselas plumosas y blanquecinas. El follaje de esta planta se usa como forraje de vacas, caballos, burros, cuyes y conejos (MAE & FAO, 2015).

2.9.4 *Brachyotum ledifolium* (Desr.) Triana

Fichana o Arete del Inca es una especie nativa del Ecuador, está distribuido en Colombia y Ecuador entre los 2 500 y 4 000 m snm., pertenece a la familia Melastomataceae. Este arbusto

puede alcanzar una altura máxima de hasta 5 m, su característica particular son las flores tubulares amarillas con cáliz rojo. Las hojas son pequeñas, opuestas, ovadas y de apariencia ampollosa, con flores agrupadas y colgantes en la parte terminal y axilar de la planta. El fruto es una cápsula seca con diminutas semillas. La planta sirve de cerca viva (FBA, 2017; De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.5 *Buddleja bullata* Ruiz y Pav.

Es un árbol que se localiza en la zona andina de Colombia y Ecuador. En Ecuador se encuentra entre los 2 500 y los 3 500 m snm, pertenece a la familia Scrophulariaceae. Puede llegar a medir hasta 6 m de altura. Las hojas son coriáceas con un color verde oscuro arriba y blanco abajo. Posee inflorescencia terminal. La flor con cáliz de textura lanosa, la corola tiene un color dorado que se torna al color naranja. El fruto es una cápsula cilíndrica, tomentosa. Las semillas son oblongas y aladas. Esta planta aporta beneficios ecológicos ya que forma parte de sistemas agroforestales, es útil como cerca viva. El follaje se usa como forraje de ganado bovino, y abono (Ecuador Forestal, s.f).

2.9.6 *Citharexylum ilicifolium* Kunth

Es un arbusto que se encuentra distribuido en la zona de los Andes de Ecuador, Perú y Bolivia. En el Ecuador se la encuentra entre los 2 000 y 4 000 m snm y pertenece a la familia Verbenaceae. Posee hojas coriáceas, enteras o espinosas. Su inflorescencia es racimosa, subterminal o axilar. Las flores son de olor agradable, cáliz tubular campanulado. El fruto es una drupa, el cáliz rodea al fruto en la base (Minga & Verdugo, 2016).

2.9.7 *Cleome anomala* Kunth

Es una especie conocida como Borreguito y se encuentra distribuida en un rango altitudinal que va desde los 1 500 hasta los 3 500 m. Presenta ramificación laxa y llega a medir hasta 5 m de altura. La copa es amplia y redondeada que presenta un follaje perennifolio. Las hojas son palmicompuestas con 5 foliolos elípticos-oblongos; las flores están dispuestas en racimos alargados y el fruto es silicuo estipitado. Esta especie tiene usos medicinales, se lo encuentra en los bordes de quebradas y sitios húmedos, tiene excelente capacidad de rebrote (Minga & Verdugo, 2016).

2.9.8 *Euphorbia laurifolia* Lam.

El Lechero es una especie que se encuentra ampliamente distribuido en Colombia, Venezuela, Guyana, Ecuador, Perú y Bolivia. En Ecuador está en todas las provincias andinas, desde los 1 500 hasta 3 000 m snm. Es un arbusto que pertenece a la familia Euphorbiaceae. Las plantas son algunas veces suculentas, con látex lechoso y hojas glabras sin estípulas. La inflorescencia es de cinco lóbulos carnosos, con numerosas flores masculinas alrededor de una flor femenina central pedicelada. El fruto es tricoco. Esta planta se usa como cerca viva para proteger cultivos y terrenos. El follaje es usado como forraje de animales (FBA, 2017).

2.9.9 *Hesperomeles obtusifolia*

Especie que se encuentra distribuida en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia y pertenece a la familia Rosaceae. Es un arbusto con altura máxima de 2 m, crece principalmente en páramo pero también sobre altitudes más bajas en bosques poco densos. Las hojas son ovadas u oblongo-

elípticas, coriáceas. La inflorescencia forma pequeñas cimas de hasta con veinte flores, tiene pétalos blancos o rosado pálido. El fruto es en pomo, globoso u oblongo, de color rojo a casi negro. La planta se utiliza para reforestación; el follaje es usado como alimento de animales y abono (Ecuador Forestal, s.f).

2.9.10 *Inga insignis* Kunth.

Esta especie se encuentra distribuida en Colombia y Ecuador, en un rango altitudinal comprendido entre los 1 500 y 3 000 m snm pertenece a la familia Fabaceae. Es un árbol de hasta 12 m de altura con ramas glabras o pubescentes. Las hojas son pinnadas con 4, 5 o más pares de folíolos, el raquis es alado, glándulas están presentes en la inserción de los folíolos Las inflorescencias están en racimos axilares o terminales. Sus flores son blancas o amarillas, el cáliz es tubular con 5 lóbulos triangulares y estambres numerosos. Los frutos son legumbres cortas, coriáceas, surcadas, de color café. Las semillas tienen arilo succulento. La planta es útil para dar sombra a los cafetales (FBA, 2017).

2.9.11 *Juglans neotropica* Diels

Es una especie conocida como Nogal y se encuentra distribuida en un rango altitudinal que va desde los 1 000 hasta los 3 000 m. El fuste es cilíndrico, recto y llega a medir de 10 hasta 25 m de altura. La copa tiene forma semiglobosa y el follaje es caducifolio. Las hojas son compuestas e imparipinnadas; posee flores masculinas y femeninas de color verde y el futo es una drupa carnosa, redonda y de color pardo a negro. Es la especie andina de mayor interés económico en la Sierra ecuatoriana, su madera es excelente para elaborar muebles y artesanías, su fruto es usado

para la gastronomía local y sus hojas tienen usos medicinales. Además contiene taninos usados en la industria textil. No existe una regeneración natural abundante puesto al sobre – aprovechamiento de los rodales, y poca o ninguna existencia de rodales puros (Ecuador Forestal, s.f).

2.9.12 *Miconia crocea* (Desr.) Naudin

Es una especie que se encuentra distribuida en Colombia, Ecuador y Perú entre los 1 000 y 4 000 m snm, pertenece a la familia Melastomataceae. Es un árbol que puede alcanzar una altura máxima de hasta 5 m. Los tallos y pecíolos son café rojizos. Las hojas son elípticas con el haz verde oscuro brillante y el envés claro. Las flores poseen un color blanquecino con estambres amarillos y agrupados en inflorescencias terminales. El fruto es una baya rosada. La planta se utiliza como cerca viva y el follaje es alimento de animales (De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.13 *Miconia papillosa* (Desr.) Naudin

Es una especie conocida como Colca de Quito y se encuentra distribuida en un rango altitudinal que va desde los 2 500 hasta los 4 000 m. El fuste es cilíndrico recto y largo, puede alcanzar hasta los 5 m de altura. La copa es frondosa con ramificaciones dicotómicas y de follaje caducifolio. Las hojas son de apariencia ampollosa y pubescente; las flores son pequeñas de color blanco y el fruto es una baya ovoide de color rosa oscuro. Los taninos de la corteza se usan como astringentes, la madera es usada para fabricar carbón (FBA, 2017).

2.9.14 *Monnina obtusifolia* Kunth

Es un arbusto que se encuentra distribuido en Colombia y Ecuador en un rango altitudinal comprendido entre 2 500 y 3 900 m snm, pertenece a la familia Polygalaceae. Puede llegar a medir hasta 1,5 m de alto. Sus hojas son alternas, lanceoladas y gruesas. Poseen inflorescencia con flores numerosas de color azul morado cuyo pétalo llamado quilla sobresale por tener la punta amarilla. El fruto es una baya elipsoide, de color negro morado. El fruto es alimento de mirlos. El follaje es alimento de animales (FBA, 2017; De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.15 *Morella pubescens* H.B ex Wild

Esta especie es originaria del norte de Suramérica, pertenece a la familia Myricaceae, se ubica en un rango altitudinal de 1 700 y 3 900 m snm. Es un árbol de aproximadamente 8 m de altura y de crecimiento rápido. Las hojas son simples, alternas y helicoidales con borde aserrado, fragantes al ejercerles presión. Las flores masculinas son de color amarillo, café y femeninas de color rojo, son monoicas. El fruto mide 5 milímetros de diámetro es de color café, redondo, con gránulos de cera en su superficie, serosidad olorosa y blanquecina. Esta planta tiene uso ecológico ya que la raíz es fijadora de nitrógeno (FBA, 2017).

2.9.16 *Myrcianthes rhopaloides* (Kunth) McVaugh

Es una especie conocida como Arrayán Huila y se encuentra distribuida en un rango altitudinal que va desde los 1 500 hasta los 3 800 m. El fuste puede medir hasta 15 m de altura, es cilíndrico y con abundantes ramificaciones. La copa es de forma irregular y presenta follaje

perennifolio. Las hojas son simples, de forma ovalada a elíptica con margen entero; las flores son bisexuales y el fruto es una baya globosa y carnosa que al madurar es de color rojo oscuro (Minga & Verdugo, 2016). El fruto es usado como ingrediente en la colada morada, su madera es usada para la fabricación de muebles, tablas o pilares. Sus hojas se mastican para contrarrestar las caries o como saborizante y aromatizante en bebidas (De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.17 *Myrcianthes* sp. (Kunth) McVaugh

Es una especie conocida como Arrayán Blanco y se encuentra distribuida en un rango altitudinal que va desde los 2 200 hasta los 3 100 m. El fuste alcanza hasta los 15 m de altura, presenta corteza rojiza – parduzca de la cual se tiende a desprender pequeñas tiras. La copa es de forma irregular y presenta follaje perennifolio. Las hojas son opuestas, las flores de color blanco – amarillento, el fruto tiene forma globosa. Esta especie es usada como cercas vivas y como protección para riveras. Las hojas sirven de alimento para aves silvestres (FBA, 2017; De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.18 *Oreopanax ecuadorensis* Seem.

Es una especie endémica del Ecuador, se adapta bien en un rango altitudinal comprendido entre 2 500 y 4 000 m snm, pertenece a la familia Araliaceae. El Puma maki es un árbol de hasta 15 m de alto, la característica particular son las hojas en forma de mano. Puma-maki en lengua kichwa significa mano de puma. Las hojas se reconocen fácilmente por que van desde enteras a palmatilobadas, alternas, pecioladas con envés pubescente y con margen entero aserrado. La flor

es agrupada en umbelas compuestas. El fruto tiene forma elipsoide de color negro-morado al madurar. La planta es comúnmente usada como cerca viva (FBA, 2017).

2.9.19 *Phenax rugosus* (SW) Wedd

Es una especie que se encuentra distribuida en varias regiones de América del Sur, en Argentina, Chile, Bolivia, Perú, Brasil y Ecuador. En Ecuador se encuentra al norte, a lo largo de los Andes entre 1 500 y 3 500 m snm. *Phenax rugosus*, pertenece a la familia Urticaceae. Es un arbusto que alcanza una altura máxima de 2 m. Las hojas son ovadas a elípticas. Su inflorescencia es generalmente bisexual las yemas florales son masculinas generalmente elípticas, con proyecciones apicales, el ápice es acuminado y la base atenuada, raramente redondeada. El follaje se usa como forraje para animales (De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.20 *Phyllanthus salviifolius* Kunth.

El Cedrillo se distribuye en Costa Rica, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. En Ecuador se encuentra en la región andina, entre los 1 800 y 3 100 m snm, pertenece a la familia Phyllanthaceae. Es un árbol que puede medir hasta 15 m de alto. Las hojas son simples, alternas, con pubescencia ferruginosa en el envés. Las flores son pequeñas, siendo las femeninas las más abundantes que cuelgan de largos pedúnculos, de color rojizo-rosa. El fruto son pequeñas capsulas lisas. La planta sirve de cerca viva (FBA, 2017).

2.9.21 *Piper Barbatum* Kunth

Cordoncillo se encuentra distribuido en Colombia y Ecuador entre los 2 000 y 4 000 msnm, pertenece a la familia Piperaceae. Es un árbol muy ramificado de hasta 5 m. de alto, con tallos nudosos. Las hojas son alternas, de envés pubescente y lámina rugosa y áspera. Las flores carecen de pétalos y sépalos pero en las partes terminales o axilares de la planta se hace visible su estructura reproductiva a manera de espiga carnosa de color verde parduzco. El fruto es una drupa. Las semillas son alimento de aves (De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.22 *Prunus serotoninina* Ehrh

Esta especie es originaria de México y pertenece a la familia Rosaceae. Es un árbol caducifolio con fuste largo y recto que alcanza una altura máxima de 15 m y un DAP de 1,2 m. La amplitud de la copa es ancha de forma ovoide que produce una sombra densa. Las hojas son estipuladas, simples, alternas, cortamente pecioladas, ovadas a lanceoladas. Las flores son numerosas, pequeñas y blancas, agrupadas en racimos axilares colgantes y largos. Los frutos son drupa globosa, de color negro rojizo en la madurez, con una sola semilla. Las hojas sirven como abono de suelos, da sombra y se usa como forraje de animales (FBA, 2017).

2.9.23 *Sambucus nigra* L.

Es una especie conocida como Tilo y se encuentra distribuida en un rango altitudinal que va desde los 2 800 hasta los 3 900 m. El fuste es cilíndrico, de corteza irregular y alcanza hasta 6 m de altura. La copa es densa, redondeada y su follaje es perennifolio. Las hojas son compuestas

imparipinnadas, con bordes aserrados. Las flores están dispuestas en corimbos de color blanco. Los frutos son bayas esféricas, dispuestos en racimos. Su madera es duradera, sus ramas con usadas como sopladores para atizar el fuego. Los frutos son comestibles y tienen gran cantidad de vitamina C. Las flores son usadas para preparar bebidas. Se recomienda plantarlo para cercar acequias, huertos y chacras (INDECOPI, 2016).

2.9.24 *Tournefortia fuliginosa* Kunth

Es una especie nativa del Ecuador que se encuentra distribuida en Colombia, Venezuela, Bolivia y Ecuador, comprende un rango altitudinal de 2 000 y 3 500 m snm, pertenece a la familia Boraginaceae. Es un árbol que puede alcanzar una altura máxima de hasta 6 m. Como características particulares se tiene que el árbol está cubierto por pubescencia ferruginosa y su infrutescencia es escorpioide blanca. Las hojas son sub-opuestas, elípticas, con ápice agudo y haz áspero. Las flores son blancas verdosas y agrupadas en racimos escorpioides terminales. Poseen fruto con forma de drupa, carnosa y de color blanco. El follaje se usa principalmente como alimento de vertebrados (FBA, 2017; De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008; De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

2.9.25 *Vallea stipularis* L. f.

Es una especie que se encuentra distribuida en la zona de los Andes desde Venezuela hasta el norte de Argentina, comprende un rango altitudinal de 2 200 y 4 000 m snm, pertenece a la familia Elaeocarpaceae. Es un árbol de hoja perenne que puede alcanzar una altura máxima de 18 m, DAP de 40 cm. Las hojas son en forma de corazón o en forma de pera, a veces lobuladas de

color verde oscuro y más pálido debajo, con mechones de pelos en las axilas de la vena. Las flores son pequeñas en forma de campana, de color rojo rosado o carmesí y llevadas sobre tallos ramificados. Esta planta se usa como cerca viva y el follaje es usado para forraje de animales. Es una especie potencialmente regeneradora de sitios quemados (FBA, 2017; De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, hacienda El Prado, parroquia San Fernando, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha (Figura 1). Geográficamente se localiza a 78°24'44'' LO, 0°23'20'' LS y 2 748 m de altitud. La temperatura media anual es de 14 °C, y la precipitación anual de 1 300 mm (Arce, 2009). Ecológicamente pertenece a bosque húmedo montano (Holdridge, 1982) y su formación vegetacional es el matorral altoandino o matorral húmedo montano (Sierra, 1999).

3.2 Selección de especies

Las 25 especies forestales seleccionadas son las más abundantes en los remanentes del matorral húmedo montano en el área de estudio según lo reportado por Pachacama (2010) y por observación en campo. Además, estas especies presentan múltiples usos maderables, alimenticios y ecológicos; Tabla 1 (De la Torre, Navarrete, Muriel, Marcia, & Balslev, 2008).

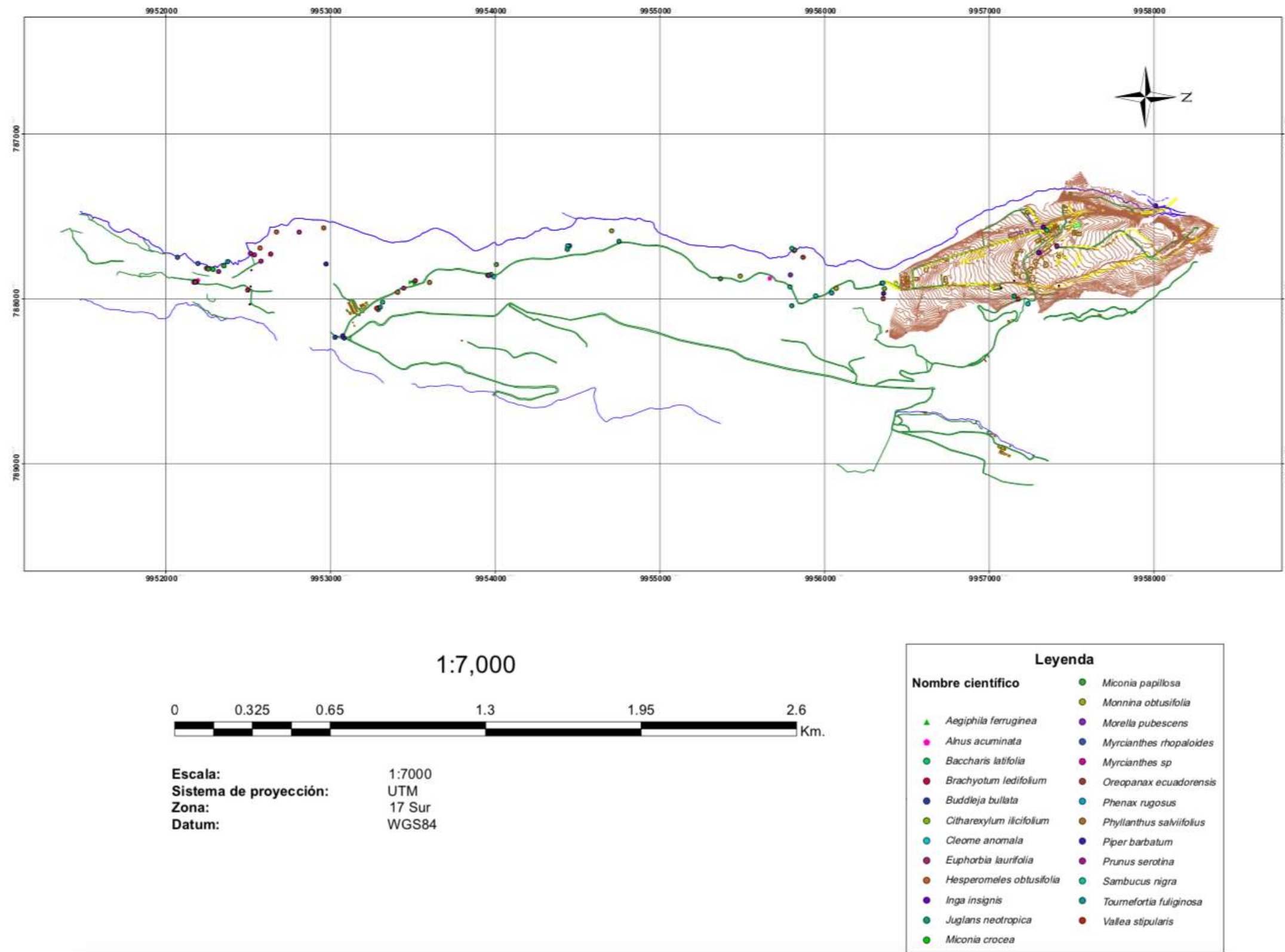


Figura 1 Ubicación geográfica de las 25 especies arbóreas

Tabla 1*Nombre vulgar, nombre científico y usos de las especies a evaluar*

Nº	Familia	Nombre científico	Nombre común	Usos
1	Lamiaceae	<i>Aegiphila ferruginea</i> Hayek y Spruce.	Jiguerón	Maderable
2	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aliso	Forrajero
3	Asteraceae	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Chilca	Medicinal y forrajero
4	Melastomataceae.	<i>Brachyotum ledifolium</i> (Desr.) Triana.	Aretes del Inca	Ornamental
5	Scrophulariaceae	<i>Buddleja bullata</i> Kunth	Quishuar	Ornamental
6	Verbenaceae.	<i>Citharexylum ilicifolium</i> Kunth	Casanto	Medicinal
7	Cleomaceae.	<i>Cleome anomala</i> Kunth	Borreguito	Ornamental
8	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia laurifolia</i> Lam.	Lechero	Ornamental y medicinal
9	Rosaceae	<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (Pers.) Lindl.	Cerote	Alimenticio
10	Fabaceae	<i>Inga insignis</i> Kunth	Guaba	Alimenticio y maderable
11	Juglandaceae	<i>Juglans neotropica</i> Diels.	Nogal	Alimenticio
12	Melastomataceae	<i>Miconia crocea</i> (Desr.) Naudin.	Quijol	Ornamental
13	Melastomataceae	<i>Miconia papillosa</i> (Desr.) Naudin.	Colca de Quito	Cerca viva
14	Polygalaceae	<i>Monnina obtusifolia</i> Kunth	Iguilán	Cerca viva
15	Myricaceae	<i>Morella pubescens</i> H.B ex Wild.	Laurel de cera	Alimenticio
16	Myrtaceae.	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> McVaugh.	Arrayán huila	Maderable
17	Myrtaceae.	<i>Myrcianthes</i> sp.	Arrayán blanco	Cerca viva
18	Araliaceae	<i>Oreopanax ecuadorensis</i> Seem.	Puma maki	Maderable y medicinal
19	Urticaceae	<i>Phenax rugosus</i> (SW) Wedd.	Ortiga Blanca	Cerca viva
20	Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus salviifolius</i> Kunth	Cedrillode Quito	Cerca viva
21	Piperaceae	<i>Piper barbatum</i> Kunth	Cordoncillo	Ornamental
22	Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Capulí	Alimenticio
23	Caprifoliaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.	Tilo	Medicinal
24	Boraginaceae	<i>Tournefortia fuliginosa</i> Kunth	Yanaquero	Maderable
25	Elaeocarpaceae	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Peralillo	Ornamental

Fuente: (Balslev, Navarrete, De la Torre , & Macía , 2008)

3.2.1 Evaluación de los rasgos funcionales de plantas

En tres individuos de cada una de las 25 especies arbóreas (Villacís, Casanoves, Hang, & Armas, 2016) se evaluaron ocho rasgos funcionales, seis foliares: área foliar (AF), área foliar específica (AFE), contenido foliar de materia seca (CFMS), fuerza tensil foliar (FTF), contenido foliar de fósforo (P) y contenido foliar de nitrógeno (N); y dos de tallo que fueron: el diámetro altura pecho (DAP) y la densidad de madera (DM) (Casanoves, Pla, & Di Rienzo, 2011).

Para determinar el AF se colectaron cinco hojas sanas y sin daños físicos del tercio medio de cada uno de los individuos; posteriormente cada una de las hojas frescas fue escaneada usando el programa de Análisis de Imágenes Midebmp, con el que se obtuvo el área foliar expresada en mm^2 (Bermeo, 2010).

El AFE se calculó dividiendo el promedio del área foliar en mm^2 de las cinco hojas por individuo entre el promedio del peso seco en mg (Hunt, 1990); para determinar el peso seco foliar, las hojas fueron secadas al horno a 65°C durante 48 horas y pesadas en una balanza analítica.

El CFMS se determinó dividiendo el peso seco de cada una de las hojas para su respectivo peso fresco (Villacís, 2016). Para la FTF se colectaron otras 5 hojas para cada individuo. En cada una de estas hojas se obtuvieron secciones de 1 x 4 cm; cada sección fue sometida a tracción en un *Tearing Apparatus* y se registró la fuerza tensil en N mm^{-1} (Cornelissen, et al., 2003).

Para determinar el contenido foliar de nitrógeno y fósforo se tomó una muestra compuesta de las hojas de aproximadamente 1 kg, de los tres individuos muestreados de cada especie.

Posteriormente, se retiraron todos los pecíolos y raquis y se secaron al horno a 65° C durante 48 horas. El contenido de nitrógeno se estimó por del método de combustión Kjeldahal y el contenido de fósforo mediante el método de espectrofotometría (McKean, Dietrich, Finkel, Southon, & Caffé, 1993; UCV, 2013).

Para determinar el DAP se midió la longitud de la circunferencia a 1,30 m desde la base del árbol con una cinta métrica. Posteriormente se estimó el DAP mediante la siguiente ecuación (Camacho, 2000):

$$DAP = \frac{\text{circunferencia}}{\pi}$$

Finalmente para estimar la DM, de cada uno de los 3 individuos de cada especie arbórea se extrajeron muestras cilíndricas de fuste de diámetro interior de 6,20 mm con un barreno Pressler; la muestra se tomó a una altura de 1,30 m desde la base del árbol (Cornelissen, et al., 2003). Luego se midió el diámetro del cilindro en tres puntos diferentes (extremos y centro) con un calibrador digital (Chave, 2006); posteriormente las muestras se secaron al horno a 65 °C durante 24 h, y fueron pesadas en una balanza analítica de precisión $\pm 0,001$ g. La densidad de la madera se determinó dividiendo la masa para el volumen del cilindro (Chave, 2006).

3.3 Determinación de características edafológicas

Se recolectó una muestra de suelo de 1 kg a una profundidad de 20 cm, a un metro de distancia del fuste de cada uno de los 75 individuos. En cada una de las muestras de suelo se midió el pH, los sólidos totales y la conductividad eléctrica con el medidor portátil *Hanna Hi 991301*; el porcentaje de materia orgánica con el método de calcinación a 550°C (Zagal &

Sadzawka, 2007); el contenido de nitrógeno total por el método de Kjeldahal en el equipo *Velp Scientifica* (Sadzawka, y otros, 2006); el contenido de fósforo por medio del método Olsen con el Espectrofotómetro *Spectroflex 6600* (Sadzawka et al., 2006) y el contenido de macronutrientes y micronutrientes K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} con el Espectrofotómetro de absorción atómica *Shimadzu* (McKean, Dietrich, Finkel, Southon, & Caffè, 1993).

3.4 Variables Climáticas

Se tomaron datos de las variables climáticas precipitación (mm/año), temperatura media anual (MAT, °C), humedad relativa (%), heliofanía (horas/día) y evaporación (mm) desde enero de 2017 hasta marzo de 2018 de la estación agrometeorológica de la Hda. El Prado IASA I, (MA-56, 2017-2018).

3.5 Análisis estadístico

La información se analizó mediante estadística descriptiva (media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación). Para determinar los grupos funcionales de plantas, se realizó un análisis de conglomerados utilizando el método de Ward y la Euclídea con las variables estandarizadas. Posteriormente se realizó un Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA), prueba de Wilks y prueba de comparación de vectores medios de Hotelling ($\alpha= 0,05$), para validar la significancia estadística de los grupos obtenidos.

Se realizaron análisis de regresión lineal y no lineal para encontrar un modelo matemático que permita relacionar los rasgos funcionales de las especies, las variables climáticas y las variables del suelo. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico InfoStat Profesional (Di Rienzo, et al., 2018).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Rasgos Funcionales

Los valores promedios \pm error estándar de los rasgos funcionales para las 25 especies arbóreas se detalla a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2

Promedio \pm error estándar de los rasgos funcionales de 25 especies arbóreas presentes en el bosque

Rasgo funcional	X \pm ee
DM (g.cm ⁻³)	0,55 \pm 0,02
% NITRÓGENO	2,4 \pm 0,1
% FÓSFORO	0,26 \pm 0,04
ÁREA (mm ²)	8 848,13 \pm 1 975,63
CFMS (mg.g ⁻¹)	0,43 \pm 0,02
AFE (mm ² .mg ⁻¹)	18,62 \pm 4,74
FTF (N.mm ⁻¹)	604 \pm 41,42
DAP (cm)	46,49 \pm 2,55

AF= Área foliar; AFE= Área foliar específica; CFMS= Contenido foliar de materia seca; DM= Densidad de madera; FTF= Fuerza tensil foliar; CNF= Contenido foliar de Nitrógeno; CPF= Contenido foliar de Fósforo.

Las especies que presentaron valores más altos para los rasgos funcionales fueron *Myrcianthes* sp para diámetro, *Buddleja bullata* para la densidad de madera y *Miconia crocea* para FTF. El valor más alto para el contenido foliar de nitrógeno y el contenido de fósforo foliar presentó la especie *Cleome anomala*. Los promedios de los rasgos funcionales para el resto de especies arbóreas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Promedio ± error estándar (coeficiente de variación) de las medidas de resumen de los rasgos funcionales de 25 especies arbóreas

ESPECIE	DM (g cm ⁻³)	%NITRÓGEN O	%FÓSFORO	AF (mm ²)	CFMS (mg)(PS/PF)	AFE (AF/PS)	FTF (N/mm)	DAP (cm)
<i>Aegiphila ferruginea</i>	0,49 ± 0,12	2,34 ± 0,29	0,28 ± 0,03	6 517,01	0,14	11,24	600	74 ± 21,93
<i>Alnus acuminata</i>	0,393 ± 0,026	2,780 ± 0,234	0,143 ± 0,003	5 798,55	0,41	9,51	600	96,333 ± 12,33
<i>Baccharis latifolia</i>	0,58 ± 0,08	2,9 ± 0,4	0,26 ± 0,05	1 646,64	0,3	13,72	650	33,67 ± 1,76
<i>Brachyotum ledifolium</i>	0,63 ± 0,06	2,14 ± 0,1	0,16 ± 0,01	410,29	0,56	14,65	300	31,33 ± 0,33
<i>Buddleja bullata</i>	0,84 ± 0,28	1,46 ± 0,06	0,19 ± 0,03	2 759,93	0,54	7,26	400	36,33 ± 4,33
<i>Citharexylum ilicifolium</i>	0,66 ± 0,03	1,64 ± 0,14	0,16 ± 0,03	569,2	0,7	8,13	950	37 ± 2,65
<i>Cleome anomala</i>	0,26 ± 0,02	4,18 ± 0,61	0,86 ± 0,28	22 343,68	0,35	13,3	250	34,67 ± 2,73
<i>Euphorbia laurifolia</i>	0,33 ± 0,02	2,48 ± 0,19	0,22 ± 0,03	3 157,49	0,22	13,16	950	34,93 ± 1,73
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	0,83 ± 0,07	1,76 ± 0,6	0,11 ± 0,02	235,41	0,71	4,71	600	16,33 ± 4,37
<i>Inga insignis</i>	0,64 ± 0,09	2,93 ± 0,11	0,13 ± 0,02	30 018,44	0,49	7,82	500	61,33 ± 22,26
<i>Juglans neotropica</i>	0,34 ± 0,01	2,58 ± 0,69	0,26 ± 0,08	83 182,11	0,5	11,35	700	60,67 ± 7,17
<i>Miconia crocea</i>	0,6 ± 0,01	2,81 ± 0,59	0,19 ± 0,05	1 791,01	0,6	9,95	1 750	35,27 ± 3,38
<i>Miconia papillosa</i>	0,49 ± 0,01	2,09 ± 0,05	0,14 ± 0,01	1 715,39	0,38	12,25	200	37 ± 5,03
<i>Monnina obtusifolia</i>	0,52 ± 0,04	2,31 ± 0,32	0,22 ± 0,01	1 129,23	0,28	14,12	550	31
<i>Morella pubescens</i>	0,53 ± 0,02	2,31 ± 0,12	0,1 ± 0,01	676,62	0,47	9,67	250	71,8 ± 5,12
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	0,760 ± 0,040	1,450 ± 0,166	0,09	1 138,14	0,5	9,48	1 050	31
<i>Myrcianthes sp.</i>	0,96 ± 0,06	1,39 ± 0,11	0,13	1 174,71	0,56	4,2	1 250	50 ± 14,77
<i>Oreopanax ecuadorensis</i>	0,45 ± 0,03	1,45 ± 0,05	0,13 ± 0,04	8 812,28	0,43	3,66	500	74 ± 13
<i>Phenax rugosus</i>	0,47 ± 0,03	2,9 ± 0,49	1 ± 0,73	1 909,48	1	6,36	800	49,33 ± 7,06
<i>Phyllanthus salviifolius</i>	0,48 ± 0,02	2,57 ± 0,14	0,2 ± 0,02	22 521,76	0,28	23,22	300	46,73 ± 4,43
<i>Piper barbatum</i>	0,45 ± 0,06	2,81 ± 0,2	0,29 ± 0,05	2 172,89	0,03	217,29	300	33,17 ± 1,09
<i>Prunus serotina</i>	0,63 ± 0,05	2,09 ± 0,38	0,48 ± 0,34	2 342,47	0,4	1,66	300	52,67 ± 11,86
<i>Sambucus nigra</i>	0,6 ± 0,07	2,72 ± 0,07	0,41 ± 0,1	6 020,69	0,25	9,71	600	41 ± 3,79
<i>Tournefortia fuliginosa</i>	0,28 ± 0,01	3,44 ± 0,9	0,23 ± 0,03	10 407,94	0,23	16,01	400	48,33 ± 12,67
<i>Vallea stipularis</i>	0,55 ± 0,04	2,49 ± 0,51	0,25 ± 0,05	2 751,78	0,43	13,1	350	44,33 ± 6,69

AF= Área foliar; AFE= Área foliar específica; CFMS= Contenido foliar de materia seca; DM= Densidad de madera; FTF= Fuerza tensil foliar; CNF= Contenido foliar de Nitrógeno; CPF= Contenido foliar de Fósforo.

4.1.2 Variables edafológicas

Los valores promedios \pm error estándar de las variables edafológicas evaluadas en el suelo aledaño a los árboles de las 25 especies arbóreas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Promedio \pm error estándar de las medidas de resumen de las variables

Variabes edafológicas	X \pm ee
M. Orgánica %	14,57 \pm 0,74
%C	8,46 \pm 0,42
pH	5,65 \pm 0,03
C. E. (ms)	0,04 \pm 2,60E-03
STD (ppt)	0,08 \pm 0,01
Cu (mg/lt)	0,03 \pm 0,01
Fe (mg/lt)	12,55 \pm 0,71
Zn (mg/lt)	1,49 \pm 0,08
Mn (mg/lt)	12,51 \pm 0,4
Mg (mg/lt)	3,38 \pm 0,01
Ca (mg/lt)	30,63 \pm 0,29
K (mg/lt)	10,46 \pm 0,18
Na (mg/lt)	3,82 \pm 0,24
% Nitrógeno	0,18 \pm 0,03
Nitrógeno (ppm)	1 796,67 \pm 273,46
P (mg*kg-1)	87,36 \pm 4,3
C:N SUELO	127,24 \pm 13,37
N:P Hojas	13,09 \pm 0,74

El suelo aledaño a *Prunus serotina* presentó los valores más altos de materia orgánica y de carbono. Mientras que los suelos aledaños a los árboles de las especies *Aegiphila ferruginea* y *Monnina obtusifolia* presentaron mayor contenido de nitrógeno y de fósforo, respectivamente. Los valores promedio del resto de variables edafológicas de los suelos aledaños a los árboles de las demás especies arbóreas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5
Promedio \pm error estándar (coeficiente de variación) de las medidas de resumen de las características de los suelos de 25 especies arbóreas

ESPECIE	% MATERIA ORGÁNICA	% C	PH	C.E (ms)	STD (ppt)	Cu (mg/lt)	Fe (mg/lt)	Zn (mg/lt)	Mn (mg/lt)	Mg (mg/lt)	Ca (mg/lt)	K (mg/lt)	Na (mg/lt)	% NITRÓGENO	P (mg*kg-1)
<i>Aegiphila ferruginea</i>	19,74 \pm 1,6	11,48 \pm 0,93	5,71 \pm 0,04	0,05 \pm 0,01	0,11 \pm 0,02	0,0033	4,68 \pm 2,03	1,59 \pm 0,3	12,78 \pm 1,19	3,42 \pm 0,02	32,72 \pm 0,57	10,98 \pm 0,46	2,93 \pm 0,95	0,48 \pm 0,22	58,8 \pm 29,66
<i>Alnus acuminata</i>	11,254 \pm 2,838	6,540 \pm 1,651	5,773 \pm 0,143	0,023 \pm 0,013	0,060 \pm 0,025	0,089 \pm 0,089	13,644 \pm 3,871	0,832 \pm 0,360	10,957 \pm 2,884	3,330 \pm 0,023	29,146 \pm 2,492	10,879 \pm 0,262	3,651 \pm 0,602	0,062 \pm 0,024	91,070 \pm 13,790
<i>Baccharis latifolia</i>	13,26 \pm 0,71	6,77 \pm 1,24	5,69 \pm 0,12	0,03 \pm 0,02	0,03	0,04 \pm 0,04	14,22 \pm 0,89	1,1 \pm 0,48	12,08 \pm 1,77	3,33 \pm 0,02	30,68 \pm 0,19	10,04 \pm 1,08	4,09 \pm 1,55	0,06 \pm 0,01	96,82 \pm 24,2
<i>Brachyotum ledifolium</i>	9,51 \pm 0,67	7,55 \pm 0,5	5,27 \pm 0,09	0,04 \pm 0,01	0,08 \pm 0,01	0,02 \pm 0,02	16,2 \pm 1,89	1 \pm 0,14	11,7 \pm 1,08	3,35 \pm 0,02	31,1 \pm 0,15	10,99 \pm 0,33	3,77 \pm 0,66	0,05	96,82 \pm 17,66
<i>Buddleja bullata</i>	11,41 \pm 2,31	6,64 \pm 1,34	5,85 \pm 0,08	0,05 \pm 0,04	0,11 \pm 0,07	0	8,39 \pm 1,19	1,52 \pm 0,98	12,07 \pm 3	3,37 \pm 0,04	31,45 \pm 0,54	10,74 \pm 0,37	1,7 \pm 0,04	0,03 \pm 0,02	104,77 \pm 14,55
<i>Citharexylum ilicifolium</i>	12,29 \pm 0,48	12,28 \pm 2,81	5,51 \pm 0,12	0,06 \pm 0,03	0,12 \pm 0,05	0,00033	15,75 \pm 2,21	1,93 \pm 0,58	14,75 \pm 2,75	3,44 \pm 0,03	29,99 \pm 1,3	11,33 \pm 0,49	5,37 \pm 0,8	0,36 \pm 0,14	106,99 \pm 22,48
<i>Cleome anomala</i>	21,84 \pm 12,03	5,53 \pm 0,39	5,64 \pm 0,15	0,01	0,04	0,03 \pm 0,03	17,28 \pm 3,48	1,89 \pm 0,4	15,46 \pm 0,83	3,38 \pm 0,01	30,82 \pm 0,33	11,17 \pm 0,6	4,04 \pm 0,94	0,05	83,55 \pm 27,79
<i>Euphorbia laurifolia</i>	17,55 \pm 5,04	10,2 \pm 2,93	5,62 \pm 0,08	0,04 \pm 0,02	0,08 \pm 0,03	0	13,38 \pm 4,24	1,61 \pm 0,13	14,6 \pm 1,57	3,44 \pm 0,06	30,56 \pm 2,06	10,98 \pm 0,76	4,32 \pm 1,04	0,32 \pm 0,24	45,53 \pm 19,56
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	11,65 \pm 2,13	10,02 \pm 0,82	5,64 \pm 0,06	0,02 \pm 0,01	0,05 \pm 0,01	0,22 \pm 0,22	18,53 \pm 2,93	1,37 \pm 0,32	8,62 \pm 1,84	3,32 \pm 0,03	29,84 \pm 0,88	8,33 \pm 0,73	4,13 \pm 0,94	0,25 \pm 0,19	80,9 \pm 29,82
<i>Inga insignis</i>	17,53 \pm 4,53	5 \pm 0,34	5,72 \pm 0,38	0,03	0,04 \pm 0,02	0,08 \pm 0,08	17,3 \pm 1,03	1,23 \pm 0,27	9,48 \pm 2,35	3,33 \pm 0,06	30,09 \pm 1,42	7,29 \pm 2,06	4,82 \pm 0,1	0,04 \pm 0,01	55,26 \pm 20,69
<i>Juglans neotropica</i>	10,91 \pm 0,16	6,34 \pm 0,09	5,74 \pm 0,11	0,04 \pm 0,01	0,09 \pm 0,01	0,02 \pm 0,02	18,93 \pm 1,05	1,52 \pm 0,43	15,25 \pm 0,45	3,39 \pm 0,02	30,57 \pm 0,46	10,86 \pm 0,71	1,75 \pm 0,94	0,01	118,04 \pm 3,51
<i>Miconia crocea</i>	15,51 \pm 3,1	9,02 \pm 1,8	5,59 \pm 0,1	0,02 \pm 0,01	0,06 \pm 0,02	0	6,55 \pm 1,98	1,51 \pm 0,29	10,66 \pm 1,24	3,4 \pm 0,04	31,61 \pm 0,51	9,67 \pm 0,6	4,2 \pm 0,46	0,12 \pm 0,06	81,34 \pm 20,22
<i>Miconia papillosa</i>	13,74 \pm 1,45	7,71 \pm 0,41	5,65 \pm 0,13	0,03 \pm 0,01	0,07 \pm 0,02	0	10,1 \pm 1,99	1,78 \pm 0,33	15,27 \pm 2,07	3,4 \pm 0,02	32,35 \pm 0,15	10,47 \pm 0,71	4,37 \pm 0,63	0,07 \pm 0,01	122,46 \pm 8,04
<i>Monnina obtusifolia</i>	12,8 \pm 0,17	7,44 \pm 0,1	5,71 \pm 0,11	0,05 \pm 0,01	0,11 \pm 0,01	0,02 \pm 0,02	17,75 \pm 2,39	1,52 \pm 0,36	14,19 \pm 1,36	3,39 \pm 0,03	30,69 \pm 0,34	11,2 \pm 0,33	3,82 \pm 0,79	0,13 \pm 0,06	123,78 \pm 8,71
<i>Morella pubescens</i>	15,14 \pm 5,06	8,8 \pm 2,94	5,61 \pm 0,19	0,02 \pm 0,01	0,05 \pm 0,01	0	11,23 \pm 3,59	1,05 \pm 0,41	11,59 \pm 4,78	3,37 \pm 0,04	30,49 \pm 0,49	10,81 \pm 0,38	3,64 \pm 1,26	0,44 \pm 0,19	58,36 \pm 36,52
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	12,98 \pm 0,87	10,19 \pm 2,63	5,61 \pm 0,03	0,04 \pm 0,01	0,09 \pm 0,03	0	5,73 \pm 2,55	1,9 \pm 0,61	12,65 \pm 1,59	3,35 \pm 0,06	31,15 \pm 1,7	11,36 \pm 0,46	2,92 \pm 0,45	0,32 \pm 0,19	83,56 \pm 28,35
<i>Myrcianthes sp.</i>	19,62 \pm 5,29	11,02 \pm 1,27	5,57 \pm 0,06	0,05 \pm 0,02	0,04 \pm 0,01	0,06 \pm 0,06	5,66 \pm 1,57	1,39 \pm 0,39	11,69 \pm 1,58	3,33 \pm 0,04	31 \pm 0,52	10,8 \pm 0,21	3,28 \pm 0,49	0,26 \pm 0,19	97,7 \pm 25,65
<i>Oreopanax ecuadorensis</i>	18,96 \pm 2,18	11,02 \pm 1,27	5,89 \pm 0,14	0,05 \pm 0,01	0,1 \pm 0,03	0	4,69 \pm 1,96	1,08 \pm 0,19	11,82 \pm 1,27	3,41 \pm 0,04	31,25 \pm 0,67	10,64 \pm 0,09	3,57 \pm 0,62	0,3 \pm 0,25	81,34 \pm 31,14
<i>Phenax rugosus</i>	14,35 \pm 2,14	8,34 \pm 1,24	5,6 \pm 0,05	0,05 \pm 0,01	0,11 \pm 0,02	0	9,88 \pm 1,16	2,21 \pm 0,49	15,35 \pm 1,21	3,44 \pm 0,07	32,2 \pm 0,29	11,28 \pm 0,51	2,73 \pm 1,04	0,23 \pm 0,19	108,75 \pm 12,32
<i>Phyllanthus salviifolius</i>	17,23 \pm 1,41	7,15 \pm 0,28	5,83 \pm 0,04	0,03	0,07 \pm 0,01	0,07 \pm 0,07	15,27 \pm 0,07	1,71 \pm 0,17	14,14 \pm 1,05	3,34 \pm 0,02	30,48 \pm 0,37	10,96 \pm 0,21	3,88 \pm 0,98	0,05 \pm 0,02	84,44 \pm 3,45
<i>Piper barbatum</i>	8,61 \pm 0,58	7,99 \pm 0,84	5,56 \pm 0,19	0,03 \pm 0,01	0,07 \pm 0,01	0	8,64 \pm 2,51	1,38 \pm 0,06	12,77 \pm 1,56	3,41 \pm 0,04	31,62 \pm 0,5	10,75 \pm 0,44	3,35 \pm 1,06	0,34 \pm 0,16	117,15 \pm 8,26
<i>Prunus serotina</i>	21,11 \pm 4,83	12,7 \pm 6,99	5,68 \pm 0,02	0,03	0,06	0,03 \pm 0,03	14,94 \pm 5,42	1,03 \pm 0,17	9,27 \pm 1,09	3,4 \pm 0,04	31,34 \pm 0,85	11,56 \pm 0,73	5,31 \pm 1,29	0,04 \pm 0,01	76,92 \pm 19,81
<i>Sambucus nigra</i>	11,81 \pm 1,98	6,86 \pm 1,15	5,67 \pm 0,13	0,04 \pm 0,01	0,08 \pm 0,02	0	20,06 \pm 2,62	1,65 \pm 0,58	13,38 \pm 2,25	3,39 \pm 0,03	25,74 \pm 2,96	7,94 \pm 2,05	7,35 \pm 4,34	0,22 \pm 0,13	66,75 \pm 16,64
<i>Tournefortia fuliginosa</i>	9,87 \pm 3,62	5,74 \pm 2,11	5,59 \pm 0,15	0,02 \pm 0,01	0,05 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	13,83 \pm 3,49	1,65 \pm 0,72	11,05 \pm 2,75	3,38 \pm 0,06	27,61 \pm 4,83	9,6 \pm 1,14	2,26 \pm 1,3	0,04 \pm 0,01	55,7 \pm 14,18
<i>Vallea stipularis</i>	15,66 \pm 2,47	9,11 \pm 1,44	5,57 \pm 0,1	0,06 \pm 0,01	0,12 \pm 0,01	0	11,18 \pm 4,94	1,79 \pm 0,49	11,26 \pm 1	3,43 \pm 0,03	31,14 \pm 0,71	10,76 \pm 0,16	4,33 \pm 1,03	0,23 \pm 0,17	87,09 \pm 23,88

4.1.3 Tipos Funcionales de Plantas (TFP)

El análisis de conglomerados para las 25 especies arbóreas mostró que se forman tres grupos funcionales de árboles bien diferenciados con un coeficiente de correlación cofenética de 0,587 (Figura 2).

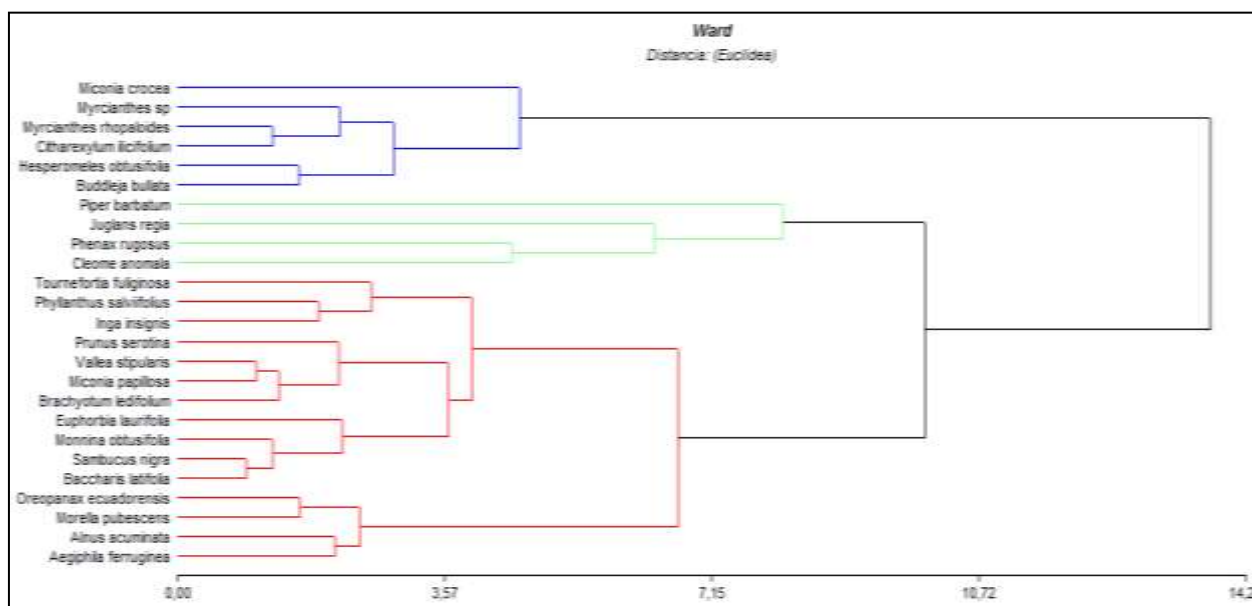


Figura 2 Dendrograma de clasificación de los rasgos funcionales de las 25 especies arbóreas

El MANOVA de los rasgos funcionales de las especies arbóreas mostró diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre los grupos y la prueba de comparación de vectores medios de Hotelling encontró diferencias entre los tres grupos Tabla 6.

Tabla 6

MANOVA para los tres TFPs y prueba de comparación de vectores medios de Hotelling

TFP	DM ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	CNF	CPF	ÁF (mm^2)	CFMS (mm^2g^{-1})	AFE ($\text{mm}^2\text{mg}^{-1}$)	FTF ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$)	DAP (cm)	n	
3	0,38	3,12	0,6	27402,04	0,47	62,08	512,5	44,46	12	A
2	0,78	1,75	0,14	1278,07	0,6	7,29	1000	34,32	18	B
1	0,51	2,47	0,22	6928,44	0,35	11,57	470	51,9	45	C

AF= Área foliar; AFE= Área foliar específica; CFMS= Contenido foliar de materia seca; DM= Densidad de madera; FTF= Fuerza tensil foliar; CNF= Contenido foliar de Nitrógeno; CPF= Contenido foliar de Fósforo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El TFP 1 se encontró formado por 6 especies, el TFP 2 por 4 especies y el TFP 3 por 15 especies. En la Tabla 7 se presentan las especies arbóreas pertenecientes a cada TFP.

Tabla 7

Especies pertenecientes a los tres TFPs de especies arbóreas caracterizados

TFP	ESPECIE
TFP 1	<i>M. crocea, Myrcianthes sp., M. rhopaloides, C. ilicifolium, H. obtusifolia y B. bullata</i>
TFP 2	<i>P. barbatum, J. neotropica, P. rugosus y C. anomala</i>
TFP 3	<i>T. fuliginosa, P. salviifolius, I. insignis, P. serotina, V. stipularis, M. papillosa, B. ledifolium, E. laurifolia, M. obtusifolia, S. nigra, B. latifolia, O. ecuadorensis, M. pubescens, A. acuminata y A. ferruginea</i>

El ANOVA de los rasgos funcionales y de las variables edafológicas de las especies arbóreas mostró diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre los TFPs. El TFP 1 se caracterizó por presentar valores altos para DAP, % de materia orgánica, Na y los valores bajos para CFMS, FTF, % de Nitrógeno y % de Fósforo en suelos; a este grupo se lo denominó adquisitivo intermedio. El TFP 2 se caracterizó por presentar los valores más altos de DM, CFMS, FTF, % de carbono, K, Na y los valores más bajos de CNF, CPF, AF, AFE, DAP, % de materia orgánica, Fe y Mn; a este grupo se le denominó conservativo. Finalmente, el TFP 3 se caracterizó por presentar los valores más altos de CNF, CPF, AF, AFE, % de fósforo en suelo y los valores más bajos de DM y % de nitrógeno en suelo; a este grupo se denominó adquisitivo (Tablas 8 y 9).

Tabla 8*ANOVA de los rasgos funcionales para los Tipos funcionales de Plantas*

VARIABLE	TFP 1	TFP 2	TFP 3	F	p
DM (g.cm ⁻³)	0,51 ± 0,02 B	0,78 ± 0,05 A	0,38 ± 0,03 C	28,89	< 0,0001
% NITRÓGENO (CNF)	2,47 ± 0,1 B	1,75 ± 0,17 C	3,12 ± 0,29 A	12,68	< 0,0001
% FÓSFORO (CPF)	0,22 ± 0,03 B	0,14 ± 0,01 B	0,6 ± 0,19 A	9,68	0,0002
AF (mm ²)	6 928,44 ± 1 241,45 B	1 278,07 ± 199,97 B	27 402,04 ± 10 026,54 A	11,74	< 0,0001
CFMS (mg.g ⁻¹)	0,35 ± 0,02 C	0,6 ± 0,11 A	0,47 ± 0,02 B	13,75	< 0,0001
AFE (mm ² .mg ⁻¹)	11,57 ± 0,75 B	7,29 ± 0,53 B	62,08 ± 27,03 A	10,03	0,0001
FTF (N.mm ⁻¹)	470 ± 28,84 B	1 000 ± 106,18 A	512,5 ± 72,59 B	23,19	< 0,0001
DAP (cm)	51,9 ± 3,66 A	34,32 ± 3,35 B	44,46 ± 4,07 AB	4,52	0,0141

TFP= Tipo funcional de planta; AF= Área foliar; AFE= Área foliar específica; CFMS= Contenido foliar de materia seca; DM= Densidad de madera; FTF= Fuerza tensil foliar; CNF= Contenido foliar de Nitrógeno; CPF= Contenido foliar de Fósforo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05)

Tabla 9*ANOVA de las características edafológicas de los suelos para los Tipos Funcionales de Plantas*

VARIABLE	TFP 1	TFP 2	TFP 3	F	p
% M. Orgánica	15,01 ± 0,84 A	13,91 ± 1,2 A	13,93 ± 3,01 A	0,26	0,7741
%C	8,27 ± 0,59 AB	9,86 ± 0,78 A	7,05 ± 0,48 B	2,39	0,0988
pH	5,67 ± 0,04 A	5,63 ± 0,04 A	5,63 ± 0,06 A	0,21	0,8138
C. E. (ms)	0,04 ± 2,70E-03 A	0,04 ± 0,01 A	0,03 ± 0,01 A	0,52	0,5987
STD (ppt)	0,07 ± 0,01 A	0,08 ± 0,01 A	0,08 ± 0,01 A	0,07	0,9338
Cu (mg/lt)	0,02 ± 0,01 A	0,05 ± 0,04 A	0,01 ± 0,01 A	0,56	0,5756
Fe (mg/lt)	13,23 ± 0,91 A	10,1 ± 1,44 A	13,68 ± 1,67 A	1,96	0,1486
Zn (mg/lt)	1,38 ± 0,09 A	1,6 ± 0,21 A	1,75 ± 0,19 A	1,65	0,1988
Mn (mg/lt)	12,24 ± 0,85 B	11,74 ± 0,85 B	14,71 ± 0,58 A	3,19	0,0469
Mg (mg/lt)	3,38 ± 0,01 A	3,37 ± 0,02 A	3,4 ± 0,02 A	0,98	0,3818
Ca (mg/lt)	30,36 ± 0,26 A	30,84 ± 0,39 A	31,31 ± 0,26 A	0,74	0,4804
K (mg/lt)	10,34 ± 0,27 A	10,37 ± 0,31 A	11,01 ± 0,25 A	0,9	0,4117
Na (mg/lt)	4,14 ± 0,35 A	3,6 ± 0,35 A	2,97 ± 0,49 A	1,6	0,2081
% NitrógenoI	0,17 ± 0,04 A	0,22 ± 0,06 A	0,17 ± 0,06 A	0,35	0,7089
Nitrógeno (ppm)	16 82,61 ± 358,28 A	2 234,02 ± 571,35A	1 568,36 ± 653,28 A	0,41	0,6663
P (mg*kg-1)	80,08 ± 5,68 B	92,54 ± 8,68 AB	106,87 ± 7,96 A	2,81	0,0669
C:N SUELO	129,02 ± 17,50 A	121,9 ± 27,56 A	128,6 ± 35,96 A	0,02	0,9757
N:P hojas	14,06 ± 0,93 A	13,35 ± 1,62 AB	9,09 ± 1,52 B	3,01	0,0556

TFP= Tipo funcional de planta; AF= Área foliar; AFE= Área foliar específica; CFMS= Contenido foliar de materia seca; DM= Densidad de madera; FTF= Fuerza tensil foliar; CNF= Contenido foliar de Nitrógeno; CPF= Contenido foliar de Fósforo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05)

4.2 Relaciones entre variables

4.2.1 Rasgos funcionales y características edafológicas.

Se encontraron relaciones significativas (Fig. 3) entre la FTF y el contenido de Fe ($F= 4,83$; $p= 0,0311$), la DM y el contenido de Mn ($F= 4,73$; $p= 0,0328$), el contenido de P y el contenido de Mn ($F=4,52$; $p= 0,037$), el AFE y el % de materia orgánica en el suelo ($F= 4,2$; $p= 0,044$). El % C presentó una relación significativa con el contenido de N ($F= 4,04$; $p= 0,0481$), la DM ($F= 4,9$; $p= 0,0301$) y la FTF ($F= 4,2$; $p= 0,044$; Tabla 10).

Tabla 10

Relaciones entre rasgos funcionales y características edafológicas de los suelos

RASGO FUNCIONAL	SUELO	F	p
FTF ($N.mm^{-1}$)	Fe (mg/lt)	4,83	0,0311
DM ($g.cm^{-3}$)	Mn (mg/lt)	4,73	0,0328
% FÓSFORO	Mn (mg/lt)	4,52	0,037
% FÓSFORO	Mg (mg/lt)	4,3	0,0419
AFE ($mm^2.mg^{-1}$)	% M. O.	4,2	0,044
% NITRÓGENO	% Carbono	4,04	0,0481
DM ($g.cm^{-3}$)	% Carbono	4,9	0,0301
FTF ($N.mm^{-1}$)	% Carbono	4,2	0,044
% FÓSFORO	N:P hojas	45,1	< 0,0001

TFP= Tipo funcional de planta; AF= Área foliar; AFE= Área foliar específica; CFMS= Contenido foliar de materia seca; DM= Densidad de madera; FTF= Fuerza tensil foliar; CNF= Contenido foliar de Nitrógeno; CPF= Contenido foliar de Fósforo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

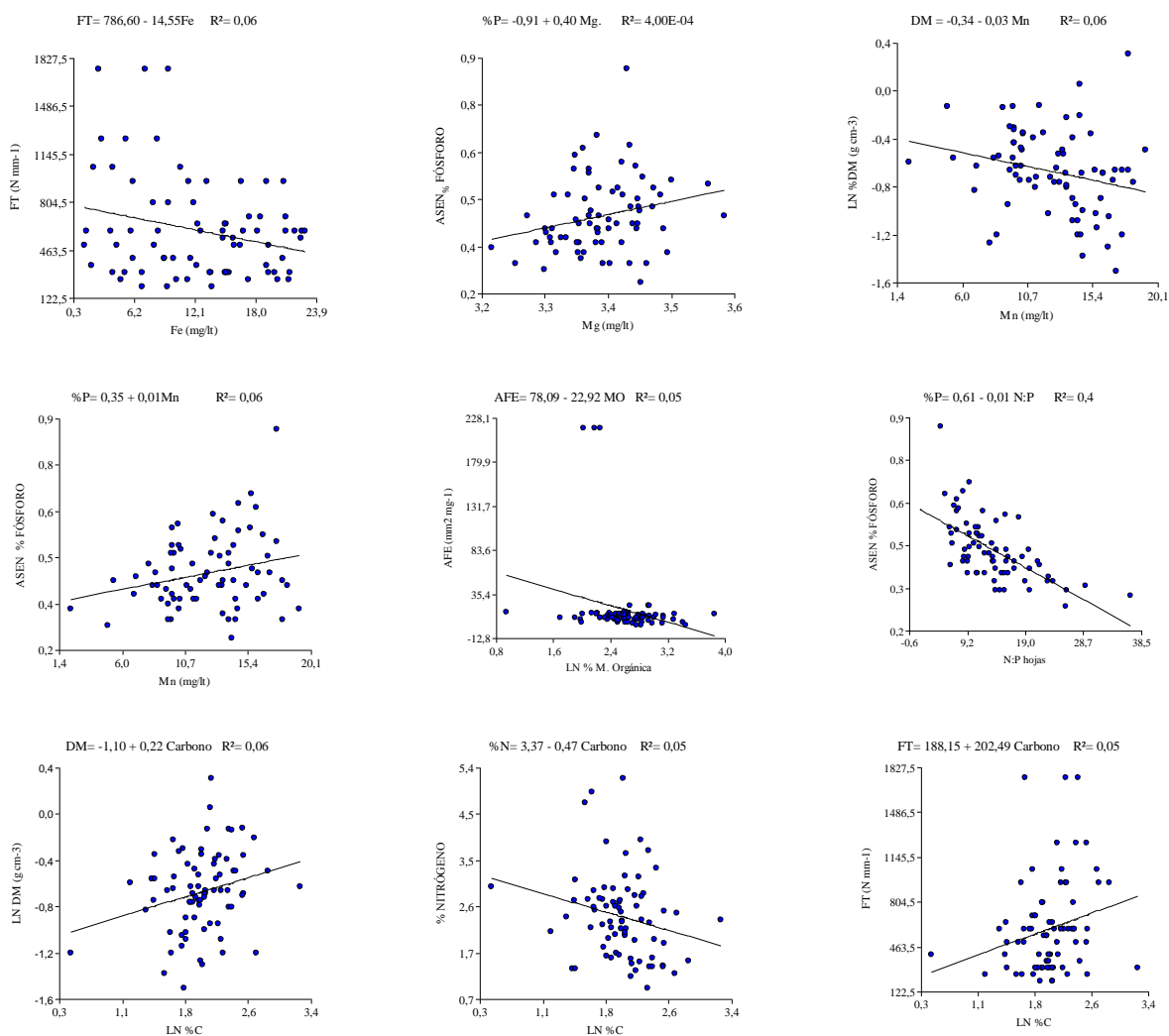


Figura 3 Relaciones entre las características edafológicas de los suelos aledaños y los rasgos funcionales de las especies arbóreas

4.2.2 Rasgos funcionales y variables climáticas

Se encontraron relaciones significativas entre la temperatura media, la evaporación y la heliofanía, con los rasgos: DM ($F= 6,93$; $p= 0,0103$), ($F= 6$; $p= 0,0167$) y ($F= 6,24$; $p= 0,0147$); el CFMS ($F= 5,06$; $p= 0,0275$), ($F= 10,56$; $p= 0,0017$) y ($F= 10,77$; $p= 0,0016$); el AF ($F= 4,58$; $p= 0,0368$), ($F= 3,91$; $p= 0,0519$) y ($F= 9,95$; $p= 0,0023$). La precipitación y la humedad relativa presentaron relación significativa entre el AF ($F= 8,79$; $p= 0,0041$), ($F= 24,18$; $p< 0,0001$) y con la FTF ($F=9,47$; $p= 0,0029$), ($F=24,55$; $p< 0,0001$) respectivamente. En la Tabla 11 se muestran las relaciones existentes (Fig. 4).

Tabla 11

Relaciones entre rasgos funcionales y variables climáticas

RASGO FUNCIONAL	CLIMA	F	p
DM (g.cm^{-3})	MAT	6,93	0,0103
% NITRÓGENO	MAT	7,87	0,0064
ÁREA (mm^2)	MAT	4,52	0,0368
CFMS (mg.g^{-1})	MAT	5,06	0,0275
AFE ($\text{mm}^2.\text{mg}^{-1}$)	MAT	7,29	0,0086
ÁREA (mm^2)	PREC	8,79	0,0041
FTF (N.mm^{-1})	PREC	9,47	0,0029
DM (g.cm^{-3})	EVA	6	0,0167
% NITRÓGENO	EVA	6,94	0,0103
ÁREA (mm^2)	EVA	3,91	0,0519
CFMS (mg.g^{-1})	EVA	10,56	0,0017
FTF (N.mm^{-1})	EVA	21,87	<0,0001
DM (g.cm^{-3})	HEL	6,24	0,0147
ÁREA (mm^2)	HEL	9,95	0,0023
CFMS (mg.g^{-1})	HEL	10,77	0,0016
FTF (N.mm^{-1})	HEL	15,77	0,0002
ÁREA (mm^2)	HR	24,18	<0,0001
FTF (N.mm^{-1})	HR	24,55	<0,0001

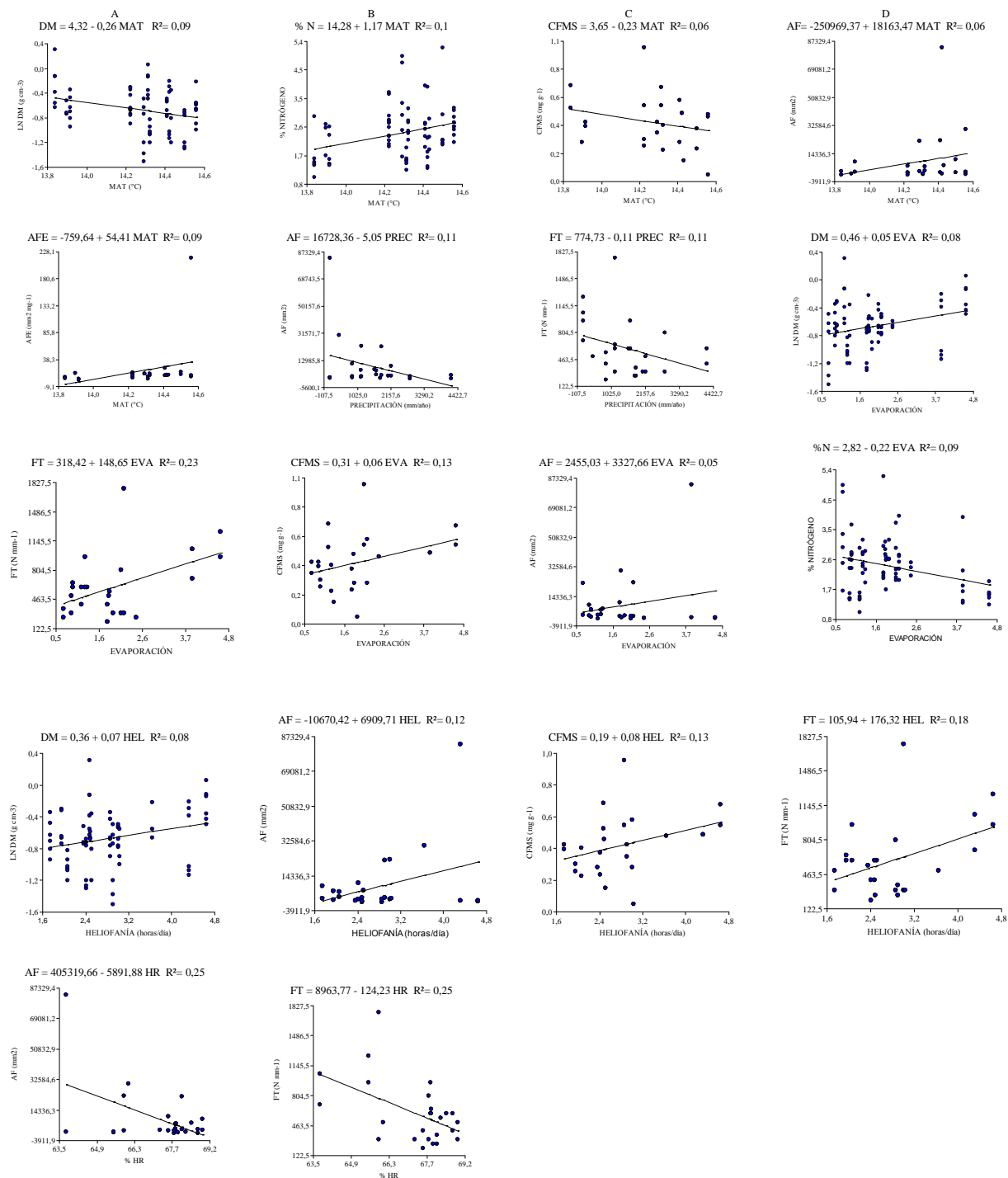


Figura 4 Relaciones entre variables climáticas y los rasgos funcionales de las especies arbóreas

4.3 Discusión

Los TFPs de plantas son grupos de especies con características similares que cumplen un papel semejante en el funcionamiento del ecosistema y tienen respuestas similares a factores climáticos y edafológicos (Díaz & Cabido, 1997). En este estudio se encontraron tres TFPs, el TFP 1 con rasgos adquisitivo-intermedio que presenta características entre conservativas y adquisitivas; el TFP 2 o conservativo que posee características de fijación de Carbono con altas tasas de renovación y especies de rápido crecimiento (Ruiz, 2013) y el TFP 3 o adquisitivo cuyas especies son de lento crecimiento y fijadoras de N (Fernández, 2007). Adicionalmente se encontraron relaciones positivas entre rasgos funcionales con variables climáticas y variables edafológicas que son una herramienta valiosa para la comprensión de la respuesta de la vegetación frente a condiciones ambientales.

4.3.1 Tipos funcionales de plantas

Los TFPs poseen características relacionadas directamente con los procesos fisiológicos fundamentales de las plantas y con su relación al medio abiótico y biótico donde habitan (Díaz, Gurvich, Pérez, & Cabido, 2002). Por lo que permiten entender las relaciones entre biodiversidad, factores abióticos y procesos ecosistémicos de un modo tal que las clasificaciones taxonómica clásica y filogenética, por sí solas, no pueden explicar (Díaz & Cabido, 2001).

Los árboles del grupo adquisitivo intermedio, presentaron valores intermedios para AF, AFE y DM, lo que indica que realizan un eficiente ciclaje de nutrientes; esto se vio reflejado en los altos contenidos de materia orgánica presente en los suelos aledaños a los individuos de estas

especies (Fernández, 2007). Los bajos niveles de N foliar encontrados en los árboles de las especies de este grupo, están relacionados con su baja FTF y con su alta relación N:P en el tejido foliar; esto se ve reflejado en las altas tasas de crecimiento de los individuos de este grupo (Wright, et al., 2004).

Los árboles del grupo funcional conservativo, presentaron valores altos de densidad de madera, que se relaciona positivamente con el contenido de carbono (Santiago, y otros, 2004). Según Casanoves et al (2011) la presencia de árboles con altas densidades de madera, favorece la regulación del clima a través del secuestro biológico de carbono atmosférico (Chave, 2006). Los valores altos de CFMS y FTF, indican que los individuos de este grupo tienen hojas con mayor resistencia a la tensión y son más difíciles de descomponerse; por lo que se les atribuye una eficiente conservación de nutrientes (Pérez-Harguindeguy, y otros, 2013; Pérez, y otros, 2004). Por otro lado, los individuos de este grupo mostraron valores bajos de AFE, que indica una larga longevidad y resistencia de sus hojas, debido a los altos contenidos de lignina que presentan (Fernández, 2007). Según Pérez et al (2004) al presentar un valor bajo de AFE, también disminuye la concentración de N y P convirtiéndose en la principal limitación para alcanzar altas tasas fotosintéticas, por lo tanto este grupo es característico de especies de lento crecimiento (Villar, López, Ruiz, dela Riva, & Zavala, 2014). Los suelos aledaños a los árboles de las especies de este grupo presentaron altos contenidos de P, que son muy difíciles de ser absorbido por las plantas, ya que se encuentran en formas poco biodisponibles. Esto se vio reflejado en las bajas concentraciones de P presentes en las hojas de los árboles de este grupo (Mazzarino & Gobbi, 2005).

Finalmente, los individuos del grupo funcional adquisitivo, presentaron valores altos de CNF y AFE, que indican una alta capacidad fotosintética (Garnier, Shipley, Roument, & Laurent, 2001). Esto está estrechamente ligada con la capacidad de las plantas para la fijación del carbono y es importante para el proceso de ciclaje de nutrientes (Le Roux, y otros, 2001). Según el estudio de Fernández (2007), un alto valor de AF se ve reflejado en hojas con mayor recepción de luz, que requieren mayores cantidades de N y P para utilizarlos en el proceso de la fotosíntesis. Esto ocasiona que estos árboles tengan menores niveles de estos nutrientes en el fuste y por lo tanto valores más bajos de su densidad (Finegan, Camacho, & Zamora, 1999). Especies con densidad de madera baja mantienen una tasa de crecimiento rápida (Bermeo, 2010). Los suelos aledaños a los individuos de este grupo mostraron altos niveles de P, que son retenidos en forma de precipitados de Fe y Ca; esto explica la baja lixiviación del P y sus pérdidas se producen por escorrentía superficial o erosión (Mazzarino & Gobbi, 2005).

4.3.2 Relaciones entre rasgos funcionales y las variables edafológicas y climáticas

En este estudio se encontraron relaciones entre los rasgos funcionales de los árboles y las características climáticas del bosque. La relación positiva entre el área foliar y la precipitación fue previamente encontrada por Cháidez *et al.* (2008), en fincas ganaderas del Bosque Seco Tropical de Centroamérica. La relación positiva entre el AFE y la temperatura encontrada en este estudio, difiere a la relación negativa reportadas para estas variables por Martin *et al.* (2018); en dicho estudio, se indica que a altas temperaturas, la demanda de evaporación es alta por lo que las células mesófilas, la lignina y los compuestos fenólicos generalmente se expresan en mayores concentraciones, lo que lleva a hojas con menor AFE. Por otro lado la relación negativa entre la

densidad de la madera y la temperatura difiere de los hallazgos realizados por Gindl *et al.* (2000), Wimmer y Grabner 2000 y Franceschini (2013), quienes reportaron una relación negativa entre estas variables. Los estudios sobre la anatomía y la actividad del cambium pueden ayudar a interpretar este fenómeno. Se ha demostrado que el inicio y la duración de la actividad cambium están bajo un determinismo fuerte de la temperatura (Deslauriers, Rossi, & Saracino, 2008). De hecho, los árboles sometidos a condiciones secas producen traqueidas de madera tardía con lumen más pequeño y paredes más gruesas, lo que da como resultado una mayor densidad de la madera tardía (Park & Spiecker, 2005; Jyske, y otros, 2010).

Adicionalmente se encontraron relaciones entre los rasgos funcionales de los árboles y las características edafológicas de los suelos aledaños a las especies; la densidad de madera mostró una relación positiva con el contenido de carbono en el suelo, lo que quiere decir que estas especies secuestran mayor cantidad de carbono que las especies de menor densidad (Nogueira, Fearnside, Nelson, & França, 2007). Otro estudio realizado a nivel global por De Deyn (2008) señala que las especies de plantas con baja densidad de madera tienen un rápido crecimiento, y contribuyen a incrementar las reservas de carbono del suelo. Por otro lado la relación negativa entre el contenido de carbono en el suelo y CNF coincide con lo reportado por Ordoñez *et al.*, (2009), donde indican que esta relación negativa incrementa la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

En este estudio, no se encontraron relaciones bivariadas significativas entre los rasgos funcionales y las variables edafológicas y climáticas. Sin embargo Ordoñez *et al.*, (2009), reportaron relaciones significativas entre el AFE y la relación C: N de los suelos afectados por

niveles de precipitación altos, lo que indica que las respuestas de disponibilidad de AFE al suelo se modifican por las interacciones climáticas. Además, encontraron relaciones positivas entre el contenido de P en el suelo y la precipitación, lo que se ve reflejado en suelos pobres, lixiviados y deficientes en áreas con alta precipitación.

4.3.3 Implicaciones para el manejo sostenible

Los bosques Andinos juegan un papel clave en el mantenimiento de la biodiversidad, captación y conservación de carbono, regulando y asegurando la provisión hídrica que está relacionada con el almacenamiento de agua en la hojarazca, musgos y la alta capacidad de infiltración de los suelos (Tobón, 2009). El cambio climático puede generar impactos negativos en los bosques Andinos mediante cambios en patrones de precipitación, humedad, temperatura superficial, disponibilidad de luz, frecuencia de cobertura nubosa, entre otras variables bioclimáticas; esto genera cambios en patrones de fijación de carbono de las plantas, mortalidad y tasas de regeneración de muchas especies (Boehmer, 2011).

El conocimiento sobre los TFPs encontrados en este estudio, pueden aportar beneficios en la conservación y protección de los bosques Andinos y de sus recursos naturales como suelo, agua y regeneración de especies arbóreas. Dentro de un programa de restauración vegetal de los bosques Andinos, las especies de los grupos funcionales adquisitivo y adquisitivo intermedio serían las más adecuadas para incluirlas inicialmente en un programa de restauración, debido a que son especies de rápido crecimiento que el proceso de ciclaje de nutrientes de una manera más efectiva gracias a su alta capacidad fotosintética (Garnier, Shipley, Roument, & Laurent, 2001). Una vez implementadas estas especies, los suelos de los bosques afectados habrán mejorado sus

condiciones físicas y químicas y se podrán incluir las especies conservativas que son más exigentes. Estas especies generarán mayor cantidad de servicios ecosistémicos como la captura y almacenamiento de carbono atmosférico y favorecerán la conservación de la diversidad de flora y fauna a largo plazo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las especies arbóreas que sobresalieron por presentar los valores más altos de rasgos funcionales fueron: *J. neotropica* para AF, *P. barbatum* para AFE, *Myrcianthes* sp para DM y FTF, *C. anomala* para CNF, *P. rugosus* para CPF y *H. obtusifolia* para CFMS. Estos rasgos se relacionan con el ciclaje y conservación de nutrientes, acumulación de materia orgánica en el suelo, fijación de carbono y con la producción de biomasa.

Se obtuvieron 3 tipos funcionales de plantas (TFPs) presentes en el bosque altoandino, el TFP 1 o adquisitivo-intermedio, el TFP 2 o conservativo y el TFP 3 o adquisitivo. Estos presentan características de regeneración y conservación de nutrientes que pueden generar beneficios a su entorno.

Los suelos aledaños a las especies *C. anomala*, *P. serotina*, *A. ferruginea* y *M. obtusifolia* presentaron altos contenidos de materia orgánica, carbono, nitrógeno y fósforo respectivamente. Estas características se relacionan con la fertilidad del suelo y la capacidad para retener los nutrientes en el suelo que son absorbidos por las plantas.

Se encontró relaciones positivas entre el área foliar y la precipitación, el AFE y la temperatura, la densidad de madera y el contenido de carbono en el suelo; además se encontraron relaciones negativas entre la densidad de la madera y la temperatura, el contenido de carbono en el suelo y el contenido de nitrógeno foliar.

5.2 Recomendaciones

Incluir mayor cantidad especies para determinar otros Tipos Funcionales diferentes a los reportados en la presente investigación.

Construir tipos funcionales de plantas con mayor cantidad de rasgos cuantitativos y cualitativos que muestren mayores diferencias entre grupos de especies a las encontradas en este estudio.

Relacionar el impacto que tienen los diferentes tipos de plantas y rasgos funcionales de plantas con los procesos erosivos del suelo.

5.3 Bibliografía

- Abud, M. &. (2016). Caracterización florística de un bosque andino en el Parque Nacional Natural Puracé, Cauca, Colombia. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 27-39.
- Arce, M. (2009). Normal climática y distribución de la precipitación en la Hacienda El Prado – IASA, serie 1998 – 2008. *Bol. Tec. Zool*, 4-5, 130-132.
- Balslev, H., Navarrete, H., De la Torre, L., & Macía, M. (2008). *Enciclopedia de plantas útiles del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Bermeo, D. (2010). Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas. *Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica*.
- Boehmer, F. (2011). Vulnerability of tropical montane rain forest ecosystems due to climate. *Global Environmental*, 789-802.
- Camacho, M. (2000). Parcelas permanentes de muestreo de bosque natural tropical, guía para el establecimiento y medición. *Serie Técnica CATIE*, 52, 52.
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Turrialba, Costa Rica.
- CATIE. (2002). *Planificación del manejo diversificado de bosques latifoliados húmedos tropicales*. (L. Orozco, Ed.) Turrialba.
- Cháidez, J. N., González, J., & Rodríguez, H. (2008). Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 62-70.
- Chapin, F. I., Zavaleta, E., Eviner, V., Naylor, R., Vitousek, P., Reynolds, H., Díaz, S. (2000). Functional and societal consequences of changing biotic diversity. *Nature*, 405, 234-242.
- Chave, J. (2006). Medición de densidad de madera en árboles tropicales manual de campo. *Evolution*, 1-7.
- Cornelissen, J., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, P., Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 46.

- De Deyn, G., Johannes, H. C., Cornelissen, & Bardgett, R. (2008). Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters*, *11*, 516–531.
- De la Torre, L., Navarrete, P., Muriel, M., Marcia, J., & Balslev, H. (2008). *Enciclopedia de las plantas Útiles del Ecuador. Herbario QCA de la Universidad de Aarhus*. Quito & Aarhus.
- Deslauriers, A., Rossi, S. A., & Saracino, A. (2008). Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrasting years and high altitude in southern Italy. *Tree Physiol*, *28*(6), 863-871.
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., González, L., Casanoves, F., Tablada, M., & Robledo, C. (2018). Infostat versión 2018. *Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba*.
- Di Rienzo, J., Macchiavelli, R., & Casanoves, F. (2011). Modelos lineales mixtos : aplicaciones en InfoStat. 1a. ed. Córdoba: Grupo Infostat, 193. 193.
- Diaz, S., & Cabido, M. (1997). Plant functional types and ecosystem function in relation to global change: a multiscale approach. *Journal of Vegetation Science*, *8*, 463-474.
- Diaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, *16*(11), 646-655.
- Díaz, S., Gurvich, D., Pérez, H., & Cabido, M. (2002). ¿Quién necesita tipos funcionales de plantas? *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, *37*(1-2), 135-140.
- Díaz, S., Lavorel, S., De Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K., & Robson, M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*(104), 20684-20689.
- Ecuador Forestal. (s.f). *Ficha técnica No. 2 Nogat*. Recuperado el 01 de Febrero de 2018, de Ecuador Forestal: www.ecuadorforestal.org/download/contenido/nogat.pdf
- FAO. (2001). *Información sobre el manejo forestal, recursos forestales y cambio en el uso de la tierra en América Latina*. Perú.
- FBA, F. B. (2017). Plantas Nativas de la Hoya de Quito. *Jardín Botánico de Quito*.
- Fernández, F. (2007). Diversidad funcional de bosques muy húmedos en el noreste de Costa Rica a partir de rasgos foliares y de la madera. *Tesis M. Sc. CATIE*, 114.
- Field, C., & Money, H. (1986). The photosynthesis nitrogen relationship in wild plants. *The economy of plant form and function. Cambridge University Press*, 25-55.

- Finegan, B., Camacho, M., & Zamora, M. (1999). Diameter increment patterns among 106 tree species in a logged and silviculturally treated Costa Rica rain forest. *Ecology and Management*, 121, 159-176.
- Franceschini, T., Longuetaud, F., Bontemps, J., Bouriaud, O., Caritey, B., & Leban, J. (2013). Effect of ring width, cambial age, and climatic variables on the within-ring wood density profile of Norway spruce *Picea abies*. *Trees*, 27(4), 913-925.
- Garnier, E., Shipley, B., Roument, C., & Laurent, G. (2001). A standardized protocol for the determination of specific leaf dry matter content. *Func. Ecol*, 15, 688-695.
- Gindl, W., Grabner, M., & Wimmer, R. (2000). The influence of temperature on latewood lignin content in treeline Norway spruce compared with maximum density and ring width. *Trees Struct-Funct*, 14(7), 409-414.
- Gómez, E., & De Groot, R. (2008). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*(3), 4-14.
- Grime. (2001). *Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties*. John Wiley & Sons Inc. NY. 417.
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zona de vida*. (H. Jiménez, Trad.) San José, Costa Rica.
- Hopper, U., Chapin, S., Ewel, J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Wardle, D. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological monographs*, 1(75), 3-35.
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis: plant grown analysis for beginners*. London, England.
- INDECOPI. (2016). *Sauco*. San Borja, Perú.
- Jyske, T., Holttá, T., Mäkinen, H., Nojd, P., Lumme, I., & Spiecker, H. (2010). The effect of artificially induced drought on radial increment and wood properties of Norway spruce. *Tree Physiol*, 30(1), 103-115.
- Kvist, L., Aguirre, Z., & Sánchez, O. (2006). *Bosques montanos bajos occidentales en Ecuador y sus plantas útiles*. Obtenido de Botánica Económica de los Andes: <http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2013.pdf>

- Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, *21*, 545-556.
- Le Roux, X., Walcroft, A., Daudet, F., Sinoquet, H., Chaves, M., Rodriguez, A., & Osorio, L. (2001). Photosynthetic light acclimation in peach leaves importance of changes in mass aerea ratio, nitrogen concentration, and leaf nitrogen partitioning. *Tree Physiology*, *21*, 377-386.
- MA-56, E. a. (2017-2018). Registro diarios de parámetros climáticos. Base de datos. Sangolquí, Ecuador.
- MacGrillivray, K., Mason, N., Steel, J., & Wilson, J. (2003). An index of functional diversity. *Journal of Vegetation Science*, *14*, 571-578.
- MAE & FAO. (2015). *Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- MAE. (2012). Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental*, 106.
- Márquez, G. (2000). Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de sostenibilidad en Colombia. *Gestión y Ambiente*, *5*, 33-39.
- Martin, A. R., Hale, C., Cerabolini, B. E., Cornelissen, J. H., Craine, J., Gough, W. A., & Tirona, C. K. (2018). Inter-and intraspecific variation in leaf economic traits in wheat and maize. *AoB Plants*, *10*(1), 6-12.
- Mazzarino, M., & Gobbi, M. E. (2005). Indicadores de circulación de nutrientes en bosques Andinos Patagónicos. *IDIA*, *21*(5), 15-18.
- McKean, J., Dietrich, W., Finkel, R., Southon, J., & Caffè, M. (1993). Quantification of soil production and downslope creep rates from cosmogenic be accumulations on a hillslope prolife. *Geology*, *21*, 343-346.
- MECN. (2015). *Plantas de los páramos del distrito metropolitano de Quito, Ecuador* (Vol. 2). Quito, Ecuador.
- Medina, E. (1984). Nutrient balance and physiological processes at the leaf level. *Physiological ecology of plants in the wet tropics*. Junk, The Hague, 134 - 154.
- Mínga, D., & Verdugo, A. (2016). *Árboles y arbustos de los Ríos de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.

- MINTUR. (2011). *Proyecto PLANDETUR*. Quito, Ecuador.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C. d., & Kent, J. (2000). Biodiversity for conservation priorities. *Natura*, 403, 853-858.
- Nogueira, E., Fearnside, P., Nelson, B., & França, M. (2007). Wood density in forest of Brazil's are of deforestation: Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest ecology and management*, 248(3), 119-135.
- Ordiales, R. (2000). *Midebmp, Version 4.2. Estación Experimental de Zonas Áridas*. Almería, España.
- Ordoñez, J., Van Bodegmon, P., Witte, J., Wright, I., Reich, P., & Aerts, R. (2009). A global study of relationship between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility. *Journal of Macroecology*, 10, 137-149.
- Osinga, O., Baez, S., Cuesta, F., & Aguirre, N. (2014). *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en los Bosques Andinos-Protocolo extendido*. Ecuador: CONDESAN.
- Pachacama. (2010). "CARACTERIZACIÓN DE LOS REMANENTES DE BOSQUE DE LA HACIENDA EL PRADO". *Repositorio ESPE*.
- Pachacama, R. (2010). Caracterización de los remanentes de bosque de la hacienda El Prado. *Tesis Ing. Agropecuaria. ESPE*, 108.
- Park, & Spiecker, H. (2005). Variations in the tree ring structure of Norway spruce (*Picea abies*) under contrasting climates. *Den-drochronologia*, 23(2), 93-104.
- Pennington, T., Reynel, C., & Daza, A. (2004). *Ilustred guide to the trees of Peru*. England.
- Pérez, J., García Moya, E., Enríquez Quiroz, J., Quero, A., Pérez, J., & Hernández, A. (2004). Análisis de crecimiento, área específica foliar y concentración de hojas en pasto mulato (*Brachiara hibrido*, cv). *Tec Pecu México*, 42(3), 447-458.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., & Jaureguiberry, P. (2013). New handbook for standardised measurement of plant futional traits world wide. *Australian Journal of Botanic*, 61, 167-234.
- Petchey, O., & Gaston , K. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9, 741-758.

- Prado, V. (2017). Grupos funcionales y su papel en la restauración de paisajes en la región sur del Ecuador.
- Quintero, A., & Amado, S. (2017). Análisis de rasgos funcionales asociados a la madera en tres tipos de bosques en Colombia. *Tesis de Ingeniería forestal. Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 66.
- Ruiz, E. (2013). Impacto potencial del cambio climático en bosques de un gradiente altitudinal a través de rasgos funcionales. *Tesis de Maestría*.
- Sadzawka, A., Carrasco, A., Grez, R., Mora, L., Flores, H., & Alexander, N. (2006). Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Santiago, Chile: Centro Regional de Investigaciones La Platina.
- Salgado, B., & Paz, H. (2015). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.*, 236.
- Salguero, M., Arias, B., & González, B. (2014). *Lineamientos técnicos de manejo forestal*. Guatemala.
- Sánchez. (2011). Caracterización funcional de especies arbóreas relacionada con la recuperación del bosque tras el impacto del Huracán Félix, y sus implicaciones en el manejo sostenible del recurso forestal, RAAN, Nicaragua. *Tesis de Maestría*.
- Santiago, L., Goldstein, G., Meinzer, F., Fisher, J., Machado, K., Woodruff, D., & Jones, T. (2004). Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees. *Oecología*, 140, 543-550.
- Sarmiento, Cadena, Sarmiento, Zapata, & León. (2013). Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia. En actualización de la cartografía de los complejos de páramo a escala 1:100.000. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt.
- Sierra, R. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Quito, Ecuador.

- Swenson, N., & Enquist, B. (2008). The relationship between stem and branch wood specific gravity and the ability of each measure to predict leaf area. *American Journal of Botany*, 95, 516-519.
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa regional Ecobona - Intercoperation, CONDESAN*. Quito.
- UCV. (2013). *Guía de análisis mediante métodos de espectrometría molecular en el UV-visible*. Venezuela.
- Ushiña, K. (2018). Caracterización funcional de especies arbóreas de un bosque andino y sus implicaciones con el manejo sostenible. *Tesis Ing. Agropecuaria. ESPE*.
- Valencia, S., & Vargas, J. (1997). Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y bosques*, 3(1), 81-87.
- Vargas, J., & Jiménez, P. (2017). Evaluación del crecimiento de las plántulas de 88 especies de hábito arbóreo, arbustivo, hierbas terrestres, escandescientes y palmas, presentes en el vivero La Florida del jardín botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 242.
- Velasco, P., & Vargas, O. (2008). Problemática de los Bosques Andinos. *Grupo de Restauración Ecológica*. Colombia.
- Villacís. (2016). Evaluación de técnicas de remediación vegetal utilizadas en plataformas petroleras mediante estudios del desempeño de especies y análisis de diversidad funcional. *Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*.
- Villacís, J., Casanoves, F., Hang, S., & Armas, C. (2016). Selection of forest species for the rehabilitation of disturbed soils in oil fields in the Ecuadorian Amazon. *Science of the total environment*, 566-567:761-760.
- Villar, R., López, B., Ruiz, B., dela Riva, E., & Zavala, M. (2014). Crecimiento de plántulas y árboles de seis especies de *Quercus*. *Ecosistemas*, 23(2), 64-72.
- Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., Fortunell, C., Hummel, I., & Garner, E. (2007). Let the concept of trait be functional. *Oikos*(116), 882-892.
- Wiemann, M., & Williamson, G. (2002). Geographic variation in wood specific gravity: effects of latitude, temperature, and precipitation. *Wood and fiber Science*, 34(1), 96-107.

- Wimmer, R., & Grabner, M. (2000). A comparison of tree-ring features in *Picea abies* as correlated with climate. *IAWA J* 21, 4, 403-416.
- Wright, I., Groom, K., Lamont, B., Poot, B., Prior, L., Reich, P., Westoby, M. (2004). Leaf trait relationship in Australian plant species. *Functional Plant Biology*(31), 551-558.
- Zagal, E., & Sadzawka, A. (2007). Protocolo de métodos de análisis para Suelos y Lodos. . *Universidad de Concepción, Chile.*