

***EFFECTOS DE LA TOPOGRAFÍA Y LOS FACTORES EDÁFICOS CON
RESPECTO A LA DISTRIBUCION DE 9 ESPECIES ARBOREAS EN 3
FRAGMENTOS DE BOSQUE DE LOS MUNICIPIOS DE
CAICEDO, JARDÍN Y VALDIVIA (ANTIOQUIA).***

POR

ANGÉLICA MARÍA RIVERA DUQUE

Trabajo presentado como requisito para optar al título de Bióloga

ASESOR

FELIPE A. CARDONA NARANJO

Ms.C. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia

COASESOR

MIGUEL ÁNGEL PEÑA HERNANDEZ

Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Medellín.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

MEDELLÍN

2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo A mi Madre, a mi abuela y a toda Mi familia por su apoyo Incondicional y compañía durante todo mi proceso académico, por su paciencia y confianza.

AGRADECIMIENTOS

Amparo Duque Salazar, María Emma Salazar Hoyos, Carlos Alberto Zapata Jiménez, Diana Patricia Villegas Duque, y a toda mi familia por el acompañamiento incondicional en todo mi proceso académico.

Al profesor Felipe Alfonso Cardona Naranjo, quien dirigió mi trabajo de grado, por sus orientaciones y por el acompañamiento en el desarrollo de mi carrera.

Miguel Ángel Peña por brindarme información y asesorías en la fase investigativa y por su disponibilidad de tiempo.

Andrés Estrada por sus orientaciones y por su valiosa ayuda con el manejo del programa ARCGIS.

Wilson Rengifo por el apoyo, colaboración, orientación y por la confianza que ha depositado en mí.

A los compañeros del Herbario por su colaboración y respuestas a todas las inquietudes en esta investigación.

A mis profesores por trasmitirme sus conocimientos, sus experiencias y orientaciones en el proceso de formación como Bióloga.

A mis amigos y compañeros por disfrutar a mi lado esta experiencia, con los cuales compartimos, nos divertimos, discutimos y aprendimos juntos en esta carrera.

Adriana Corrales, Álvaro Duque por la factibilidad de la información que permitió la realización de este trabajo y por sus orientaciones.

A los colaboradores de campo y a las comunidades visitadas, por su acogida y experiencias compartidas.

A Expedición Antioquia 2013 diversidad, dinámica y productividad de los bosques de Antioquia financiado por la Gobernación de Antioquia, por el apoyo económico y por permitir el desarrollo de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1.RESUMEN	x
2. INTRODUCCIÓN	11
3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	¡Error! Marcador no definido.
3.1	
Generalidades.....	¡E
rror! Marcador no definido.	
3.2 Componente	
topográfico.....	¡Error! Marcador no
definido.	
3.3 Factores Edáficos.....	17
3.3.1	
pH.....	¡Error!
Marcador no definido.	
3.3.2 Materia orgánica.....	18
3.3.3 Fósforo	19
3.3.4 Potasio	20
3.3.5 Calcio	21
3.3.6 Magnesio.....	21
3.3.7 Aluminio.....	221
3.3.8 Capacidad de intercambio catiónico (CICE).....	21
4. METODOLOGÌA	23
4.1 Descripción del área de estudio	23
4.2 Materiales y métodos	26
4.3 Trazado de la parcela.....	27
4.4 Mapeo y medición	28

4.5	Levantamiento florístico.....	29
4.6	Muestras de suelo	29
4.7	Levantamiento topográfico	30
4.8	Análisis estadísticos	30
5.	RESULTADOS	32
5.1	Descripción de cada una de las especies seleccionadas.....	32
5.1.1	<i>Billia rosea</i> (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.....	32
5.1.2	<i>Elaeagia karstenii</i> Standl.	33
5.1.3	<i>Ilex lauriana</i> Kunt.....	33
5.1.4	<i>Inga sierrae</i> Britton & Killip	34
5.1.5	<i>Ladenbergia macrocarpa</i> (Vahl) Klotzsch.....	35
5.1.6	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	35
5.1.7	<i>Turpinia occidentalis</i> (Sw.) G. Don.	36
5.1.8	<i>Sapium stylare</i> Müll. Arg.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.9	<i>Vismia laevis</i> Triana & Planch.	¡Error! Marcador no definido.
5.2	Suelos	39
5.3	Preferencia de las especies por las variables edáficas y topográficas .	40
5.4	Promedio de las variables ambientales con respecto a cada especie ...	43
6.	DISCUSIÓN	44
6.1	Suelos	44
6.2	Preferencia de las especies por las variables edáficas y topográficas...	45
6.3	Promedio de las variables ambientales con respecto a cada especie ...	46
7.	CONCLUSIONES	48
8.	BIBLIOGRAFIA	50
9.	ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Localización geográfica del área de estudio, distribución de las 3 parcelas, vereda la Noque (Caicedo), La Mesenia (Jardín) y San Fermín (Valdivia), en el departamento de Antioquia (tomado del programa arcgis 9 arcmap versión 9.3, 2008).....	23
Figura 2 Topografía del área de la parcela ubicada en el municipio de Caicedo (Antioquia).....	23
Figura 3 Bosque de niebla en la parcela de Jardín (Antioquia).	24
Figura 4 Vista del bosque en el área de la parcela de Valdivia (Antioquia).	25
Figura 5 Diagrama de flujo	26
Figura 6 Cuadrícula base de una parcela de una hectárea (100m x 100m), en cuadrantes de 20 metros, las cuales son las unidades experimentales.	28
Figura 7 Secuencia para el marcaje de los individuos al interior de cada cuadrante de 20 m x 20 m.....	28
Figura 8 Distribución en cada cuadrante de 20 m x 20 m de las muestras de suelos.....	29
Figura 9 (A) Fotografía de <i>Billa rosea</i> (B) Distribución de <i>Billa rosea</i> en Antioquia.....	32
Figura 10 A) Fotografía de <i>Elaeagia karstenii</i> (B) Distribución de <i>Elaeagia karstenii</i> en Antioquia	33
Figura 11 (A) Fotografía de <i>Ilex laurina</i> (B) Distribución de <i>Ilex laurina</i> en Antioquia.....	34
Figura 12 (A) Imagen de <i>Inga sierrae</i> (B) Distribución de <i>Inga sierrae</i> en Antioquia.....	34
Figura 13 (A) Fotografía de <i>Ladenbergia macrocarpa</i> (B) Distribución de <i>Ladenbergia macrocarpa</i> en Antioquia.....	35

Figura 14 (A) Fotografía de <i>Myrsine coriacea</i> (B) Distribución de <i>Myrsine coriacea</i> en Antioquia.....	36
Figura 15 Fotografía de <i>Turpinia occidentalis</i> (B) Distribución de <i>Turpinia occidentalis</i> en Antioquia.....	37
Figura 16 (A) Fotografía de <i>Sapium stylare</i> (B) Distribución de <i>Sapium stylare</i> en Antioquia.....	38
Figura 17 (A) Fotografía de <i>Vismia laevis</i> .. (B) Distribución de <i>Vismia laevis</i> en Antioquia.....	39
9	
Figura 18 Porcentaje de desviación estándar de las 9 especies arbóreas presentes en las 3 parcelas; Caicedo, Jardín y Valdivia Antioquia.....	41

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Valores promedios para las variables de suelos incluidas en cada parcela; Caicedo, Jardín y Valdivia Antioquia.	40
Tabla 2 Valor de significancia para cada una de las especies con respecto a cada una de las variables ambientales.	42
Tabla 3 Pruebas de verosimilitud para cada una de las especies con respecto a las variables ambientales.	42
Tabla 4 Valores promedio para cada una de las especies con respecto a las variables ambientales.....	43

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Tabla de los datos de ángulos de inclinación para los Municipio de Caicedo, Jardín y Valdivia Antioquia, medidos cada 10 m.....	56
Anexo 2 Tabla de datos de DAP para los Municipio de Caicedo, Jardín y Valdivia Antioquia.....	57
Anexo 3 Formulario de mapeo para los Municipio de Caicedo, Jardín y Valdivia Antioquia	58

1. RESUMEN

Hace algunas décadas el estudio de la distribución de las especies de plantas, los efectos de los factores ambientales sobre ellas y su composición han suscitado interés, lo que ha llevado a que se realicen varios estudios en los bosques tropicales que documentan que la variación en la topografía y los gradientes edáficos sobre la distribución de las plantas establecen alguna preferencia hacia un factor ambiental (Tuomisto 2003; Duque et al. 2002; Poulsen 2006). Para determinar si tales asociaciones se presentan, se realizó un estudio en tres parcelas permanentes de una hectárea en bosques de alta montaña en los municipios de Caicedo, Jardín y Valdivia en el departamento de Antioquia. Se evaluó el efecto de la topografía y los factores edáficos sobre la distribución de las especies *Billia rosea*, *Elaeagia karstenii*, *Ilex laurina*, *Inga sierrae*, *Ladenbergia macrocarpa*, *Myrsine coriácea*, *Turpinia occidentalis*, *Vismia laevis*, y *Sapium stylare*. Se registraron variables edáficas como: pH, materia orgánica, Fósforo, Aluminio, Calcio, Magnesio, Potasio y como variable topográfica la pendiente. Para el análisis de los datos se utilizó un modelo de tipo logístico, el cual es un caso específico de los modelos lineales generalizados con base en los datos de presencia ausencia de las especies. La respuesta de la distribución de las especies a los cambios ambientales fue mayor con respecto al Fósforo (P), el pH y la pendiente. Para el calcio y el Potasio ninguna de las distribuciones de las plantas estudiadas tuvo una respuesta significativa, mientras que *Sapindum stylare* no respondió a ninguna de las variables. En conclusión, las especies arbóreas responden de manera individual a los cambios ambientales y topográficos en los bosques de altas pendientes, ya que estos cambios en el ambiente físico asociados a gradientes como la topografía, el drenaje del agua la distribución de nutrientes y minerales

del suelo, afectan directa o indirectamente los patrones de distribución de las especies. Existe un gran componente aleatorio en la variabilidad no explicada de las distribuciones de las especies analizadas, que deben tenerse en cuenta para análisis futuros con un mayor número de variables.

Palabras claves: Topografía, factores edáficos, distribución de especies, Cordillera Central, regresión logística.

2. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país megadiverso que tiene el privilegio de albergar en su territorio alrededor de 28.000 especies vegetales, poco más del 10 % de todas las plantas que se calculan para el mundo (García y Galeano, 2006). Al igual que Venezuela, Perú, Ecuador y Bolivia hace parte de los Andes tropicales, una de las ecorregiones más importantes a nivel mundial, la cual exhibe un complejo mosaico de ecosistemas vegetales producto de cambios climáticos, geológicos, geomorfológicos y suelos que se han dado a través del tiempo, representados por páramos, bosques altoandinos, andinos y subandinos (Armenteras, 2002).

La gran diversidad de plantas presentes en los Andes es el resultado de la historia geológica y climática, estos sucesos históricos juegan un papel importante para el endemismo de las especies, la evolución-especiación, migración y extinción (Churchill et al., 1995).

Tanto el aislamiento y separación de los continentes como el levantamiento de los andes, hizo que el ambiente se volviera más húmedo y se formaran floras ricas y endémicas, creando nuevas zonas de vida y generando una extraordinaria biodiversidad vegetal (Van der Hammen, 1992). Conocer sobre la vegetación de las montañas andinas en estos últimos años, ha ido tomando interés por ser una zona de centros de diversidad y de especiación en el mundo (Churchill et al., 1995; Armenteras 2002).

En los bosques ubicados en altas pendientes, la topografía es un factor determinante en la variabilidad espacial, la distribución y abundancia de las especies, debido a los cambios en el ambiente físico que están asociados a gradientes ambientales como: el microclima, drenaje del agua, acumulación y transporte de minerales sólidos los cuales afectan directa o indirectamente estos patrones (Mouro et al., 2005). Por otro lado los factores edáficos también pueden ser importantes en determinar la variación en la distribución de las especies, siendo así, las transformaciones a nivel del paisaje se pueden relacionar con los cambios en los factores edáficos, incluyendo las

modificaciones que puede sufrir el suelo por su posición espacial (grado de la pendiente) (Guariguata et al., 2002; Fu et al., 2004).

Hay algunos autores que soportan que a escalas locales el efecto de las propiedades del suelo sobre la distribución de las especies ejerce una influencia mínima, dándole mayor peso a que la variabilidad de las especies se debe a los procesos aleatorios y biológicos como la limitación en dispersión (Duque et al., 2003; Valencia et al., 2004). En contraste, hay estudios en los bosques tropicales que reportan un mayor efecto de la variación edáfica y topográfica sobre la composición florística. (Poulsen et al., 2006; John et al., 2007).

Sin embargo la mayoría de los estudios realizados en este campo, se han enfocado en entender a la comunidad vegetal en general, pero pocas investigaciones se han encargado en estudiar la respuesta de algunas especies individuales a los cambios microambientales. Saber cuáles son las preferencias de las especies nos puede ayudar a predecir patrones importantes y su influencia para con otras especies (Peña et al., 2010).

Las especies no tienen una distribución aleatoria con respecto a gradientes ambientales, hay evidencias documentadas para numerosas comunidades de plantas en las cuales la coexistencia de especies en entornos heterogéneos está dada por la adaptación de cada especie a un hábitat en particular (Comita et al., 2007).

Estudios realizados en el trópico, han mostrado las variaciones que se dan a diferentes escalas espaciales dependiendo de los factores del lugar, especialmente con las propiedades del suelo y de la topografía (Poulsen et al., 2006).

Recientemente estudiar las características biofísicas de los bosques se ha convertido en un objetivo primordial para hacer caracterización de la estructura, función integral y diversidad de las especies, con el fin de identificar zonas degradadas y así poder emplear métodos de conservación (Cabacina y Castro, 2009).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la distribución con respecto a la presencia y ausencia de nueve especies arbóreas de dosel, en tres fragmentos de bosque de los municipios de Caicedo, Jardín y Valdivia (Antioquia) y su posible relación con la variación edáfica y algunas propiedades topográficas.

3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

3.1 Generalidades

Para la comunidad de plantas, las principales causas de diferencias en la composición de especies son; el clima, la topografía, los factores edáficos y factores físicos que determinan las condiciones para su crecimiento (Gurevitch, 2006).

El suelo situado entre la capa de hojarasca y un lecho rocoso no meteorizado debe su formación entre otros factores al clima, especialmente a la precipitación, la temperatura y el viento. Además se incluyen otros factores incidentes en la formación de éste como es el material parental (rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias), los organismos, el relieve y el tiempo (Jaramillo, 2002). La vegetación hace parte importante en la formación de los suelos por el aporte de materia orgánica que hay en la hojarasca. Además los microorganismos aportan y transforman la materia orgánica, tienen parte activa en el ciclo geoquímico de muchos elementos y transforman algunos minerales (Gurevitch, 2006).

A nivel del paisaje, la variación en los factores edáficos corresponde a la composición química y física del suelo, incluyendo las modificaciones que sufre éste por su posición espacial como el grado de pendiente (Guariguata 2002).

Existe una estrecha interdependencia entre los recursos abióticos, como: la luz, el agua y los nutrientes, con la estructura y funcionamiento de los bosques. La disponibilidad de estos elementos determina la presencia o ausencia de ciertas especies vegetales y a su vez, una vegetación boscosa que modifica la cantidad y calidad de los recursos abióticos disponibles (Guariguata 2002). Existe también una particularidad en los bosques andinos de la cordillera central, presentando en un sus zonas altas formación de niebla producto de la condensación por enfriamiento de las corrientes cálidas que ascienden del

valle del río Cauca, por tal motivo se genera condiciones de alta humedad en el ambiente y crea nuevos recursos abióticos para algunas especies vegetales.

La productividad primaria de estos bosques nublados es menor que la de los bosques de tierras bajas en las mismas latitudes. También son menores las tasas de reciclaje de nutrientes y la concentración de N y/o P en el follaje, lo anterior se debe a:

1. Escases de agua sobre todo en suelos someros o rocosos (a pesar de la frecuente presencia de nubes).
2. Suelos saturados de agua (lo que limita la respiración de las raíces)
3. Tasas de fotosíntesis más bajas (debido a una radiación solar menos intensas y a las bajas temperaturas del aire)
4. Toma de nutrientes limitada (a causa de una menor tasa de transpiración, suelos ácidos, y una baja descomposición de nutrientes)
5. Exposición constante a vientos fuertes
6. Alta concentración de compuestos fenólicos en el follaje. (Bruijnzeel; Veneklaas, 1998)

Algunos autores mencionan que la baja productividad de los bosques nublados se debe al clima y a la estructura de las hojas, puesto que hay una inversión elevada de carbono fotosintético en el desarrollo de raíces que son relativamente grandes por las condiciones desfavorables del suelo (Tanner et al, 1998).

3.2 Componente Topográfico

Las geoformas se clasifican según su geometría (inclinación, orientación, relieve), origen (volcánico, fluvial), y proceso de formación (erosivo, deposicional). Desde el punto de vista geomorfológico, las montañas se pueden dividir en tres unidades básicas que son:

- 1) Filas: se caracterizan por no recibir ningún aporte de materia y energía de ambientes adyacentes
- 2) Laderas: reciben y transmiten aporte de materia y energía y son a su vez fuente de sedimentos y zonas de transporte
3. Valles: son áreas donde el flujo de materia y energía se acumula (Guariguata, 2002)

El relieve es un conjunto de geoformas que se presentan en la superficie de la tierra. Los materiales asociados a dichas formas y el efecto que tienen sobre ellas y los procesos que les han dado origen, las han remodelado a través del tiempo (Jaramillo, 2002). Además, las geoformas afectan la estructura y la composición florística del bosque, pues influye en la distribución espacio-temporal de la materia y la energía (Guariguata, 2002).

A lo largo del siglo XX, se identificaron numerosas asociaciones de especies o comunidades boscosas neo tropicales relacionada con diferentes geoformas; algunas de ellas son: las cimas de las montañas, las laderas rocosas, los deslizamientos, las áreas pantanosas, los valles y las áreas fluviales. En general las geoformas más antiguas y estables tienden a tener mayor biomasa vegetal y horizontes de suelos bien diferenciados, mientras que las áreas mas jóvenes y geológicamente inestables presentan una mayor densidad de fustes, una biomasa menor y perfiles edáficos pobremente desarrollados (Guariguata, 2002).

Los gradientes que más afectan el relieve, se relaciona básicamente con la elevación y la prevalencia de los vientos. En general la precipitación aumenta con la elevación y luego decrece. El grado de inclinación de la pendiente y la orientación de las laderas también influyen en la cantidad de energía solar que recibe un punto geográfico y por lo tanto puede modificar la temperatura diurna y la humedad a escala del relieve. Las montañas pueden actuar como agentes de control climático, pues pueden desviar o bloquear la trayectoria de los vientos (Guariguata, 2002).

3.3 Factores Edáficos

3.3.1 pH

Esta dado por la reacción del suelo y es el que establece el grado de acidez o de alcalinidad que él presenta y tiene una gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, por esta razón es uno de los factores más importantes, pues produce mayor solubilidad a otros elementos, además, la disponibilidad de todos los nutrientes para la planta está controlada por el pH del suelo (Jaramillo, 2002).

Los suelos con pH ácidos, son los que presentan valores de pH menores a 6.5; este tipo de suelos es muy importante en Colombia, pues según datos del IGAC, reportados por Jaramillo (1994), más del 85 % del área del país está ocupada por suelos de este grupo de reacción; existen varios factores que favorecen a la formación de suelos ácidos, como:

- Condiciones climáticas en las cuales se presente un exceso permanente de la precipitación sobre la evapotranspiración potencial que genere excedentes de agua que en suelos con una condición adecuada de drenaje, puede causar altas pérdidas de bases por lixiviación, reduciendo su participación en el complejo de intercambio y favoreciendo la acumulación de Al, Fe y otros cationes de carácter ácido.
- Los procesos de alteración de los minerales del suelo, bien sea por meteorización o por pedogénesis, van liberando de sus estructuras cationes que pasan al suelo, entre los cationes que se liberan, los básicos son los más solubles, por lo tanto, los que más fácil se pierden por lixiviación, acumulándose los de carácter ácido. Este mecanismo de acidificación del suelo se expresa fuertemente en suelos como los Oxisoles y Ultisoles.
- Algunos materiales parentales en su composición mineralógica no poseen materia prima para que el suelo que se desarrolle de ellos tenga

un adecuado contenido de bases, como es el caso de las areniscas cuarcíticas y las cuarcitas, entre otros; también es conocido el caso de los suelos de la altillanura colombiana, donde se han producido Oxisoles, favorecidos en parte por la pobreza del material parental sedimentario que les dio origen, producto de la erosión en la cordillera que llegó ya meteorizado y, por tanto, empobrecido a estos paisajes.

- El consumo de bases por parte de las plantas también ayuda a desbalancear el equilibrio entre cationes básicos y ácidos, favoreciendo la acumulación de los ácidos.
- Las prácticas de manejo de suelos, como fertilización continua e intensiva con ciertos fertilizantes de efecto residual ácido, favorecen la acidificación del suelo; el drenaje excesivo de los suelos también puede ayudar eficientemente a su acidificación al incrementarse la lixiviación de bases en él.

Existe la posibilidad de que se presente toxicidad entre el aluminio y el pH dependiendo de las concentraciones. Con pH menores a 4.5 se da toxicidad con formas de aluminio intercambiable del Al^{3+} , a pH entre 4.5 - 5.5 las formas de aluminio intercambiable ($Al(OH)_2^+$ y Al^{3+}) no son significativas para presentar toxicidad y a pH entre 5.5 - 6.5 ya no hay ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad desfavorable del efecto tóxico, a su vez la actividad bacteriana es mejor y presenta las condiciones casi óptimas para la nutrición de la mayoría de las plantas (Jaramillo, 2002).

3.3.2 Materia orgánica

La materia orgánica es la que provee nutrientes a las plantas, éstos retornan a ellas por medio de las raíces por procesos de mineralización, a su vez, el grado de liberación de nutrientes del suelo depende de la tasa de mineralización. La materia orgánica del suelo no es uniforme, sus componentes se transforman o se mineralizan a diferentes velocidades (Azcon, 2000).

La tasa de descomposición de los bosques tropicales montanos varía entre 15% y 70 %, mientras que en los bosques de tierras bajas por tener más altas temperaturas que ayudan a que se acelere los procesos de descomposición es por encima del 80%, por lo tanto no se acumula sobre el piso del bosque (Guariguata 2002).

Dentro de la materia orgánica se encuentran factores como la temperatura y los microorganismos que intervienen activa y directamente en ciclos geoquímicos como el C, el N, el P y el S. Meso y macroorganismos que aportan y transforman la materia orgánica, al mismo tiempo tienen parte activa en el ciclo geoquímico de muchos elementos (Azcon, 2000; Guariguata, 2002; Jaramillo, 2002).

Hay algunos organismos que mejoran las condiciones del suelo como la lombriz, la cual incrementa la disponibilidad de P, K y C; las hormigas mejoran la disponibilidad de Ca y Mg y las termitas aumentan la disponibilidad de Ca, Mg, K, Na, C y P. Algunos organismos como ciempiés, arañas, escorpiones, coleópteros y colémbolos son predadores y mantienen en equilibrio las poblaciones de otros organismos. Los macroinvertebrados crean galerías y huecos dentro del suelo que mejoran su aireación y su permeabilidad. Además, las termitas y las hormigas seleccionan materiales finos para hacer sus nidos en superficie, con lo que van afinando la textura del suelo (Jaramillo, 2002).

Según varios autores citados por Burbano (1989) y Sánchez (1999), las micorrizas aumentan la absorción de nutrientes poco móviles en el suelo por parte de la planta, como P, Zn, S, Ca, Cu, Mo y B; le dan a la planta resistencia a condiciones desfavorables de suelo como: pH extremo, sequía, salinidad, cambios grandes de temperatura y presencia de elementos tóxicos (Fe, Al, Mn); además, protegen la raíz del ataque de patógenos.

3.3.3 Fósforo

El fósforo es disponible para las plantas como ion fosfato y se absorbe preferentemente como $H_2PO_4^-$ en suelos con un pH inferior a 7. En contraste con el nitrógeno, el fósforo no se encuentra en forma reducida en las plantas,

sino que permanece como fosfato ya sea libre o como un compuesto orgánico, principalmente como ester fosfórico con grupos hidroxilos, o formando enlaces anhídridos ricos en energía, como el caso de ATP o del ADP. Desempeña por tanto un papel clave en la fotosíntesis, la respiración y todo el metabolismo energético de la planta (Azcon, 2000).

Las deficiencias de fósforo presentan enanismo y en exceso un gran desarrollo de las raíces en relación con la parte aérea, lo que determina una baja proporción parte aérea-raíz. La absorción del fósforo se ve favorecida por la presencia de micorrizas, que son asociaciones simbióticas entre hongos y plantas (Azcon, 2000).

En el ciclo del fósforo hay algunos microorganismos, principalmente hongos y bacterias, que son capaces de solubilizar compuestos insolubles de P con Fe (estrenjita), con Al (variscita) o con Ca (fosfato tricálcico o fosfato ortocálcico), según Cabrera (2000).

3.3.4 Potasio

Al igual que el fósforo y el nitrógeno son elementos que tienen un comportamiento muy similar, se pueden redistribuir con mucha facilidad a los órganos maduros de las plantas y a los juveniles por su solubilidad. Por otra parte, el K es activador de más de 50 sistemas enzimáticos, entre los que se destacan oxidoreductasa, deshidrogenasas, transferasas, sintetetasas y quinasas. La deficiencia de K se traduce en una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos en la raíz, y una debilidad en los tallos que hacen a las plantas especialmente sensible a la acción del viento, las lluvias y otros, principalmente en el caso de las monocotiledóneas, en dicotiledóneas se retrasa el crecimiento y se produce pérdida de turgencia y marchitamiento, es mucho más visible en estrés hídrico (Azcon, 2000).

3.3.5 Calcio

Es abundante en la mayoría de los suelos y rara vez se comporta como un factor limitante, salvo en suelos ácidos con lluvias abundantes donde resulta necesario el aporte de sales cálcicas, principalmente carbonatos que elevan el pH. La deficiencia de Calcio se caracteriza por un pobre desarrollo radicular, los síntomas de deficiencia son siempre más evidentes en tejidos jóvenes y zonas meristemáticas de raíces, tallos y hojas. (Azcon, 2000).

3.3.6 Magnesio

No es casi un factor limitante para las plantas, salvo en suelos muy ácidos o arenosos; se comporta como un elemento muy móvil tanto en las plantas como en las células (Azcon, 2000).

3.3.7 Aluminio

Se encuentra a muy bajas concentraciones en forma soluble aunque es un elemento abundante en la corteza terrestre, a pH inferiores de 5 se solubiliza y puede afectar de forma negativa a un gran número de plantas, sin embargo, en pequeñas cantidades puede ser altamente beneficioso porque reduce la toxicidad producida por el exceso de Ca, Mg y P (Azcon, 2000).

3.3.8 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se define como la capacidad de absorber, almacenar y liberar cationes los cuales son equivalentes a la carga negativa del suelo. Los cationes retenidos quedan protegidos contra procesos como la lixiviación, evitando así la pérdida de nutrientes para las plantas; además, como la retención es superficial los cationes absorbidos pueden ser intercambiados por otros, convirtiéndose en

cationes intercambiables necesarios para la nutrición de la planta (Jaramillo, 2002).

El valor del CIC de un suelo también es afectado fuertemente por el pH, cuando aumenta el valor del pH también lo hace el contenido de aluminio, hierro, sesquióxidos y arcilla por lo tanto a mayor incremento éstos elementos, mayor es la capacidad del CIC por unidad de cambio en el pH.

4. METODOLOGÍA

4.1 Descripción del área de estudio

El muestreo se realizó en el departamento de Antioquia en tres bosques andinos de tierras altas ubicados en: la vereda La Noque del Municipio de Caicedo, en la vereda la Mesenia del Municipio de Jardín y en la vereda San Fermín del Municipio de Valdivia, Antioquia (figura 1).

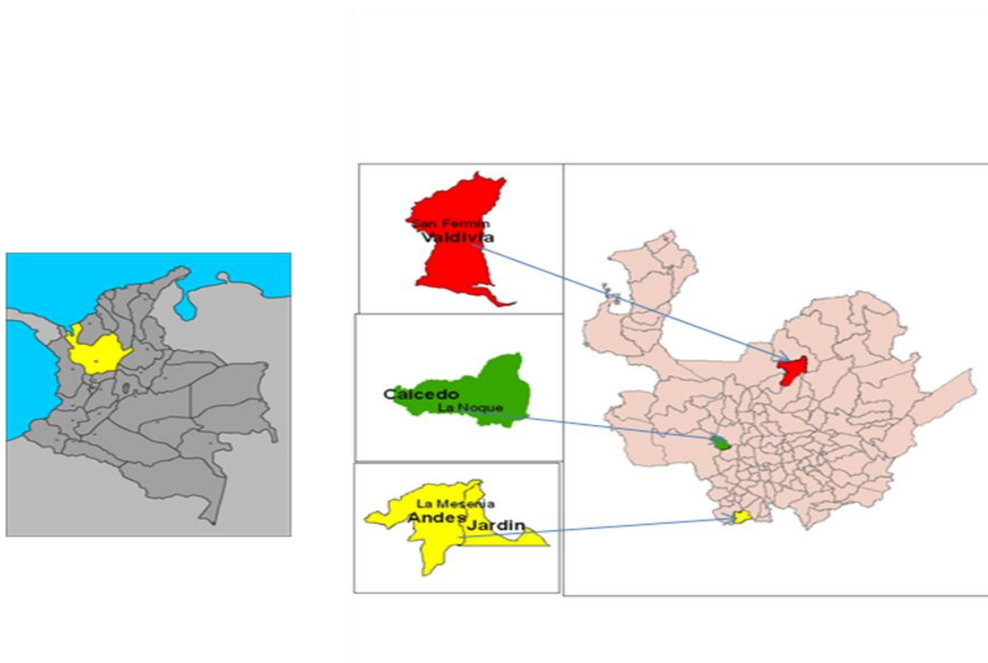


Figura 1 Localización geográfica del área de estudio, distribución de las 3 parcelas, vereda la Noque (Caicedo), La Mesenia (Jardín) y San Fermín (Valdivia), en el departamento de Antioquia (tomado del programa arcgis 9 arcmap versión 9.3, 2008).

La vereda La Noque está ubicada el Municipio de Caicedo, en los repliegues orientales de la cordillera occidental entre 2000-2800 msnm, a 6°23'30" de latitud Norte y 76°01'31" de longitud Oeste; en los predios de Corantioquia (Figura 2). Presenta una temperatura media de 19-22 ° C, la precipitación anual se encuentra entre 1500-2000 mm, se ubica dentro de una zona de vida de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978).

Caicedo presenta un clima frío húmedo a muy húmedo, se dan suelos superficiales y moderadamente profundos. Este municipio está limitado en los valles por gravilla, piedra y por fluctuaciones del nivel freático; sus suelos son pobres, bien drenados con texturas medias a finas, baja fertilidad y una reacción moderadamente ácida. En las partes altas sus suelos son más profundos, bien drenados y con texturas medias (IGAC, 2007).



Figura 2 Topografía del área de la parcela ubicada en el municipio de Caicedo (Antioquia).

La segunda parcela se encuentra localizada en una zona límite entre los municipios de Andes y de Jardín, en la Región Suroeste del Departamento de Antioquia entre un ramal de la Cordillera Occidental y el Río San Juan, con coordenadas geográficas de 5°30'04" latitud Norte y 75°53'44" longitud Oeste, en predios de la fundación Colibrí en la reserva natural "Alto Rio San Juan" (Figura 3). La vereda la Mesenia está aproximadamente a 2500 msnm, presenta una precipitación anual de 2000-2500 mm, la temperatura oscila entre 19-22 °C, es un bosque nublado y poco intervenido, se ubica en una zona de vida de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB, Holdridge 1978).

Jardín presenta suelos de rocas sedimentarias de la formación Colombia y Mesa. Acuíferos locales de extensión variable en sedimentos terciarios. El clima es frío húmedo, con suelos profundos y superficiales, limitado por piedra y gravilla, bien drenados, texturas al tacto moderadamente fina y medias con fragmentos de roca, reacción muy fuerte y fuertemente ácida, fertilidad baja a muy baja (IGAC, 2007).



Figura 3 Bosque de niebla en la parcela de Jardín (Antioquia).

El municipio de Valdivia se encuentra localizado en la subregión norte del departamento de Antioquia, en las vertientes occidentales del río Cauca. El sitio de estudio fue en la vereda San Fermín, finca Santa Lucía, entre 7°05'05" latitud Norte y 75°29'03" longitud Oeste, en el alto de ventanas (figura 4). Altura aproximadamente de 2050 msnm, La temperatura oscila entre los 19-22 °C, la precipitación anual es de 3000-3500 mm, presenta un clima templado húmedo. Se ubica en una zona de vida como bosque pluvial montano bajo (bp-MB, Holdridge 1978).

Valdivia presenta una estructura geológica que incluye rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias; en ésta parcela los suelos son bien drenados,

con texturas finas y medias, baja erosión, altas saturaciones de aluminio y baja fertilidad (IGAC, 2007).



Figura 4 Vista del bosque en el área de la parcela de Valdivia (Antioquia).

4.2 Materiales y métodos

En la figura 5 se presenta un diagrama de flujo del presente trabajo.

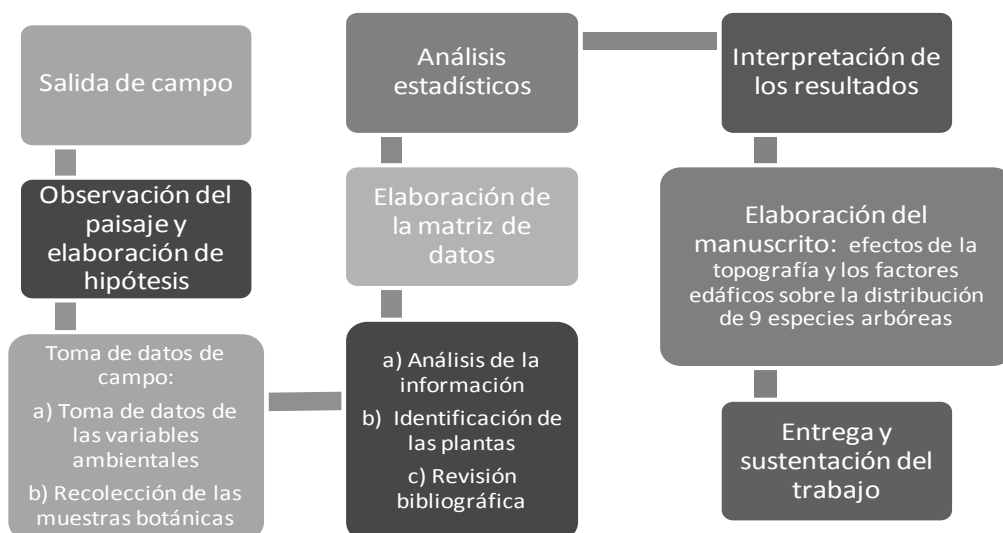


Figura 5 Diagrama de flujo

Para la elaboración del proyecto se realizaron 6 salidas de campo, la primera salida se hizo de 2 días en cada sitio con la finalidad de seleccionar de manera minuciosa el área de estudio; en esta visita inicial a Caicedo, Jardín y Valdivia, se escogieron los sitios de estudio siguiendo criterios como: factibilidad de acceso al lugar, que fuera en el interior del bosque, evitando caminos cercanos, ríos y otros factores que generaran disturbios en la información. Por lo anterior el área de selección quedó rodeada de una franja amortiguadora de vegetación (con la misma cobertura vegetal) como mínimo de 100m, evitando los efectos de borde (Vallejo et al., 2005). La segunda salida se hizo de dos meses en cada lugar para el establecimiento de las parcelas y la toma de los datos. El criterio que se siguió para escoger las especies se hizo de manera detallada teniendo en cuenta que fueran árboles con un DAP \geq 10cm, especies comunes en las tres parcelas, que fueran abundantes y que estuvieran completamente establecidas dentro de los bosques.

4.3 Trazado de la parcela

Las tres hectáreas de bosque seleccionadas están enmarcadas dentro del proyecto de Expedición Antioquia 2013 “Diversidad, dinámica y productividad de los bosques de Antioquia” que tiene como propósito dar inicio a un programa de caracterización y monitoreo a largo plazo de los bosques de Antioquia. Dentro de las 16 parcelas en el proyecto se seleccionaron tres que compartieran características topográficas y condiciones edáficas similares. Cada parcela es un cuadrado de 100 m x 100 m, que se divide en 25 cuadrantes de 20 m x 20 m delimitados en su interior en 4 cuadrantes de 10m x 10m (figura 6), siguiendo la metodología planteada por Condit (1998). El montaje de las parcelas se realizó de acuerdo con los métodos utilizados en topografía, haciendo corrección de distancias por pendiente con el uso de una tabla de pendientes.

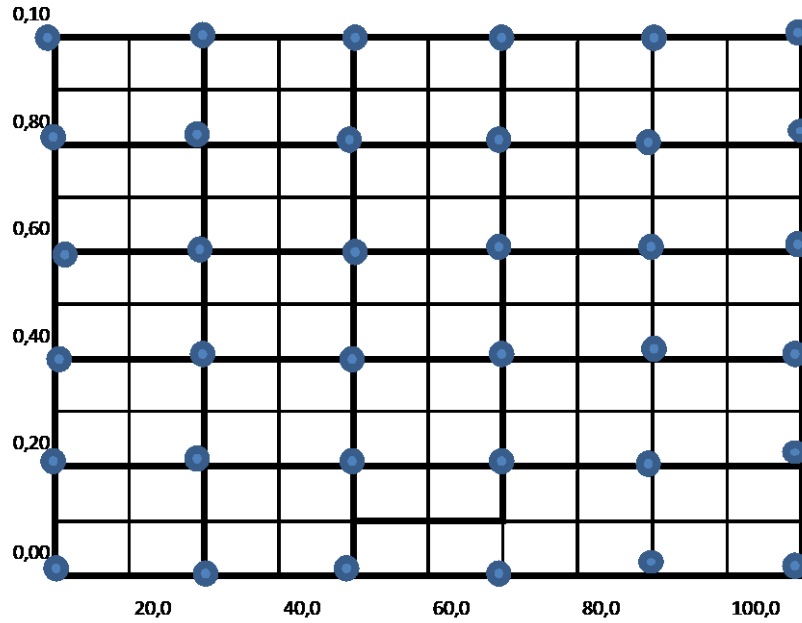


Figura 6 Cuadrícula base de una parcela de una hectárea (100m x 100m), en cuadrantes de 20 metros, las cuales son las unidades experimentales.

4.4 Mapeo y medición

Dentro de cada una de las parcelas de 1 hectárea se mapearon todos los individuos arbóreos de las 9 especies seleccionadas con DAP ≥ 10 cm, las áreas de referencia fueron los subcuadrantes (figura 7), en los cuales se indicó la posición, la altura y el DAP de cada uno de los individuos (Anexo 2 y 3).

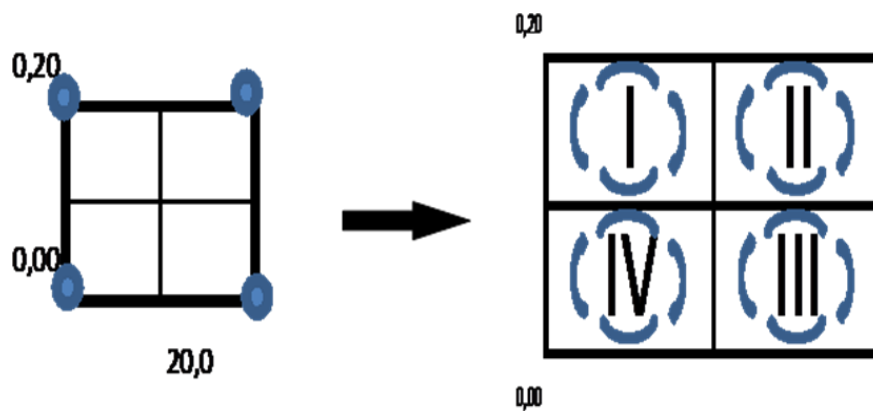


Figura 7 Secuencia para el marcaje de los individuos al interior de cada cuadrante de 20 m x 20 m.

4.5 Levantamiento florístico

A cada una de las especies seleccionadas se le tomo su respectiva muestra botánica; 3 para los árboles infértiles y 5 para las muestras fértiles, con el objetivo de identificar y confirmar las especies arbóreas encontradas en cada lugar. Cada espécimen fue identificado hasta especie, basados en caracteres morfológicos. Dicha identificación fue realizada mediante diferentes claves taxonómicas, por comparación con especímenes de referencia del Herbario Universidad de Antioquia (HUA), bibliotecas digitales de distintos herbarios como en los Jardines Botánicos de *Field Museum (F)*, *Missouri Botanical Garden (MO)*, *New York Botanical Garden (NY)* y *Smithsonian Tropical Research Institute's Herbarium (STRI Herbarium)*.

4.6 Muestras de suelo

Para las muestras de suelos se tomaron 500 g en total de cada cuadrante de 20m x 20m en cinco puntos seleccionados (en el centro de cada cuadrante de 10m x 10m y en el centro de cada uno de los de 20m x 20m) en total 5 extracciones por cuadrante (figura 8), luego se hizo una mezcla de ellas y se obtuvo una sola muestra con el peso anteriormente mencionado. El análisis de éstas se hizo en el Laboratorio de Ecología “César Pérez Figueroa” adscrito en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. A cada muestra de suelos se le analizó el contenido de pH, porcentaje de materia orgánica (M_O), iones intercambiables como; Al, Mg, P, K, y Ca, y el intercambio catiónico CICE.

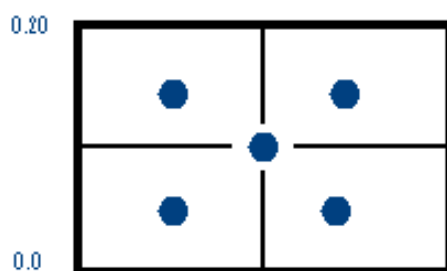


Figura 8 Distribución en cada cuadrante de 20 m x 20 m de las muestras de suelos

4.7 Levantamiento topográfico

En las parcela se tomaron las pendientes en grados cada 10m para hacer un mapa topográfico de ella (Anexo 1), en este caso se tiene en cuenta los ángulos positivos y negativos dependiendo de la dirección de la pendiente, tomando como punto de partida el 0,0 luego el 0,10 0,20 0,40 y así sucesivamente. La topografía fue basada en la inclinación y se determino como la media de las 4 esquinas en cada uno de los cuadrantes, para este caso se tomaron en cuenta 9 datos ya que las medidas de los ángulos de inclinación se tomaron cada 10 m, metodología seguida por Harms, (2001).

4.8 Análisis estadísticos

La unidad muestral son los cuadrantes de 20m X 20m con 25 replicas en cada sitio (Caicedo, Jardín y Valdivia), para un total de 75 cuadrantes. Como variables independientes se tiene los factores edáficos y topográficos, y como variable dependiente se tienen las especies arbóreas las cuales están determinadas por la probabilidad de presencia (1) o ausencia (0) de los individuos en cada cuadrante.

Dentro de los modelos de tipo logístico están los modelos lineales generalizados, los cuales son considerados modelos paramétricos debido a que una función de probabilidad binomial es especificada para la variable dependiente (enlace *logit*) y para los términos del error del modelo.

Las variables no significativas fueron retiradas del modelo mediante el proceso de eliminación por pasos hacia atrás (*backward elimination*), asumiendo un $\alpha \leq 0,05$ para ser introducida en el modelo.

Para obtener el porcentaje de desviación explicado definido como el estimador de verosimilitud (similar al R^2 habitual), se comparo el ajuste del modelo completo con el de un modelo reducido. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.I.

Para los análisis de topografía fue necesario saber la altura absoluta de cada punto. Éste se halló con la ecuación $\Delta e = d \tan \alpha$ donde α es la inclinación o pendiente, d es la distancia horizontal (en este caso son 10 m) y Δe es la diferencia en altura que se presenta entre cada par de puntos (Condit 1998).

5 RESULTADOS

5.1 Descripción de cada una de las especies seleccionadas

5.1.1 *Billia rosea* (Planch. & Linden) C. Ulloa & P. Jørg.

Familia: Sapindaceae.

Árbol nativo de rápido crecimiento de uso ornamental y maderable, propio de bosques húmedos de montaña; se distribuye en: Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá y Venezuela. En Antioquia está en la cordillera central y occidental (figura 9), principalmente entre los rangos de elevación de los 1000 – 3000 msnm.

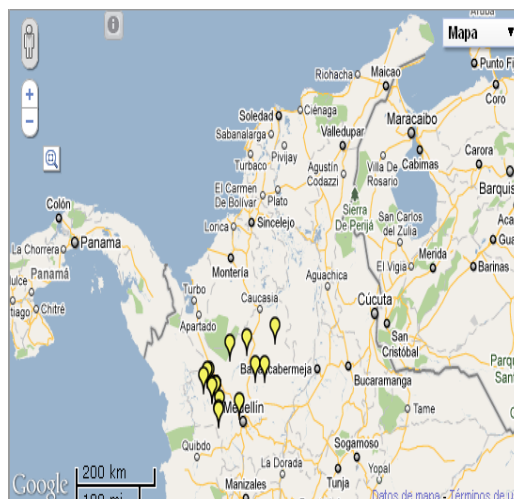
Galindo, (2003) realizó un estudio en Guanentá-alto río Fonce (Santander) en el que se hizo una caracterización de la composición y estructura florística y se determinó que *Billia rosea* junto con *Ladenbergia macrocarpa* se encuentran entre las especies de mayor valor de importancia.

(A)



Figura 9 (A) Fotografía de *Billia rosea*

(B)



(B) Distribución de *Billia rosea* en Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular the Department of Antioquia* (Colombia).

5.1.2 *Elaeagia karstenii* Standl.

Familia: Rubiaceae

Árbol nativo de uso artesanal de amplia distribución en Honduras, Guatemala, Colombia, Venezuela, Ecuador y Panamá. Se distribuye en Antioquia por la cordillera occidental y central (figura 10), sus rangos de elevación están entre los 500-2000 msnm.

Estudios etnobotánicos realizados por Santin, (2004) en los Andes Ecuatorianos documentan que los indígenas Shaime utilizan ésta planta para pintar y realizar artesanías.

(A)



(B)

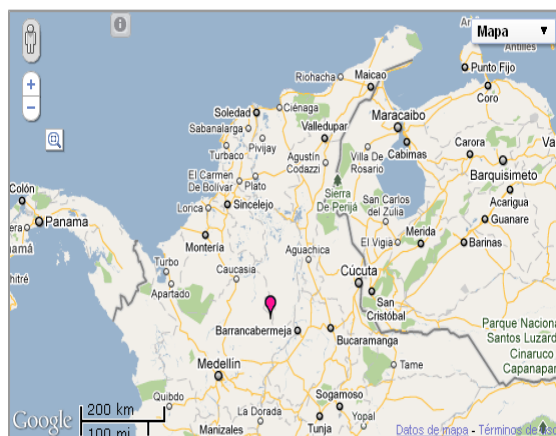


Figura 10 A) Fotografía de *Elaeagia karstenii* (B) Distribución de *Elaeagia karstenii* en Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular of the Department of Antioquia* (Colombia).

5.1.3 *Ilex laurina* Kunt.

Familia: Aquifoliaceae

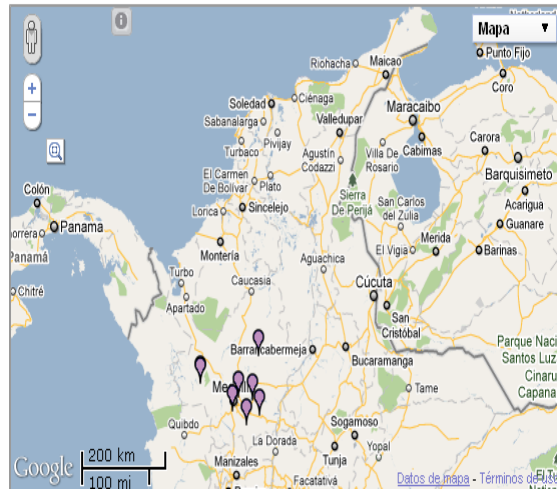
Árbol nativo propio de bosques de altas montañas en Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia. En Antioquia se distribuye en la cordillera central y oriental (figura 11), principalmente entre los rangos de elevación de los 1500-2500 msnm.

(A)



Figura 11 (A) Fotografía de *Ilex laurina*

(B)



(B) Distribución de *Ilex laurina* en Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular of the Department of Antioquia* (Colombia).

5.1.4 *Inga sierrae* Britton & Killip.

Familia: Fabaceae

Árbol nativo de amplia distribución en Nicaragua, Colombia, Panamá y costa rica. En Antioquia se distribuye en la cordillera occidental y central (figura 12), principalmente entre los rangos de elevación de los 500-2500 msnm.

(A)

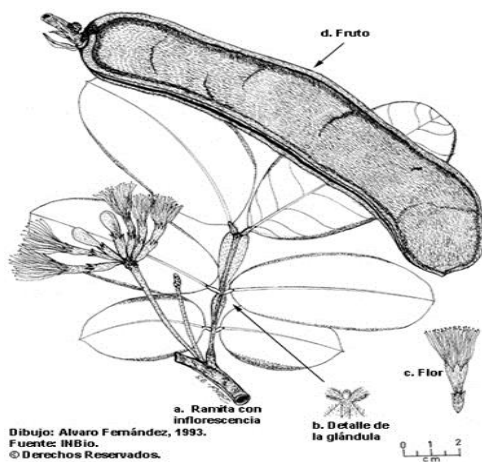
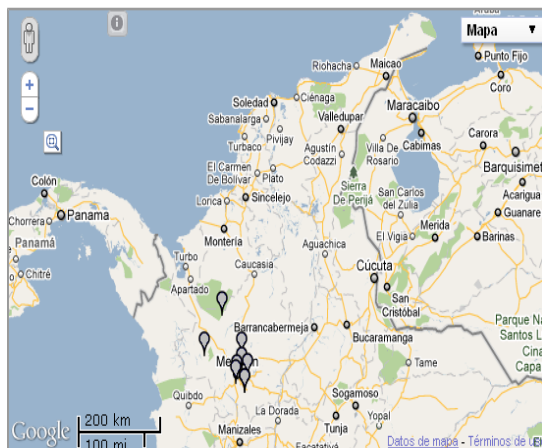


Figura 12 (A) Imagen de *Inga sierrae* (Fabaceae)

(B)



(B) Distribución de *Inga sierrae* en Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular of the Department of Antioquia* (Colombia).

5.1.5 *Ladenbergia macrocarpa* (Vahl) Klotzsch.

Familia: Rubiaceae

Árboles y arbustos nativos reportados en Venezuela y Colombia, de amplia distribución en la cordillera central y occidental del departamento de Antioquia (figura 13) sus rangos de elevación están entre los 1000-3500 msnm.

Estudios fitoquímicos han documentado la citotoxicidad de componentes bioactivos de ésta planta, en los cuales se ha encontrado altos niveles de esteroides y saponinas, 2 de los principales metabolitos secundarios (Correa, 2011).

(A)



(B)

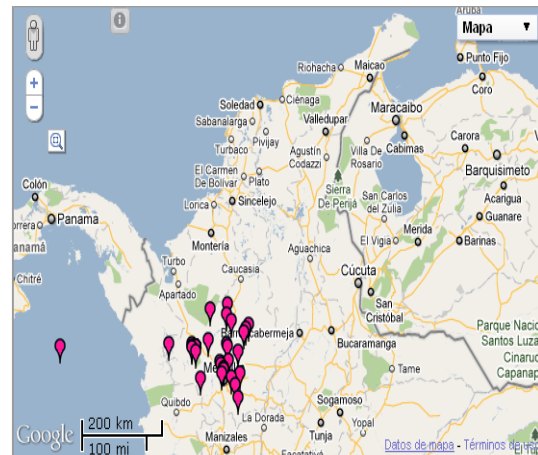


Figura 13 (A) Fotografía de *Ladenbergia macrocarpa* (Rubiaceae) (B) Distribución de *Ladenbergia macrocarpa* en Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular of the Department of Antioquia* (Colombia).

5.1.6 *Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.

Familia: Primulaceae

Árbol nativo de uso medicinal, se encuentra ampliamente distribuida en el sur y centro América, En Antioquia se encuentra en la cordillera occidental y central (figura 14) su rango de distribución está entre los 1000-3500 msnm.

Estudios realizados en República Dominicana documentan que *Myrsine coriacea* es una especie abundante en estadios primarios de sucesión y es importante para la regeneración natural de los bosques montanos (Slocum et al, 2004).

(A)



(B)

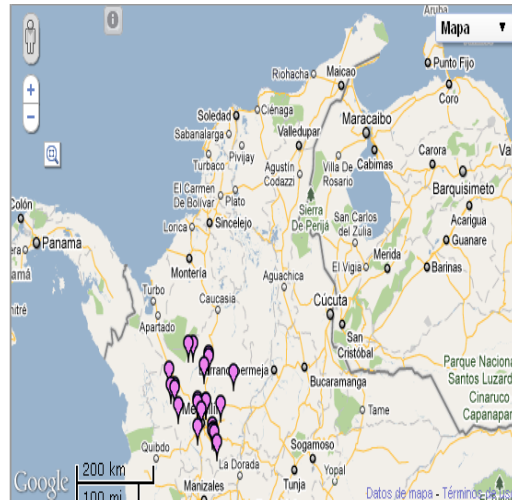


Figura 14 (A) Fotografía de *Myrsine coriacea* **(B)** Distribución de *Myrsine coriacea* en Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular plants of the Department of Antioquia Colombia*).

5.1.7 *Turpinia occidentalis* (Sw.) G. Don.

Familia: Staphyleaceae

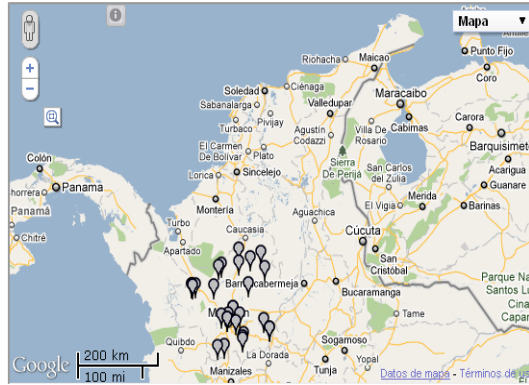
Árbol nativo de América tropical, se encuentra desde México hasta Bolivia, en Antioquia se distribuye en la cordillera central y occidental (figura 15) su rango de distribución está entre los 0-3000 msnm. Es considerada una especie de alta distribución, su madera es utilizada como leña y carbón y también es una planta consumida por la avifauna (Cardona, 2010).

(A)



Figura 15 Fotografía de *Turpinia occidentalis* (Staphyleaceae).

(B)



(B) Distribución de *Turpinia occidentalis* en Antioquia reportada en el *Catalogue of the vascular Plants of the Department of Antioquia* (Colombia).

5.1.8 *Sapium stylare* Müll. Arg.

Familia: Euphorbiaceae

Árbol nativo distribuido en Colombia, Ecuador y Venezuela. En Antioquia se encuentra en la cordillera occidental y central, entre los rangos de elevación de los 500-3500 msnm (figura 16). Para ésta especie en particular ninguna de las variables ambientales fue significativa.

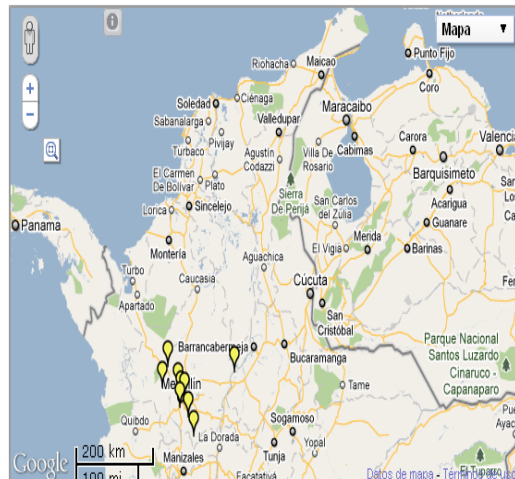
Estudios realizados por Kammesheidt en (1998) sobre la distribución de las especies comerciales en bosques explotados y no explotados de Venezuela determinaron que *S. stylare* fue la única especie que tuvo distribución agrupada en un solo sitio exclusivamente por el tipo de suelo mal drenado.

(A)



Figura 16 (A) Fotografía de *Sapium stylare* (Euphorbiaceae)

(B)



(B) Distribución de *Sapium stylare* Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular of the Department of Antioquia* (Colombia).

5.1.9 *Vismia laevis* Triana & Planch.

Familia: Hypericaceae

Especie nativa de distribución en Colombia y Venezuela. En Antioquia está en la cordillera occidental y oriental (figura 17), entre los rangos de elevación de los 0-3000 msnm.

Un estudio realizado por Romero, (2005) en Encino-Santander documentó a ésta especie como pionera leñosa con fines de restauración ecológica por su alta tolerancia al sol, buena adaptabilidad y crecimiento temprano.

(A)

(B)

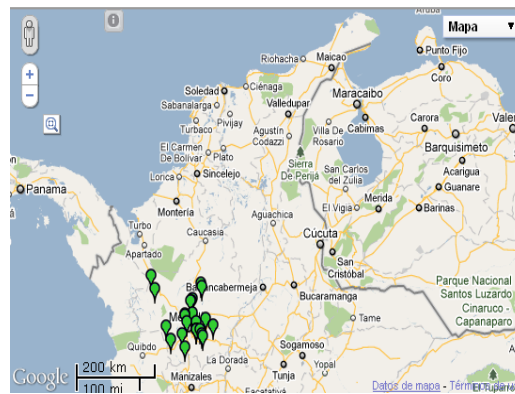


Figura 17(A) Fotografía de *Vismia laevis* (Hypericaceae).

(B) Distribución de *Vismia laevis* Antioquia reportada en el *Catalogue of the Plants Vascular of the Department of Antioquia* (Colombia).

5.2 Suelos

Se realizó un tipo de análisis básico de caracterización de suelos que reporta porcentaje de Materia orgánica (M.O.), pH, P (ppm), Ca, Mg, K y Al (meq/100 g de suelos) y la capacidad de intercambio catiónico CICE.

Para los análisis de las propiedades físico-químicas de suelos de los 75 cuadrantes, se determinó los valores promedios de cada variable. El pH en el área estudiada es de carácter ácido que van desde fuertemente a extremadamente ácido con rangos de (4.10 - 4.49), el contenido de materia orgánica para Caicedo fue de 4,16, para Valdivia 2.76 y para el municipio de jardín 12,20. Su capacidad de intercambio catiónico efectiva está conformada principalmente por Aluminio (Al), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Los niveles de Fósforo (P) son bajos con valores de 2.46 para Caicedo, 4,80 para Jardín y 1,91 para Valdivia, el contenido de calcio (Ca) está bajo para la parcela de Caicedo con un valor de 0.25 y medio para las otras dos parcelas con un rango de 0.31-0.35, los niveles de magnesio Mg son bajos para las 3 parcelas con rangos entre 0.11-0.29 y los niveles de Potasio (K) están en los niveles medios para Caicedo (0.247), bajo para las parcelas de Jardín (0.19) y Valdivia (0.13), el porcentaje de arcilla para Caicedo es de 70.25 % de Limo es de 24.37% y de arenas de 5.37 %, para el municipio de Jardín los porcentajes de arcilla son de 81.60 % de limo de 18.40 %, para Valdivia los porcentajes de arcilla fueron de 38.75% cantidades bajas a diferencia de las otras dos parcelas, de limo de 43.08 % y de arena de 18.19 % (Tabla 1).

Tabla 1 Valores promedios para las variables de suelos incluidas en cada parcela; Caicedo, Jardín y Valdivia Antioquia.

Parcela	pH	M.O	P	Al	Ca	Mg	K	CICE	TEXTURA		
		(%)	(ppm)	meq / 100 g de suelo					A	L	Ar
											%
Caicedo	4.49	4.16	2.46	0.67	0.25	0.29	0.24	1.45	70.25	24.37	5.37
Jardín	4.78	12.20	4.80	0.53	0.31	0.13	0.19	1.16	81.60	18.40	0.00
Valdivia	4.10	2.76	1.91	0.71	0.34	0.11	0.13	1.30	38.75	43.08	18.16

5.3 Preferencia de las especies por las variables edáficas y topográficas

De acuerdo al modelo lineal generalizado las variables edáficas y topográficas que mayor significancia estadística tuvieron al efectuar la selección con un nivel de confianza del 95% fueron: el Fósforo (P); para las especies de *Elaeagia karstenii* con un valor P de 0.012, *Ilex lauriana* P de 0.009, *Inga sierrae* P=0.006 y *Vismia laevis* P=0.0007. El pH, fue representativo para las especies de; *Inga sierrae* con un valor P de 0.001, *Myrsine coriacea* P de 0.002 y *Vismia lavis* P de 0.0464 este último con menos peso estadístico. Las pendientes fueron representativas para; *Elaeagia karstenii* con un valor P de 0.0176 y para *Turpinia occidentalis* con 0.0095 de valor de significancia, el Magnesio (Mg) fue representativo para *Billia rosea* con un valor P de 0.03, para la materia orgánica la significancia fue de 1E-04 para la especie de *Ladenbergia macrocarpa*. El Aluminio (Al) fue representativo para *Myrsine coriacea* con un valor P de 0.0232. La especie *Sapium stylare* fue la única especie que no mostro ningún tipo de interacción. Para las plantas estudiadas el calcio (Ca) y el potasio (K) no obtuvo ninguna respuesta para ninguna de las especies, (tabla 2 y 3).

Para *Billia rosea* el porcentaje de desviación es de 5.11294%, para *Elaeagia karstenii* el porcentaje de desviación explicada por el modelo es de 18.8879%, para *Ilex laurina* es de 9.58893%. Para *Inga sierrae* es de 36.532%, para *Ladenbergia macrocarpa* la desviación es de 19.2022%, *Myrsine coriacea* la

explicaron del modelo es de 15.6691%, para *Turpinia occidentalis* es de 12.2719% y para *Vismia laevis* es de 51.6336% (figura 5), lo que indica que a menor desviación hay un mayor ajuste del modelo con las variables, mientras más alto sea este coeficiente de variación hay una mayor diferencia de los valores con respecto a las variables. Las especies que mostraron más relación con las variables ambientales fueron: *Billia rosea*, *Ilex laurina*, *Turpinia occidentalis* y *Myrsine coriacea* (figura 10).

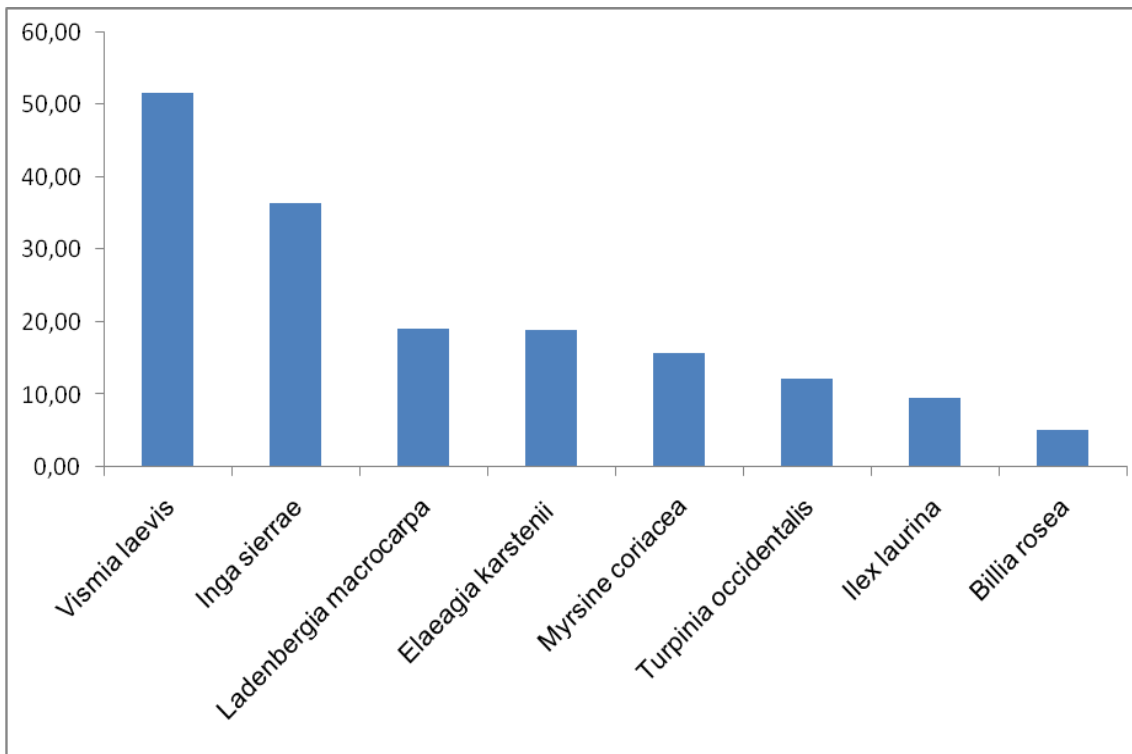


Figura 18 Porcentaje de desviación estándar de las 9 especies arbóreas presentes en las 3 parcelas; Caicedo, Jardín y Valdivia Antioquia.

Tabla 2 Valor de significancia para cada una de las especies con respecto a cada una de las variables ambientales.

especie	Al	M_O	Mg	P	Pendientes	pH	K	Ca
<i>Billia rosea</i>	-	-	0.03	-	-	-	-	-
<i>Elaeagia karstenii</i>	-	-	-	0.012	0.0176	-	-	-
<i>Ilex laurina</i>	-	-	-	0.009	-	-	-	-
<i>Inga sierrae</i>	-	-	-	0.006	-	0.001	-	-
<i>Ladenbergia macrocarpa</i>	-	1E-04	-	-	-	-	-	-
<i>Myrsine coriacea</i>	0.0232	-	0.017	-	-	0.002	-	-
<i>Sapium stylare</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Turpinia occidentalis</i>	-	-	-	-	0.0095	-	-	-
<i>Vismia laevis</i>	-	-	-	0.0007	-	0.0464	-	-

Tabla 3 Pruebas de verosimilitud para cada una de las especies con respecto a las variables ambientales.

Factor/especies	Chi cuadrado	GI	Valor-P
<i>Billia rosea</i>			
Mg	468.973	1	0.0303
<i>Elaeagia karstenii</i>			
P	625.564	1	0.0124
Pendientes	563.599	1	0.0176
<i>Ilex laurina</i>			
P	688.358	1	0.0087
<i>Inga sierrae</i>			
P	764.198	1	0.0057
PH	103.131	1	0.0013
<i>Ladenbergia macrocarpa</i>			
M_O	157.667	1	0.0001
<i>Myrsine coriacea</i>			
Al	515.036	1	0.0232
Mg	569.983	1	0.017
pH	958.119	1	0.002
<i>Turpinia occidentalis</i>			
Pendientes	672.272	1	0.0095
<i>Vismia laevis</i>			
P	116.029	1	0.0007
pH	396.795	1	0.0464

5.4 Promedio de las variables ambientales con respecto a cada especie

En la tabla 4 se pueden observar el promedio de cada una de las variables con respecto a cada especie. Para el caso del magnesio tanto para *Billia rosea* y *Myrsine coriácea* la concentración promedio es de 0.18, las concentraciones de fósforo (P) para *Elaeagia karstenii* (3.21), *Ilex laurina* (3.05), *Inga sierrae* (3.59) y para *Vismia laevis* (3.32), el pH también es una propiedad importante para las plantas por que la mayoría de los nutrientes están controlados por esta variable, para *Inga sierrae* el promedio es de 4.60, *Myrsine coriácea* (4.46), *Vismia laevis* (4.47). Para el caso de la materia orgánica fue representativa solo para *Myrsine coriácea* con un promedio de 6.5% y el promedio para la concentración de aluminio es de (0.64). Para la pendiente *Elaeagia karstenii* obtuvo un promedio está en 15 ° y para *Turpinia occidentalis* los rangos están 2-22 °. Las especies que se presentaron en un mayor número de cuadrantes fueron *Billia rosea*, *Ladenbergia macrocarpa*, *Myrsine coriacea* y *Vismia laevis* entre un 21-34%.

Tabla 4 Valores promedio para cada una de las especies con respecto a las variables ambientales.

Espece	Al	M_O	Mg	P	Pendientes	pH	# de cuadrantes presente
<i>Billia rosea</i>	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	26
<i>Elaeagia karstenii</i>	0.00	0.00	0.00	3.21	4.00	0.00	12
<i>Ilex laurina</i>	0.00	0.00	0.00	3.05	0.00	0.00	14
<i>Inga sierrae</i>	0.00	0.00	0.00	3.59	0.00	4.60	6
<i>Ladenbergia macrocarpa</i>	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	18
<i>Myrsine coriacea</i>	0.64	0.00	0.18	0.00	0.00	4.46	17
<i>Sapium stylare</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Turpinia occidentalis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	4.7	0.00	10
<i>Vismia laevis</i>	0.00	0.00	0.00	3.32	0.00	4.47	16

6 DISCUSIÓN

6.1 Suelos

Las tres parcelas presentan suelos moderadamente bien drenados, reacciones de pH fuertemente ácidas y baja fertilidad, la parcela de Valdivia puede presentar saturación de Aluminio según los rangos obtenidos en los niveles de pH. Su topografía es bastante similar en todos los sitios, Jardín presenta suelos de rocas sedimentarias de la formación Mesa y Colombia, a diferencia de Valdivia que presenta rocas ígneas y sedimentarias (IGAC, 2007).

Estudios realizados en el Amazonas soportan que el Calcio y el Aluminio son elementos muy importantes para la distribución de las especies a escalas regionales y locales (Duque et al. 2001; Tuomisto et al. 2003; Jones et al. 2008), pero en este estudio, el Calcio no fue un elemento significativo para ninguna especie, una posible explicación a este comportamiento está dada por la diferencia en la productividad de los bosques de altas montañas con respecto a los de tierras bajas, teniendo en cuenta que las especies tienen comportamientos y actúan de manera diferente tanto a los componentes edáficos como a los topográficos.

El pH en las tres parcelas presentó un rango desde extremadamente ácido a muy fuertemente ácido. Según estudios realizados por el IGAC (2007) el 85% de los suelos en Colombia son de reacción ácida, probablemente esto se deba al exceso permanente de precipitación en estos sitios que lavan los iones básicos de los suelos, acumulando los de carácter ácidos.

Cuando el pH del suelo es menor a 4.5 se puede presentar toxicidad al combinarse con algunos iones, como lo observado en la parcela de Valdivia donde el pH estuvo por debajo de este valor. Según Azcon (2000), las condiciones casi óptimas para la nutrición de las plantas está a pH entre 5.5-6.5, sin embargo, se determinó que las especies de este estudio se encontraban a pH menores de 5.5, pero es posible que éstas tengan rangos de pH más amplios, lo que puede permitirles una mayor distribución.

El porcentaje de materia orgánica para Caicedo y Valdivia fue bajo, lo que indica que las tasas de descomposición pueden ser altas en contraste con la

parcela de Jardín. Investigaciones realizadas por Guariguata (2002) Reportan que las tasas de descomposición en los bosques montanos tropicales varían entre el 15% y 75%, debido a las bajas temperaturas las cuales a vez reducen la velocidad de reacción de los microorganismos descomponedores.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva está conformada principalmente por Aluminio (Al), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). En este trabajo se encontró bajas concentración de magnesio, al igual que el aluminio y está estrechamente relacionado con la acidez del suelo que a pH inferiores de 4.5 puede presentar toxicidad.

6.2 Preferencia de las especies por las variables edáficas y topográficas

Los resultados indican que la distribución de las especies analizadas estuvo determinada principalmente por la concentración de fósforo, reacción del pH, la pendiente, la concentración de magnesio, porcentaje de materia orgánica y en último lugar por la concentración de aluminio. En general, las concentraciones de calcio y de potasio no fueron significativas para la distribución de ninguna especie.

La baja concentración de Fosforo puede ser un factor determinante para la distribución de las especies. En este trabajo se encontró una relación significativa para cuatro de las nueve especies estudiadas, es decir el 45% de las especies evaluadas respondieron positivamente a este elemento. Estudios previos demuestran que la absorción del fosforo se ve favorecida por la presencia de micorrizas, que son asociaciones simbióticas de hongos y plantas que son capaces de solubilizar compuestos como el fósforo acompañado con el hierro y a su vez aumentan la absorción de nutrientes poco móviles en el suelo por parte de la planta como: el calcio y el fósforo. (Azcon, 2000; Cabrera, 2000). Sería necesario realizar estudios de asociaciones simbióticas de estas especies con micorrizas.

La pendiente es otro factor importante en la distribución de las especies, pues algún cambio en el ambiente físico como drenaje de agua, acumulación y transporte de la materia hacen que las especies se distribuyan a lo largo de

gradientes y tengan hábitats de preferencia por los recursos que ofrece (Mouro et al., 2005; Guariguata et al., 2002). Las especies analizadas estuvieron determinadas principalmente por una baja inclinación de 2-22°, lo cual posiblemente se deba a que en sitios en donde la inclinación es leve se encuentra acumulada mayor cantidad de nutrientes que son transportados por la escorrentía y son importantes para la nutrición de éstas especies (Guariguata, 2002).

6.3 Promedio de las variables ambientales con respecto a cada especie

Las concentraciones de cada elemento para las áreas estudiadas, en general, presentan niveles bajos según los rangos óptimos reportados por Jaramillo (2000), excepto para la materia orgánica, que en el caso de Jardín el promedio fue alto.

Las especies responden de diversas maneras a las variables edáficas y topográficas de su hábitat. Si bien, los factores bióticos y abióticos tienen una influencia sobre la distribución de especies vegetales, en este estudio se encontró que diferentes especies respondían a concentraciones similares de un mismo elemento, lo cual puede estar indicando la existencia de rangos óptimos de estos elementos que favorezcan el desarrollo y establecimiento vegetal para el grupo determinado de especies.

En general las especies analizadas respondieron a las variables ambientales, sin embargo, existe un alto componente aleatorio en la variabilidad no explicada para la distribución de éstas; debido a que en este estudio no se incluyeron otros factores como: configuración espacial y unidades del sotobosque en donde se muestren respuestas de las especies analizadas en estadios tempranos, los cuales han mostrado en otras investigaciones una mayor incidencia a las variables ambientales (Comita et al. 2007; Duque et al. 2002; Barreto et al. 2010; Peña, 2010). Es posible que la pendiente y los factores edáficos no sean suficientes para explicar una mayor influencia en la

distribución de las especies y puede que se esté sesgando el patrón de respuesta general por especie.

7 CONCLUSIONES

El presente estudio, resalta la importancia de las respuestas de las especies arbóreas a variables ambientales como: topográficas y edáficas, encontrando diferencias en los factores que determinan la distribución de las especies mostrando que actúan de manera particular a las variables dependiendo de la especie.

Las tres parcelas establecidas presentaron suelos bien drenados, de reacciones de pH ácidos y de baja fertilidad, con topografía similar y con una capacidad de intercambio catiónico efectiva conformada principalmente por Aluminio (Al), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).

Las concentraciones de calcio y potasio no fueron significativas para este proyecto, pero estudios realizados en el Amazonas muestran una tendencia positiva de estos elementos en la determinación de la distribución de las especies arbóreas. Éste hallazgo puede ser explicado por la marcada diferencia en la productividad de los bosques de altas montañas con respecto a los de tierras bajas.

Sapium stylare fue la única especie que no respondió significativamente a las variables ambientales, sin embargo estudios realizados en bosques explotados y no explotados de Venezuela reportan de ésta especie una tendencia a una distribución gregaria asociada exclusivamente a suelos de tipo mal drenados.

Las especies analizadas estuvieron principalmente mas relacionadas con la concentración de fósforo, reacción del pH, la pendiente, la concentración de magnesio, porcentaje de materia orgánica y en último lugar por la concentración de aluminio.

Los rangos de pH para que las plantas presenten las condiciones casi optimas para su nutrición están entre 6.1-6.5, los cuales no fueron determinantes en estas parcelas, pues la presencia de las especies anteriormente mencionadas no se ven restringidas por niveles de pH inferiores a 5.

Es importante entender el efecto de un nutriente en la distribución de las plantas en un paisaje dado, pues nos permite saber la distribución y la concentración espacial de ese nutriente, por lo tanto se podría determinar sitios en los que las plantas podrían enfrentar limitaciones, ya sea por escases o por toxicidad.

Existe poca información acerca de las especies analizadas, de lo que se ha indagado hay información muy limitada sobre ellas, aun así están reportadas en varios estudios sobre composición y estructura florística, pero son pocos los que hacen referencia a la distribución de las especies.

En conclusión, las especies arbóreas responden de manera individual a los cambios ambientales y topográficos en los bosques de altas pendientes, ya que cambios en el ambiente físico asociados a gradientes como la topografía, el drenaje del agua la distribución de nutrientes y minerales del suelo; afectan directa o indirectamente los patrones de distribución de las especies. Existe un gran componente aleatorio en la variabilidad no explicada de las distribuciones de las especies analizadas que deben tenerse en cuenta para análisis futuros con un mayor número de variables y mayor cobertura en área.

10. BIBLIOGRAFIA

Armenteras D, Gast F, Villareal H. 2002. Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*. 113 (2003) 245–256.

Azcon J, Talon M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Edicions Universitat de Barcelona. Barcelona. 522pp.

Barreto JS, Duque A, Cárdenas DC, Moreno FH. 2010. Variación florística de especies arbóreas a escala local en un bosque de tierra firme en la Amazonia colombiana. *Acta Amazónica*. 40(1):179 – 188.

Bruijnzeel LA, Veneklaas EJ. 1998. Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet. *Ecology* 79: 3-9.

Burbano H. 1989. El Suelo: Una visión sobre sus componentes biogénicos. En: Jaramillo DF. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Medellín. 619 pp.

Cabacinha CD, de Castro SS. 2009. Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in brazilian cerrado. *Forest Ecology and Management*, 257:2157-2165.

Cabrera LT. 2000. Aporte al conocimiento de la microbiota fúngica del suelo de la amazonia colombiana, con énfasis en tres grupos funcionales. En: Jaramillo DF. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Medellín. 619 pp.

Cardona FA, David H, Hoyos SE. 2010. *Flora de la Miel, Central Hidroeléctrica Miel I, Oriente de Caldas, Guía ilustrada*. ISAGEN- Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia (HUA), Medellín, Colombia. 228 pp.

Comita L, Condit R, Hubbell S. 2007. Developmental changes in habitat associations of tropical trees. *Journal of Ecology*. 95, 482–492.

Condit R. 1998. *Tropical forest census plots*. Springer – Verlag, Berlin, and R.G. Landes Company, Georgetown, Texas.

Correa Y, Marino O, Niño J. 2011. Evaluation of colombian rainforest plants for their DNA interaction and cytotoxic activities. *International Journal of PharmTech Research*. 3 (2) 632-638.

Churchill SP, Balslev H, Forero E, Luteyn JL. 1995. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest*. The New York Botanical Garden. New York.

Cuestas PA. 2005. *Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las Regiones Caribe y Valles interandinos*. Red de Recursos Forrajeros-Corpoica. Colombia.

Duque-M AJ, Cavelier J. 2003. Strategies of Tree Occupation at a Local Scale in terra firme Forests in the Colombian Amazon. *Biotropica*. 35(1):000–000.

Duque A, Sánchez M, Cavelier J, Duivenvoorden JF, Miraña, P, Miraña J, Matapi A. 2001. Relación bosque-ambiente en el Medio Caquetá, Amazonia Colombiana. En: Barreto JS, Duque A, Cárdenas DC, Moreno FH. 2010. Variación florística de especies arbóreas a escala local en un bosque de tierra firme en la Amazonia colombiana. *Acta Amazónica*. 40(1):179 – 188.

Fu BJ, Liu SL, Ma KM, Zhu YG. 2004. Relationships between soil characteristics, Topography and plant diversity in a heterogeneous deciduous broad-leaved forest near Beijing, China. *Plant an soil*, 261:47-54.

Galindo R & Betancur J. 2003. Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del santuario de flora y fauna guanentá-alto río Fonce, Cordillera Oriental Colombiana. *Caldasia*, 25(2): 313-335.

García, N. & G. Galeano (eds.). 2006. *Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 3: Las bromelias, las labiadas y las pasifloras*. Serie Libros Rojos de

Especies Amenazadas de Colombia. Alexander von Humboldt - Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia.

Gobierno En Línea del orden Territorial (GELT). 2009. *Caicedo*. Federación colombiana de municipios <http://www.caicedoAntioquia.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m111--&m=f#geografia>, Fecha Consulta: 14 de Agosto 2009.

Guariguata MR, Kattan GH. 2002. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Ediciones Lur. Compiladores Lur, Universidad Nacional. Costa Rica.

Gurevitch J, Scheiner SM, Fox GA. 2006. *The Ecology of Plants, second edition*. Sinauer Associates, inc., publisher. Massachusetts U.S.A.

Harms KE, Condit R, Hubbell SP, Foster RB. 2001. Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot. *Ecology*. 89: 947-959.

Holdridge LR. 1978. *Ecología basada en las zonas de vida de Holdridge*. Editorial IICA. Costa Rica.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2007. Antioquia. Características geográficas. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. 320 p.

Jaramillo DF. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Medellín. 619 pp.

Jaramillo DF; Parra LN, González LH. 1994. *El recurso suelo en Colombia: Distribución y evaluación*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 88 p.

John R, Dalling JW, Harms KE, Yavitt JB, Stallard RF, Mirabello M, Hubbell SP, Valencia R, Navarrete H, Vallejo M, Foster RB. 2007. Proceedings of National Academy of Sciences. En: Barreto-S JS, Duque-M AJ, Cardenas-L D, Moreno-H FA. 2010. Variación florística de especies arbóreas a escala local en

un bosque de tierra firme en la Amazonia Colombiana. *Acta Amazónica*, 40(1):179-188.

Jones MM, Tuomisto H, Borcard D, Legendre P, Clark D.B, Olivas PC. 2008. Explaining variation in tropical plant community composition: influence of environmental and spatial data quality. En: Barreto JS, Duque A, Cárdenas DC, Moreno FH. 2010. Variación florística de especies arbóreas a escala local en un bosque de tierra firme en la Amazonia colombiana. *Acta Amazónica*. 40(1):179 – 188.

Kammesheidt L. 1998. Stand structure and spatial pattern of commercial species in logged and unlogged Venezuelan forest. *Forest Ecology and Management*. 109: 163-174.

Mouro SM, Garcia LV, Marañón T, Freitas H. 2005. The combined role of topography and overstory tree composition in promoting edaphic and floristic variation in a mediterranean forest. *The Ecological Society*, 20:668-677.

Marín F, Arango L, Agudelo L, Garcia C, & et al. 2003. Plan participativo de desarrollo cultural municipal Jardín 2003-2012. La Administración Municipal de Jardín y la Casa de la Cultura.

Missouri Botanical Garden. 1986. *Catalogue of the Vascular Plants of the Department of Antioquia (Colombia)*. <http://www.tropicos.org/> Fecha de consulta: 9 de junio de 2011.

Peña-H MA, Cardenas D, Duque-M AJ. 2010. Distribución de especies y su relación con la variación ambiental y espacial a escala local en un bosque de tierra firme en la Amazonía Colombiana. *Actualidades Biológicas*. 32(92) 41-52.

Proaves Colombia. 2008. Suroeste Antioqueño - *Bosques Montanos del Sur de Antioquia*. Fundación proaves <http://www.proaves.org/rubrique.php?id_rubrique=190&lang=en>, fecha de consulta: 18 febrero 2010.

Poulsen AD, Tuomisto H, Baslev H. 2006. Biotropica. En: Barreto-S JS, Duque-M AJ, Cardenas-L D, Moreno-H FA. 2010. Variación florística de especies arbóreas a escala local en un bosque de tierra firme en la Amazonia Colombiana. *Acta Amazónica*, 40(1):179-188.

Poulsen AD, Tuomisto H, Baslev H. 2006. Edaphic and Floristic Variation within a 1-ha Plot of Lowland Amazonian Rain Forest. *Biotropica*, 38(4):468–478.

Romero A. 2005. Propuesta metodológica para seleccionar especies pioneras leñosas con fines de restauración ecológica dentro de la reserva biológica Cachalú (Encino Santander. *Revista Colombia Forestal*. 9 (18): 52-59.

Sánchez M. 1999. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. En: Jaramillo DF. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Medellín. 619 pp.

Santín FM, Guerrero L, Riofrio M. 2004. Ethnobotany of the Communities of the upper Rio Nangaritza. *Lyonia a journal of ecology and application*. Sin publicar.

Slocum MG, Aide TM, Zimmerman JK, Navarro L. 2004. Natural regeneration of subtropical montane forest after clearing fern thickets in the Dominican Republic. *Journal of Tropical Ecology*. 20: 483–486.

Tanner EV, Vitousek PM, Cuevas E. 1998. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth in wet tropical mountains. *Ecology* 79: 10-22.

Tuomisto H, Ruokolainen K, Yli-Halla M. 2003. Dispersal, environment, and floristic variation of western amazonian forests. *Science*. 299: 241-244.

Vallejo MI, Londoño AC, López R, Galeano G, Álvarez E, Devia W. 2005. *Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia*. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt. Bogotá DC.

Valencia R, Foster RB, Villa G, Condit R, Svenning JC, Hernández C, Romolereux K, Losos E, Magard E, Balslev H. 2004. Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology*. 92:214 –229.

Van der Hammen, T. 1992. Aspectos de historia y ecología de la diversidad Norandina y Amazónica. *Ecología*. 24(91):231-24

