

**GEOMORFOLOGÍA Y VEGETACIÓN COMO ELEMENTOS FUNDAMENTALES
DEL PAISAJE DEL BOSQUE SECO TROPICAL DE MERCADERES, CAUCA,
COLOMBIA**



LAURA MARCELA RENGIFO BENÍTEZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
PROGRAMA DE BIOLOGIA
POPAYAN
2019**

**GEOMORFOLOGÍA Y VEGETACIÓN COMO ELEMENTOS FUNDAMENTALES
DEL PAISAJE DEL BOSQUE SECO TROPICAL DE MERCADERES, CAUCA,
COLOMBIA**

Trabajo de Grado para optar al Título de Bióloga

Laura Marcela Rengifo Benítez

**DIRECTOR
Hernando Vergara Varela Ph.D**

**CODIRECTORA
María Patricia Torres Hernández M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
PROGRAMA DE BIOLOGIA
POPAYAN
2019**

Nota de aceptación

Director: _____
Hernando Vergara Varela Ph.D

Jurado: _____
Julio Cesar Rodríguez Mg.

Jurado: _____
Diego Macías Pinto Mg.

Lugar y fecha de sustentación: Popayán, 28 de octubre de 2019

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1. OBJETIVO GENERAL	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. MARCO TEORICO	14
4.1. EL BOSQUE SECO TROPICAL (BST)	14
Características de la vegetación del Bosque Seco Tropical:	15
4.2. GEOMORFOLOGÍA	16
Unidad Geomorfológica (UG):	16
Geoforma:.....	17
4.3. USO DE LA TIERRA.....	17
4.4. PAISAJE	17
5. ANTECEDENTES.....	18
6. MARCO METODOLÓGICO.....	21
6.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	21
6.2. FOTOINTERPRETACIÓN, ANÁLISIS DE IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT Y CARTOGRAFÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG).	24
6.3. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y FOTOGRÁFICA PARA FOTOINTERPRETACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA.....	25
6.4. FASE DE CAMPO.....	25
6.4.1. Unidades geomorfológicas (UG):.....	26
6.4.2. Composición de especies:.....	27
6.4.3. Estructura de la vegetación:	27
6.4.4. Uso de la tierra:	27
6.5. ANÁLISIS DE DATOS.....	27
6.5.1. Composición de especies:.....	27
6.5.2. Estimación de la diversidad basada en rarefacción/extrapolación:....	28

6.5.3.	Similaridad entre especies de las unidades geomorfológicas:	28
6.5.4.	Relaciones entre Unidades Geomorfológicas y la vegetación:	29
7.	RESULTADOS	29
7.1.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG).....	29
7.2.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL	31
7.2.1.	Ladera contrapendiente corta (Elcc):.....	31
7.3.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN DENUDACIONAL	32
7.3.1.	Ladera ondulada corta (Dloc):	32
7.3.2.	Ladera ondulada media (Dlom):	32
7.3.3.	Ladera ondulada larga (Dlol):	33
7.3.4.	Conos y lóbulos coluviales (Dclc):	34
7.4.	GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL	35
7.4.1.	Abanicos aluviales (Faa):	35
7.4.2.	Terrazas de acumulación (Fta):.....	36
7.4.3.	Llanuras de inundación (Flli):.....	36
7.5.	COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	37
7.5.1.	Coberturas vegetales:.....	37
7.5.2.	Composición de especies:.....	41
7.5.3.	Estimación de la diversidad basada en rarefacción/extrapolación:....	45
7.5.4.	Similaridad de especies entre unidades geomorfológicas:	47
7.5.5.	Estructura de la vegetación:	48
	Estratificación de la vegetación:	49
7.6.	USO DE LA TIERRA.....	55
7.7.	RELACIONES VEGETACIÓN – GEOMORFOLOGÍA.....	55
8.	DISCUSIÓN.....	58
8.1.	REPRESENTATIVIDAD DE ESPECIES VEGETALES EN LAS UG.....	58
8.2.	SIMILARIDAD ENTRE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG).....	59
8.3.	ESTRUCTURA DEL BOSQUE	60
8.4.	RELACIONES GEOMORFOLOGÍA –VEGETACIÓN.....	61
9.	CONCLUSIONES	63
10.	RECOMENDACIONES	66
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	67

12. ANEXOS 74

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo geológico y estructural para estudio de hidrocarburos en la cuenca Patía a la altura de la quebrada Matacea. Tomado de Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 2010.....	20
Figura 2. Localización y drenaje de la quebrada Matacea, área de estudio en la vereda El Vado, Mercedares Cauca.....	22
Figura 3. Polígono de referencia para protección de áreas secas del Bosque Seco del Valle del Patía. Tomado de PNN de Colombia (2014).	23
Figura 4. Ubicación de las Parcelas (P) de vegetación en las unidades geomorfológicas.....	26
Figura 5. Mapa de pendientes de la parte baja de la microcuenca quebrada Matacea.....	30
Figura 6. Mapa de unidades geomorfológicas asociadas a la cuenca baja de la quebrada Matacea en la vereda el Vado, Mercaderes Cauca.....	31
Figura 7. Hacia el W del área de trabajo se observa la unidad geomorfológica de origen estructural Elcc.....	32
Figura 8. Ladera ondulada media (Dlom).	33
Figura 9. Ladera ondulada larga (Dlol).	34
Figura 10. Conos y lóbulos coluviales (Dclc).	35
Figura 11. Terraza de acumulación, de origen fluvial (Fta).	36
Figura 12. Llanura de inundación (Flli).	37
Figura 13. Mapa de coberturas vegetales del bosque seco de la quebrada Matacea.....	41
Figura 14. Representatividad de familias botánicas en la cuenca baja de la quebrada Matacea.	42
Figura 15. Curvas de rarefacción (línea sólida) y extrapolación (línea punteada) basada en el tamaño de muestra para la riqueza de especies de plantas. Zona sombreada representa los intervalos de confianza (95%) con el método de bootstrap en 600 replicaciones.....	46
Figura 16. Dendrograma de similitud basado en el coeficiente de Jaccard.....	47
Figura 17. Cuantificación del valor de importancia de las especies (IVI) por unidad geomorfológica.....	49
Figura 18. Perfil idealizado de la vegetación de la quebrada Matacea.....	50
Figura 19. Estratificación horizontal Ladera ondulada corta (Dloc).	51
Figura 20. Estratificación horizontal Laderas onduladas medias (Dlom).	51
Figura 21. Estratificación horizontal Ladera Ondulada larga (Dlol).....	52
Figura 22. Estratificación horizontal Conos y lóbulos coluviales (Dclc).	53
Figura 23. Estratificación horizontal abanicos aluviales (Faa).	53
Figura 24. Estratificación horizontal Terrazas aluviales (Fta).	54

Figura 25. Estratificación horizontal llanura de inundación (Flli).....	55
Figura 26. Análisis de correspondencias que relaciona las variables ambientales de las UG con las parcelas de vegetación.	56
Figura 27. Dendrograma de un análisis de correspondencia realizado en el programa estadístico Rwizard versión 4.3. Test de U Mann-Whitney entre las parcelas de vegetación muestreadas en las UG y las variables ambientales.	57
Figura 28. Boxplot obtenido para cada una de las variables con valores promedios para cada clúster.	58

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo de investigación fue posible gracias al trabajo en equipo consolidado entre la academia y la comunidad del bosque seco del Valle del río Patía.

Por eso quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al profesor Hernando Vergara Varela y a la profesora María Patricia Torres Hernández por apostar en esta propuesta de investigación, agradezco inmensamente su compromiso y dedicación para sacar adelante este proyecto pese a las adversidades que se presentaron en el camino, fueron guías, amigos y maestros.

A mi Familia, mi Padre Jesús Rengifo, Mi madre Luz Dary Benítez, a mi hermano Juan José Rengifo por su ayuda incondicional en todos los ámbitos en que una familia puede ayudar, especialmente en la fase de campo por su acompañamiento y ayuda en la elaboración de parcelas, toma de datos y demás, gracias por su empeño, esfuerzo y colaboración.

A mi esposo Alberto Moncayo Fernández por ser mi mano derecha, por ser mi asesor y mi guía, gracias por hacer este trabajo tuyo también, tu ayuda permitió que esto hoy sea una realidad.

Al profesor Bernardo Ramírez Padilla por ser maestro y guía en la propuesta de investigación y ayudar en la identificación taxonómica de las especies vegetales.

Al semillero de investigación Fwix, por el préstamo de materiales para el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos y colegas Jorge Mario Becoche, Jhoy Córdoba, Antonio Córdoba, Sebastián Moreno y Jairo Gamboa quienes de una u otra manera aportaron para sacar esta propuesta adelante con su apoyo en campo y con sus aportes en conocimiento que fueron vitales para resolver problemas que se presentaron en su realización.

A Brigith Fernández por ser compañera y amiga de trabajo y por conformar un equipo sólido que facilitó este arduo proceso.

A don Oliver líder de la comunidad, que fue nuestro guía, la persona que con su conocimiento y humor nos brindó acompañamiento a lo largo del trabajo de investigación.

A mis amigas y colegas Heidy Aza, Sandra Vivas, Diana Quintero y Lindalia Pinzón, a ustedes gracias por su incondicional amistad, por el acompañamiento y apoyo en el todo el proceso de formación académica universitaria.

1. INTRODUCCIÓN

El bosque seco tropical (BST) es aquella formación vegetal distribuida entre los 0-1000 m de altitud con temperaturas superiores a los 24°C (Janzen, 1988; IAvH, 1998). Considerado uno de los ecosistemas tropicales más amenazados por las actividades humanas (Murphy y Lugo, 1986) y con las más altas tasas de deforestación y conversión de tierras a cultivos y pastos, a diferencia de muchos otros ecosistemas en América latina (Houghton *et al.* 1991).

Colombia es un país privilegiado para el estudio de los ecosistemas secos ya que existe en seis regiones biogeográficas diferentes: el valle del río Patía en el sur del valle geográfico del Cauca, el valle del río Cauca, el alto y medio valle del río Magdalena, Santander y Norte de Santander, la costa Caribe, y la Orinoquía. Esto quiere decir, que a pesar de que el BST comparte características similares como una fuerte estacionalidad de lluvias en estas seis regiones, los suelos, la geomorfología y la estacionalidad climática varían, y como consecuencia su composición vegetal (Pizano & García, 2014).

Por esta razón, existen distintos patrones de vegetación en los bosques secos tropicales debido a la diferencia de características físicas entre ellos, como son variaciones en la litología, en las formas del relieve, en los procesos formadores de estos, así como, en los suelos. En consecuencia, se ha tratado de desarrollar una mejor comprensión de la relación entre la vegetación y el paisaje físico que le rodea donde se reconoce a la geomorfología como elemento principal de ese paisaje (Michaud *et al.*, 2013). Debido a esto, esta investigación se centra en las relaciones de la vegetación y los ambientes geomorfológicos como factores que afectan el desarrollo y crecimiento de las plantas (Zonnenveld, 1986).

Para el presente trabajo de investigación se tuvieron en cuenta factores extrínsecos como la topografía que incluyen la elevación, la inclinación y la orientación de la pendiente que afectan la humedad del suelo y el movimiento lateral de nutrientes a través del paisaje (Yetemen *et al.*, 2010). También descriptores de la forma de las montañas, lomas y cerros del área de estudio, determinados por la forma de sus laderas, su longitud y su grado de inclinación,

variables físicas relacionadas con los procesos morfodinámicos que actuaron sobre las rocas y depósitos, creando las condiciones requeridas para la distribución de la vegetación. Finalmente explicar por qué ciertas comunidades vegetales se encuentran en algunas geoformas, y no en otras como resultado de su geomorfología.

2. JUSTIFICACIÓN

El bosque seco del departamento del Cauca ha sido deforestado en su mayor parte, sin embargo, aún se conservan pequeños fragmentos de bosque, aunque bajo riesgo de desaparición por el mal manejo de sus tierras. Además, según el ministerio de medio ambiente (2002) y el plan nacional contra la desertificación en Colombia los bosques secos específicamente del departamento del Cauca son áreas potenciales a la desertificación debido, principalmente, a la transformación, fragmentación y pérdida de coberturas boscosas (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005).

Por tanto, se hace indispensable la investigación en estas áreas secas del país, ya que ellas permitirán encaminar procesos de recuperación y protección de los fragmentos de BST que aún existen en el departamento del Cauca. Bajo este contexto el presente trabajo de investigación busca convertirse en una herramienta para el desarrollo de planes de manejo del territorio y en una guía para plantear propuestas para la conservación de los remanentes de bosque seco tropical, con base en las relaciones de la vegetación y la geomorfología, que permitan obtener información del bosque seco desde una perspectiva más amplia sobre el paisaje y como responde el ambiente físico y biológico a la transformación del entorno.

Los componentes geomorfológicos y ecológicos del paisaje se han conceptualizado en gran medida como independientes. En una dirección, los procesos geomorfológicos y las formas terrestres determinan la distribución de la biota y a la inversa, la biota modifica los procesos geomorfológicos y las formas terrestres. Sin embargo, cada vez más, las interacciones entre los componentes geomorfológicos y ecológicos son más circulares y se entrelazan en el desarrollo

(Stallins, 2006). Así mismo, la geomorfología es utilizada como una herramienta importante para la interpretación de la distribución y cambios en la cobertura vegetal debido a la dinámica ambiental en el tiempo (Flores *et al.*, 2015). Las características de la vegetación y las condiciones geomorfológicas forman unidades, de tal manera que cualquier cambio en una afecta directamente a la otra (Hupp & Bornette, 2003).

En los últimos años los análisis de la relación entre los patrones de la vegetación y los factores ambientales asociados con la variación de las formas del paisaje se ha incrementado en muchos estudios de diferentes biomas; estas relaciones tienen una relevancia específica para estudios ecológicos a nivel local o regional; porque nos permite comprender los cambios en el paisaje; además tiene un interés científico más amplio e interdisciplinario que puede establecer relaciones a nivel de adaptaciones y funciones de las plantas con los ambientes geomorfológicos en donde se encuentran (Brancaleoni *et al.*, 2003).

Un rasgo muy importante que justifica estudios ecológicos en los BST es el alto grado de endemismos y de diversidad beta que habita en él, convirtiéndolo en un ecosistema de alta prioridad para la conservación (Dirzo & Raven, 2003). Así, los estudios con enfoque paisajístico integran e interrelacionan los componentes físicos y biológicos permitiendo una vista más amplia sobre la dinámica de estos ecosistemas y por tanto, generando conocimiento y alternativas para el uso y manejo sostenible del BST garantizando su protección y conservación de su biodiversidad (Chiappy *et al.*, 2000).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación de la cobertura vegetal con las unidades geomorfológicas atendiendo los diferentes usos de la tierra en la vereda el Vado, Mercaderes Cauca.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las unidades geomorfológicas en el bosque seco tropical
- Caracterizar la composición y estructura de la cobertura vegetal en las unidades geomorfológicas
- Identificar la intervención antrópica y clasificar su uso.

4. MARCO TEORICO

4.1. EL BOSQUE SECO TROPICAL (BST)

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge, los bosques secos tropicales y subtropicales se encuentran en áreas donde la temperatura anual es mayor a 17° C y la evapotranspiración supera a la precipitación, la cual está entre los 250 y 2000 mm por año (Holdridge 1967, Murphy 1986). Actualmente se estima que queda un poco más de un millón de kilómetros cuadrados de BST a nivel mundial (Miles *et al.* 2006, Portillo-Quintero & Sanchez-Azofeifa 2010). El Bosque Seco Tropical en Suramérica está presente en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil (Portillo-Quintero & Sanchez-Azofeifa, 2010). En Colombia su distribución comprende seis regiones: el Caribe, los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, los enclaves secos del norte de los Andes, los valles de los ríos Dagua y Patía en el suroccidente del país y los afloramientos rocosos de los Llanos Orientales (Etter 1994; Pizano & García 2014).

El BST se encuentra en áreas relativamente planas con suelos de fertilidad intermedia y pH moderado (Ratter *et al.* 1978, Vargas *et al.* 2008, Portillo-Quintero & Sanchez-Azofeifa 2010). Por estas condiciones favorables de clima y suelos, históricamente el BST ha soportado grandes poblaciones de humanos, por lo cual es considerado como uno de los biomas más amenazados. En un sentido más amplio, el BST es un bioma que ocurre en tierras bajas de zonas tropicales y que se caracteriza por presentar una estacionalidad marcada de lluvias con varios meses de sequía (Martínez *et al.* 1995), con un tipo de vegetación dominado por arboles deciduos en el cual al menos el 50% de las especies vegetales presentes

son tolerantes a la sequía (Sánchez-Azofeifa *et al.* 2005). Como resultado de las presiones de selección asociadas a una estacionalidad marcada, el BST presenta niveles muy altos de endemismo, esto quiere decir, que la alta biodiversidad asociada al BST tiene una distribución geográfica restringida típica de cada localidad donde existe este bioma (Dirzo *et al.* 2011).

Las características secas del BST del valle del río Patía, están dadas por la escasez de lluvias durante los meses de junio a septiembre que se asocian a las altas temperaturas y la alta evaporación (1600 mm). Las condiciones climáticas están sujetas a dos flujos que confluyen sobre la cordillera de los Andes: los flujos del oeste, que ocurren durante todo el año y los flujos del este determinados por los vientos alisios que provienen de los hemisferios norte y sur cuya incidencia máxima es entre los meses de mayo y septiembre. El choque de estos flujos del este y oeste sobre las masas andinas es el responsable de las características secas de la región (Ministerio del Medio Ambiente, 2000).

El valle del Patía entre los departamentos de Cauca y Nariño, ha sido una de las áreas de mayor intervención y donde mayor deterioro ha sufrido este tipo de bosque. De hecho, en esta región queda tan solo un 0,2 y 0,6% de la cobertura original de bosque seco respectivamente (García *et al.* 2014).

Características de la vegetación del Bosque Seco Tropical: el factor crítico para las plantas del BST es la estacionalidad de lluvias, dado que el agua determina la producción de las hojas, la fotosíntesis, descomposición de la materia y microorganismos en el suelo (Jaramillo *et al.* 2011). De ahí que las plantas de bosque seco presenten una gran variedad de patrones fenológicos que van desde las especies que no pierden sus hojas “siempre verdes”, hasta aquellas que pierden todas sus hojas durante la época de sequía “caducifolias” (Frankie *et al.* 1974, Sanchez *et al.* 2003, Giraldo & Holbrook 2011), estas son estrategias desarrolladas para evitar la pérdida de agua en las épocas más secas. Sin embargo, existen otras adaptaciones a la sequía que incluyen la modificación de hojas a espinas para reducir la evapotranspiración, además de servir como defensa ante depredadores, así mismo, han desarrollado tallos fotosintéticos,

estructuras suculentas para almacenamiento de agua (Cactáceas) y el metabolismo de ácido crasuláceo (CAM) que permite la fijación de CO₂ y la reducción de la transpiración en el día.

Según Gentry (1998) en la composición de los bosques secos en Colombia, las familias botánicas más representativas en cuanto a la riqueza de especies son Fabaceae, Bignoniaceae, Rubiaceae, Sapindaceae y Euphorbiaceae.

4.2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología se define como la ciencia que trata la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno, y su relación con las estructuras infra yacentes. Esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera (INGEOMINAS, 2008).

Las aplicaciones y el análisis geomorfológico tienen como objetivo principal registrar información de las formas del terreno, los materiales (roca o suelos) que las constituyen, y los procesos superficiales que los afectan, de tal manera que permitan la reconstrucción de la historia del relieve de una localidad. Esta información es básica para el manejo ambiental y territorial de una localidad, dado el carácter de geoindicador que tiene la superficie terrestre al mostrar los más recientes cambios geológicos, propios de la dinámica tanto interna como externa de la tierra (INGEOMINAS, 2008).

Unidad Geomorfológica (UG): Las unidades geomorfológicas representan sistemas con relaciones de funcionamiento entre las variables suelo, agua, cobertura vegetal, amenazas naturales y en algunos casos minería, de esta manera se trata a la geomorfología como una ciencia integral que busca explicar relaciones a nivel ecológico entre variables biológicas y físicas del ambiente (IDEAM, 2013)

Carvajal (2008), recomienda definir Unidades Geomorfológicas (UG) siguiendo un proceso analítico desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. Para lo cual desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, en la cual

relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos.

Geoforma: De acuerdo con Zonneveld (1989) “*Land Form*” (Geoforma) es una superficie de la tierra con características morfológicas distintivas, definidas en su desarrollo por un proceso en particular, que deja reflejada una configuración típica de cada ambiente.

4.3. USO DE LA TIERRA

El uso de la tierra consiste en la modificación del territorio para llevar a cabo actividades productivas que comprenden acciones o intervenciones de tipo antrópico (Paruelo *et al.* 2006). Esta modificación produce cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas; dicha transformación de los ambientes naturales es hoy la principal causa del alto grado de amenaza de pérdida de los bosques secos tropicales y otros biomas en el país. Las actividades más frecuentes en los bosques secos tropicales en Colombia son la ganadería, agricultura, fuego y minería.

4.4. PAISAJE

Las relaciones vegetación - geoforma integran el paisaje y los estudios paisajísticos como son la geomorfología, la vegetación y la ciencia del suelo, se integran como un sistema global, donde los atributos de la tierra constituyen las partes fundamentales de dicho sistema, permitiendo una evaluación multidisciplinar (Zonneveld, 1986).

Dentro del concepto de paisaje se incluye el concepto de Holismo que se basa en la hipótesis de que la naturaleza consiste en una jerarquía de protones, átomos, moléculas, minerales, células vivas, tejidos, organismos, población y comunidad. Un cuerpo a gran escala no puede entenderse estudiando directamente solo los elementos más pequeños, sino que debe examinarse a los diversos niveles jerárquicos como una entidad. La teoría de sistemas modernos y la ecología del

paisaje agregan ecosistemas como conjuntos compuestos de factores bióticos y abióticos. Por lo tanto, las unidades de la tierra, Unidades Geomorfológicas (UG) o paisajes tienen un lugar en esta jerarquía y, además, ciertos niveles jerárquicos se pueden distinguir en esos niveles. Por esta razón Zonneveld (1986) plantea la hipótesis de que los paisajes son entidades integrales con todas las propiedades de los cuerpos holísticos (Zonneveld, 1986).

5. ANTECEDENTES

El estudio de las relaciones entre la geomorfología y la vegetación se ha incrementado en los últimos años a nivel mundial, siendo este, un tema ya explorado en el campo de la ciencia.

En cuanto a estudios sobre las relaciones de la geomorfología y la vegetación en ecosistemas secos existen aportes importantes como el de Fernández *et al.*, (1984) en la provincia de Cáceres, España. Se han estudiado las relaciones entre geomorfología y composición del matorral mediterráneo y el efecto de la intervención humana sobre la misma en la parte baja de la cuenca del río Guadalupejo. Se destacan también las investigaciones de Villers-Ruiz *et al.*, (2003) en el BST de la península baja California, México, donde se estudió un análisis de ordenación de la vegetación y sus relaciones con su entorno y las características geomorfológicas, utilizando métodos multivariados para analizar las relaciones entre las características físicas del ambiente y los tipos de vegetación. También el de Flores *et al.*, (2015) en el monte árido del valle de Zonda, Argentina, cuyo objetivo fue el reconocimiento de unidades geomorfológicas, la identificación de especies y la cobertura de especies de plantas nativas de este sector, con el fin de investigar relaciones entre la distribución de la vegetación y los ambientes geomorfológicos que la sustentan.

A nivel nacional no se encontraron reportes sobre el estudio de relaciones entre geomorfología y vegetación en el ecosistema de bosque seco tropical, pero si estudios en otros biomas como el trabajo presentado por Duivenvoorden *et al.*, (1988) en las selvas húmedas de la Amazonía colombiana, en el que se presentan los resultados del levantamiento integrado de geomorfología, suelos y vegetación

en la cuenca del medio Caquetá, Amazonas, Colombia. El objetivo del levantamiento fue obtener información básica sobre los sistemas de la tierra más representativos para la Amazonia. También el de Bernal *et al.*, (2014) en playa Palmeras Parque Nacional Natural Isla Gorgona en la región pacífico, donde se realizó un estudio de la geomorfología y la vegetación a partir del levantamiento de un modelo digital de elevación, entre otras mediciones a lo largo de la playa, cuyo objetivo fue identificar las variaciones espaciales en la sedimentación, la morfología y vegetación de esta playa, así como la dinámica de los sedimentos en escalas estacional a interanual, resultado de los procesos costeros que interactúan en este sector de la isla, y la relación con la vegetación natural predominante.

A nivel del departamento del Cauca se reportan trabajos muy importantes para el BST del Valle del río Patía, como el de Vergara (2015), resaltando las relaciones entre la vegetación y los usos del suelo, y evaluando los cambios de la cobertura en una escala temporal, usando fotografías aéreas e imágenes satelitales y relacionando con el tipo de uso. Además, Vergara (2015) también realiza un importante aporte sobre las relaciones entre la vegetación y el ambiente en el bosque seco del Patía encontrando que los patrones de distribución de la vegetación en el área de estudio mostraban una fuerte correlación con los rasgos geomorfológicos del paisaje. También se destaca el trabajo de Ramírez *et al.*, (2015) realizando una importante contribución a la flora de los bosques secos en los departamentos de Cauca y Nariño.

En la quebrada Matacea localizada al sur de la subzona Patía Alto, área de estudio, la Agencia Nacional de Hidrocarburos ha realizado investigación en los afloramientos de la superficie correspondientes a depósitos sedimentarios de las formaciones Mosquera y Esmita y depósitos volcánico sedimentarios de la Formación Galeón encontrando manifestaciones importantes de hidrocarburos, que corresponden a dos rezumaderos de aceite en la quebrada Matacea, y en el sitio denominado Sachamates (Hincapié *et al.*, 2009).

Pérez y Numpaque (1980) plantean que las formaciones Mosquera y Esmita constituyen buenos reservorios, y que la tectónica del área dio lugar a excelentes trampas para el petróleo. Además, indican que el petróleo encontrado en los manaderos está relacionado con el miembro limolítico de la Formación Esmita, y se asocia al sistema de fallas Cauca-Romeral (Figura 1).

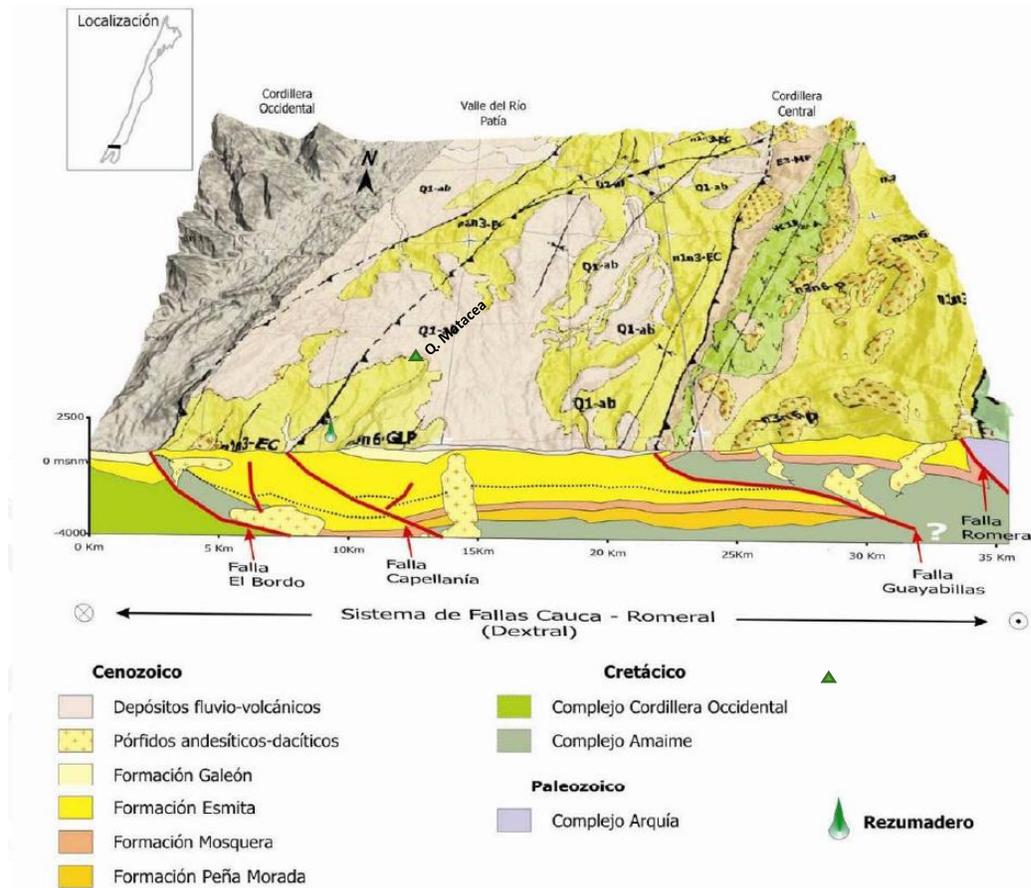


Figura 1. Modelo geológico y estructural para estudio de hidrocarburos en la cuenca Patía a la altura de la quebrada Matacea. Tomado de Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 2010

En cuanto a la geomorfología existen aportes al conocimiento de las unidades geomorfológicas del valle del río Patía por Vergara y Torres (2017) en su trabajo titulado “Aspectos generales del Valle del Patía”, en él se abordan las características sociales de la zona, las condiciones climáticas, la geomorfología y los suelos, reconociendo 8 unidades geomorfológicas para el valle del río Patía y

la caracterización de las áreas que aún se encuentran representadas por remanentes de bosque seco tropical.

Finalmente se resaltan los aportes de Erazo (2017); Gamboa (2017) evaluando el banco de semillas germinable y la lluvia de semillas en los ecosistemas de bosque seco tropical respectivamente, como procesos de alta importancia en la regeneración natural de los bosques.

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área objeto de estudio tiene una extensión de 956 ha y se encuentra localizada al suroccidente colombiano en el municipio de Mercaderes, departamento del Cauca, en la microcuenca baja de la quebrada Matacea (Área hidrográfica: Pacífico, Zona hidrográfica: Patía) entre el piedemonte oriental de la cordillera Occidental, a la altura de la vereda El Vado Cauca cerca de la confluencia de la quebrada Matacea en el río Patía y la vía panamericana que, hacia el sur conduce al departamento de Nariño. Las coordenadas geográficas del área de estudio son 1°48'43" N -77°17'13" NO y °47'58" N-77°15'56" NE y 1°46'21" N -77°16'41" SE 1°46'46" N-77°17'53" SW (Figura 2).

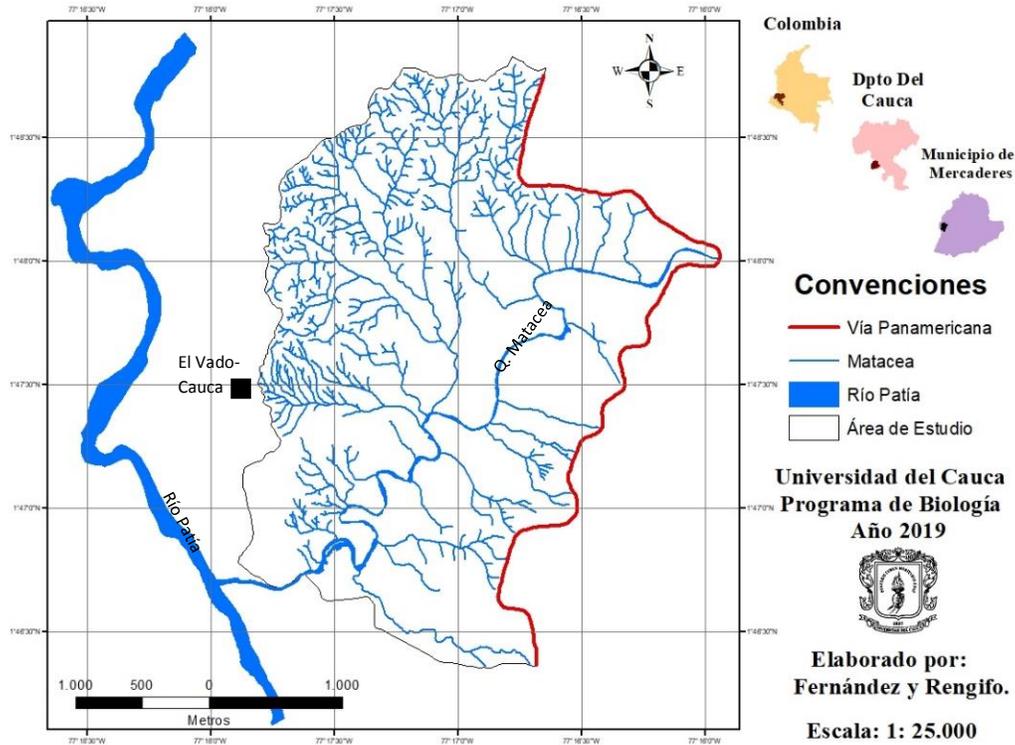


Figura 2. Localización y drenaje de la quebrada Matacea, área de estudio en la vereda El Vado, Mercedes Cauca.

El área de estudio se seleccionó por el estado de conservación y recuperación de los fragmentos de bosque seco tropical, por la geomorfología que le caracteriza y por estar atravesada por un importante tributario del río Patía, la quebrada Matacea. Además de formar parte del polígono propuesto para protección de áreas secas por Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN), cuyo objetivo principal es recuperar la conectividad funcional y estructural de los parches de bosque seco localizados en la confluencia de las subzonas hidrográficas de los ríos alto y medio Patía, Mayo, Guaitara, Juanambú y San Jorge. Proponiendo un uso sostenible de la biodiversidad, mantener los servicios ecosistémicos que provee el bosque, como también la regulación hídrica y climática. Contempla un polígono de manejo integrado de aproximadamente 172.472 hectáreas distribuidos en 23 municipios del departamento del Cauca y Nariño (Figura 3).

periodo o estación seca corresponde a los meses de junio a septiembre, siendo el mes menos lluvioso agosto con 19 mm.

6.2. FOTOINTERPRETACIÓN, ANÁLISIS DE IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT Y CARTOGRAFÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG).

Durante los tres primeros meses del estudio se llevó a cabo la revisión del material bibliográfico, cartográfico, fotográfico y de imágenes de satélite.

Para el análisis geomorfológico se utilizaron como insumo principal fotografías aéreas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) específicamente las del Vuelo C.2349 número de fotografías (162-165) del año (1988) y mapas topográficos base para la cartografía temática a escala 1:10.000 y 1:25:000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); así mismo, imágenes de satélite LANDSAT obtenidas desde las plataformas libres Earth Explorer (USGS) y Google Earth Pro del año 2018 y el mapa de clasificación de pendientes elaborado con el programa ArcGIS versión 10.4 a partir de un modelo de elevación digital (DEM) que permitió una mejor delimitación de las Unidades Geomorfológicas.

La fotointerpretación de las Unidades Geomorfológicas se realizó con ayuda de un estereoscopio de espejos, identificando sobre las fotografías aérea los patrones de drenaje, el tono y el color (Naranjo, 2015), y se complementó con la ayuda de las imágenes de satélite, siguiendo los lineamientos metodológicos propuestos por (INGEOMINAS, 2011) que recomienda tener en cuenta la composición litológica, los rasgos estructurales, la inclinación de las laderas, la morfogénesis y los patrones de drenaje. El resultado de este análisis fue un mapa preliminar de las Unidades Geomorfológicas (UG) sin control de campo, sobre las cuales se diseñó la distribución de las parcelas de vegetación a establecer en el área de estudio.

6.3. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y FOTOGRÁFICA PARA FOTOINTERPRETACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA.

La interpretación de la cobertura vegetal y el uso de la tierra se realizó siguiendo los lineamientos propuestos por el (IDEAM, 2010) basado en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000; pero para el propósito de esta investigación se adaptó a escala 1:25.000. Se realizó una clasificación estructural de la cobertura vegetal, para lo cual se tuvieron en cuenta características fotogeológicas como tono y textura, formas, tamaños y patrón de la vegetación. Finalmente se obtuvo como resultado un mapa fotogeológico de la vegetación, sin control de campo, con las diferentes coberturas vegetales que posteriormente se revisó en el terreno.

El trabajo con fotografías aéreas e imágenes de satélite permitió seleccionar y delinear puntos clave de muestreo a la escala de trabajo establecida 1:25.000 y diseñar la distribución de las parcelas a establecer en el terreno, aspecto que facilitó el trabajo de campo y disminuyó los costos del trabajo de investigación.

6.4. FASE DE CAMPO

Los muestreos se llevaron a cabo durante 4 salidas de campo con una intensidad de tres días por salida, durante los meses de marzo y septiembre del año 2018.

Para el levantamiento de información de la vegetación se establecieron 18 parcelas de 10x10 metros ubicadas estratégicamente en las unidades geomorfológicas exceptuando la UG Elcc (Ladera contrapendiente corta) ya que, fue la unidad que presentó mayor dificultad de acceso por sus pendientes, además de ser la unidad geomorfológica más alejada, esto dificultó la elaboración de parcelas de vegetación por motivos de tiempo y recurso económico, las demás parcelas se distribuyeron de tal manera que cada una de las UG estuviera representada, para esto, se establecieron réplicas de las parcelas dentro de las unidades geomorfológicas.

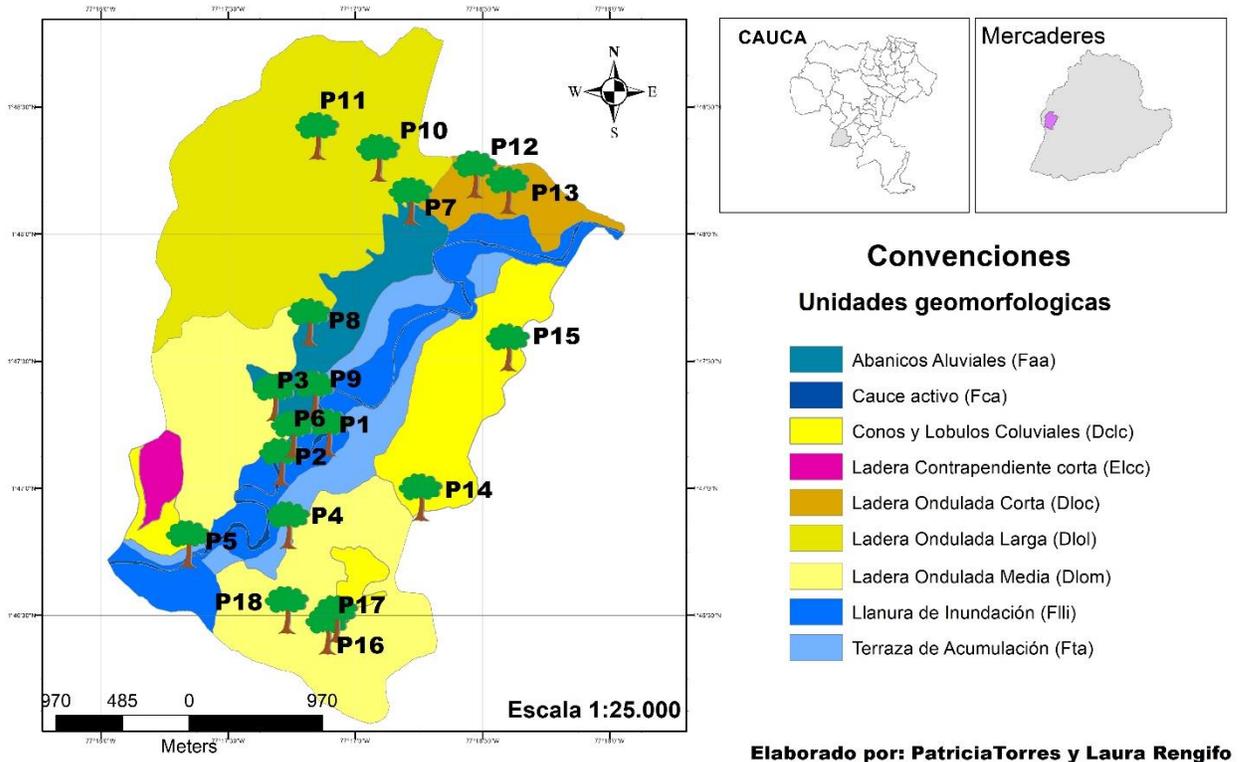


Figura 4. Ubicación de las Parcelas (P) de vegetación en las unidades geomorfológicas.

6.4.1. Unidades geomorfológicas (UG):

La revisión en el terreno del mapa fotogeológico de las UG se realizó en dos salidas al área de trabajo, en las cuales se hicieron observaciones visuales, se tomaron datos sobre la inclinación de la pendiente de las laderas del valle bajo de la quebrada Matacea con una brújula Brunton, se realizaron registros fotográficos y se diligenciaron las hojas de campo diseñadas para el levantamiento de información, los datos que se utilizaron para caracterizar las Unidades Geomorfológicas fueron: pendiente, patrón de drenaje, erosión, posición topográfica, relieve, fuente de agua, tipo de roca, origen y altitud.

6.4.2. Composición de especies:

Para estimar la composición de especies se colectaron las especies vegetales presentes teniendo en cuenta todos los hábitos de crecimiento (hierbas, arbustos y árboles) en cada una de las parcelas.

6.4.3. Estructura de la vegetación:

En cada parcela se registraron todos los individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 2.5 cm. Para cada individuo se identificó la especie y se midió el perímetro del tallo (CAP), altura total y el hábito de crecimiento. Además se obtuvo el índice de valor de importancia IVI por UG con el fin de representar las especies ecológicamente más importantes según lo propuesto por Mendoza y Ramírez (2006) y Villareal et al, (2004); así mismo se realizó la estratificación de la vegetación de la quebrada Matacea para conocer la distribución de la vegetación y su estado de recuperación. Se colectaron especímenes para su identificación y las muestras fueron incluidas en el herbario de la Universidad del Cauca – CAUP (Colección L.M. Rengifo).

6.4.4. Uso de la tierra:

En cada parcela se diligenció la hoja de levantamiento de campo que contiene un ítem dedicado al uso y manejo de la tierra, algunas de las observaciones en la hoja de campo son: Ganadería: tipo (pastos, vegetación natural, porcentaje de especies leñosas en potreros), Manejo (Quemas, pisoteo); Agricultura: Tipo (perenne-anual), especies cultivadas, porcentaje de cada cultivo y tipo de tenencia (Anexo 1).

6.5. ANÁLISIS DE DATOS

6.5.1. Composición de especies:

Para estimar la composición de especies se evaluó la abundancia (Número de individuos presentes por especie en la parcela) y la riqueza (número de especies) en cada parcela. Datos consignados en una tabla en Excel.

6.5.2. Estimación de la diversidad basada en rarefacción/extrapolación:

Para comparar la riqueza de especies en las unidades geomorfológicas se usó la metodología de Chao y Jost (Chao y Jost, 2012), la cual integra la rarefacción y la extrapolación para comparar la diversidad de especies basado en muestras de igual completitud (medida por la cobertura de la muestra). La cobertura se define como la proporción del número total de individuos en una comunidad que pertenece a las especies representadas en la muestra (Chao y Jost, 2012). Bajo este enfoque se puede hacer comparaciones de diversidad de especies con un menor sesgo (debido al esfuerzo de muestreo) a diferencia de otras técnicas tradicionales para estos fines (Magurran y McGill 2011). De hecho, la integración de la rarefacción y extrapolación basada en la cobertura y el tamaño de la muestra, representa un marco unificado para estimar la diversidad y para hacer inferencias estadísticas basadas en estos estimados (Chao *et al.*, 2014). Cuando comparamos muestras con la misma cobertura, estamos seguros que las muestras son igualmente completas; así, podemos comparar la diversidad de dos unidades de muestreo con base en una misma proporción de individuos, por lo que la comparación está basada en las características de la comunidad en vez de los esfuerzos de muestreo (Chao y Jost, 2012). En este sentido, el análisis se basa en dos tipos de datos y modelos: basado en individuos (abundancia) y basado en la muestra (incidencia) (Chao et al. 2014). En este caso, usamos un modelo con datos de incidencia incorporando los números de Hill, los cuales son una familia unificada matemáticamente de índices de diversidad, en este caso para los primeros que son la riqueza de especies ($q = 0$) y la exponencial de la entropía de Shannon o diversidad de Shannon ($q = 1$), con base en datos de incidencia (Chao et al., 2014). La estimación de la diversidad con base en rarefacción/extrapolación se realizó con el paquete iNEXT para R (Hsieh *et al.*, 2014).

6.5.3. Similitud entre especies de las unidades geomorfológicas:

Para comparar la composición de especies vegetales en las unidades geomorfológicas se calculó el coeficiente de similitud de Jaccard el cual relaciona el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas de

cada unidad geomorfológica (Villarreal *et al.*,2006). El índice y el coeficiente fueron calculados en el programa Past versión 3.1.

6.5.4. Relaciones entre Unidades Geomorfológicas y la vegetación:

Para establecer relaciones entre las variables que caracterizan a las unidades geomorfológicas y la cobertura vegetal se realizó un dendograma a un análisis de correspondencia en el programa estadístico Rwizard versión 4.3. Un análisis multivariado cuyo objetivo es determinar que grupos estadísticamente diferentes se forman al aplicar un análisis de correspondencias. Es importante recalcar que solo se detecta grupos diferentes atendiendo a la variabilidad de los datos.

7. RESULTADOS

7.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG).

Se identificaron ocho (8) unidades geomorfológicas en el área de estudio (Figura 6), en base al mapa de pendientes (Figura 5) que corresponden a tres (3) ambientes morfogenéticos diferentes (Tabla 1).

Tabla 1. Unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

Unidad geomorfológica	Geoforma	Ambiente morfogenético	Unidad Geológica
Ladera contrapendiente corta	Elcc	Estructural	Formación Esmita
Ladera ondulada Corta	Dloc	Denudacional	Formación Esmita
Ladera ondulada Media	Dlom	Denudacional	Formación Esmita
Ladera ondulada larga	Dlol	Denudacional	Formación Galeón
Conos y lóbulos coluviales	Dclc	Denudacional	Depósitos del cuaternario
Abanicos aluviales	Faa	Fluvial	Depósitos del cuaternario
Terrazas de acumulación	Fta	Fluvial	Depósitos del cuaternario
Llanuras de inundación	Flli	Fluvial	Depósitos del cuaternario

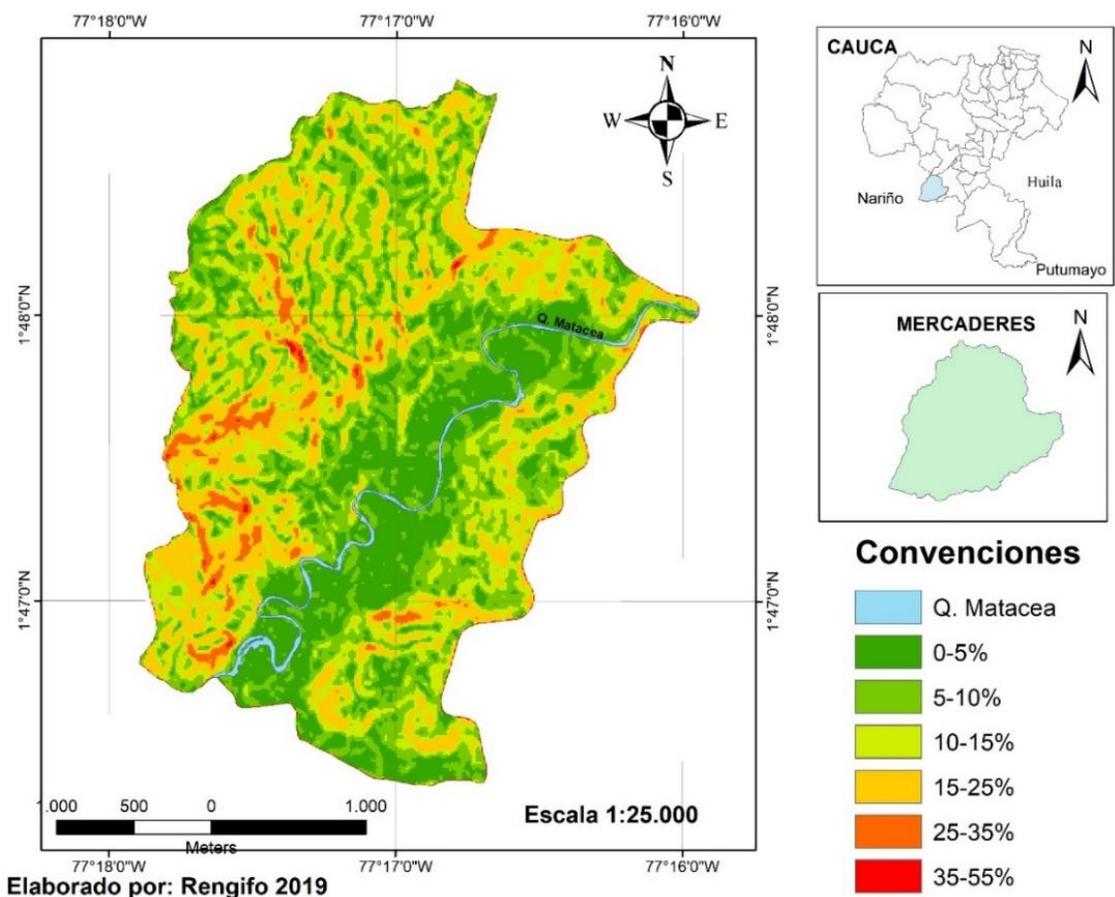


Figura 5. Mapa de pendientes de la parte baja de la quebrada Matacea.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA BAJA QUEBRADA MATACEA

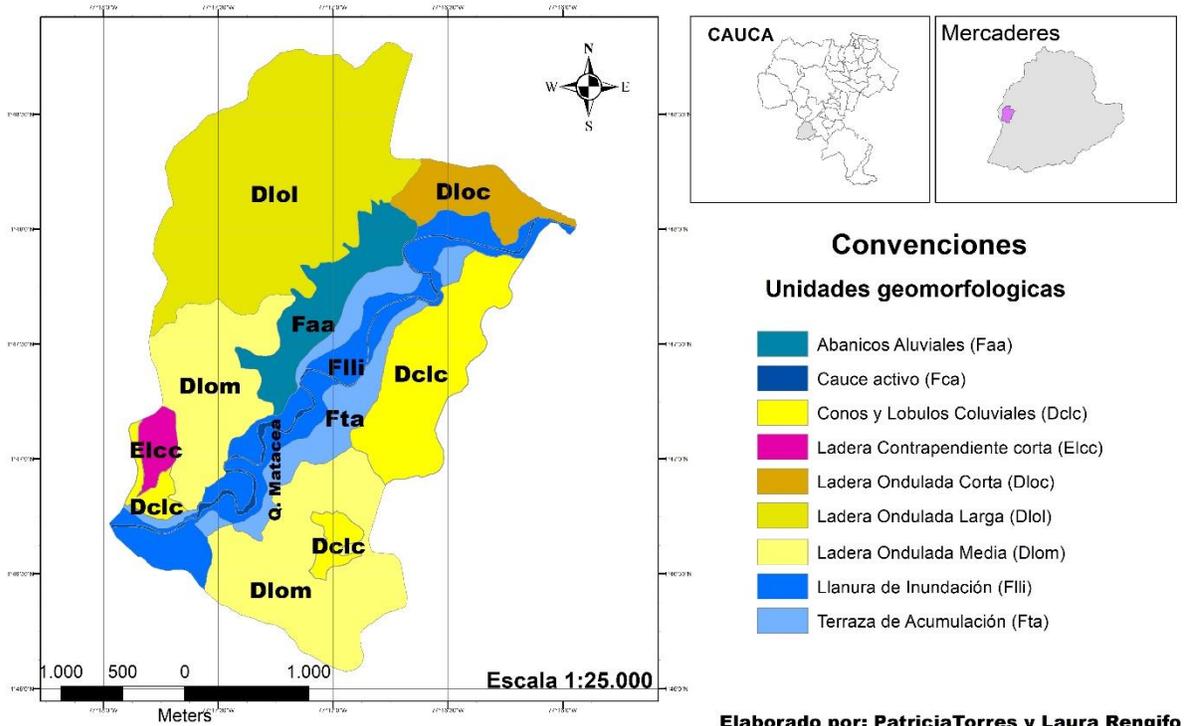


Figura 6. Mapa de unidades geomorfológicas asociadas a la cuenca baja de la quebrada Mataceca en la vereda el Vado, Mercaderes Cauca.

7.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL.

7.2.1. Ladera contrapendiente corta (Elcc):

Esta es una unidad degradacional, constituida por los contrapendientes de los estratos sedimentarios de la Formación Esmita, moldeadas sobre areniscas de grano medio a fino con cemento feldespático. Las longitudes de estas laderas son cortas de hasta 300 metros de longitud, su forma es irregular escalonada, los procesos morfodinámicos que dieron origen a esta unidad son la erosión hídrica (pluvial) y los movimientos de masa actualmente inactivos. El patrón de drenaje que caracteriza a esta unidad es rectangular y las formas de las crestas son agudas (Figura 7).

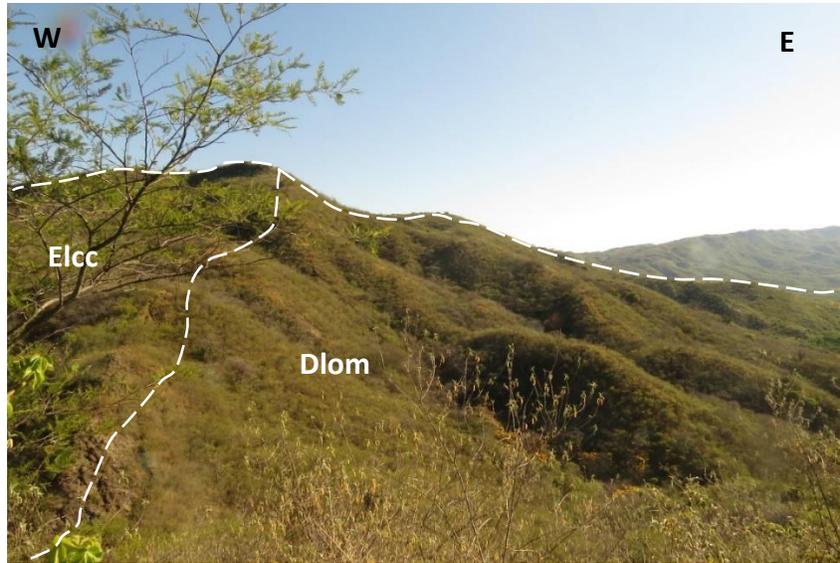


Figura 7. Hacia el W del área de trabajo se observa la unidad geomorfológica de origen estructural Elcc.

7.3. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN DENUDACIONAL.

7.3.1. Ladera ondulada corta (Dloc):

Esta es una unidad degradacional, esculpida sobre areniscas de grano fino de la Formación Esmita, con cemento feldespático. La conforman laderas cortas de hasta 300 metros de longitud, de forma convexa, formadas por erosión hídrica (Pluvial). Los procesos de meteorización y erosión presentes son en surcos y en cárcavas y presenta un patrón de drenaje subparalelo. Se caracteriza por tener un contraste de relieve bajo y una escorrentía media con pendientes inclinadas y muy inclinadas entre el 10-25% según el mapa de pendientes (Figura 5) y las formas de las crestas aguda.

7.3.2. Ladera ondulada media (Dlom):

Esta unidad geomorfológica es de origen denudacional y por lo tanto degradacional, está construida sobre areniscas de grano fino de la Formación Esmita, con cemento feldespático. La conforman unas laderas de longitud media de 400 metros de longitud, de formas cóncavas y convexas en algunos sitios escalonada. Los procesos morfodinámicos que originan esta unidad fueron la erosión hídrica (pluvial) y los movimientos de masa que, en la actualidad se

encuentran inactivos. Esta unidad se caracteriza por tener un contraste de relieve bajo de 139 metros (blando erosionable), una escorrentía media y una pendiente que va de muy inclinada a abrupta $>25\%$ (Figura 5) y un patrón de drenaje subparalelo con variaciones a rectangular y forma de las crestas agudas (Figura 7 y 8).

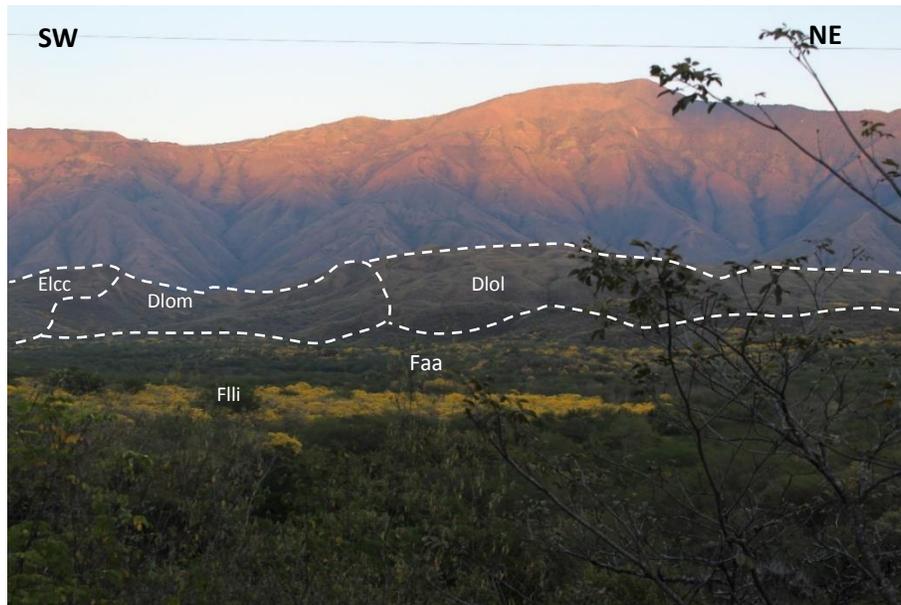


Figura 8. Ladera ondulada media (Dlom).

7.3.3. Ladera ondulada larga (Dlol):

Esta es una unidad geomorfológica derivada de procesos morfodinámicos degradacionales. Está construida sobre rocas volcánico sedimentarias de la Formación Galeón. Es una ladera de longitud larga de aproximadamente 1580 m de longitud, de forma cóncava, formadas por erosión hídrica, siendo la erosión en surcos y cárcavas la más destacada. Es notable la escorrentía que se presenta en grado medio. El contraste del relieve de esta unidad geomorfológica es bajo, el grado de inclinación de las pendientes es leve a moderado, entre 10 y 25 % (Figura 5). El patrón de drenaje es claramente dendrítico y la forma de las crestas del relieve son redondeadas (Figura 9).



Figura 9. Ladera ondulada larga (Dlol).

7.3.4. Conos y lóbulos coluviales (Dclc):

Esta es una unidad agradacional, producto de la acumulación de materiales (suelo residual y fragmentos de roca). Están labrados sobre depósitos de bloques, gravas y arenas, angulosos en matriz arenácea o arcillosa. Presentan laderas de longitud media de hasta 555 m, de forma convexa, las pendientes son leves a moderadas de 10 a 25 % de inclinación (Figura 5). Esta unidad geomorfológica se caracteriza por un contraste de relieve muy bajo, una escorrentía baja, un patrón de drenaje subparalelo, un grado de erosión moderado en cárcavas y surcos y densidad de drenaje bajo (Figura 10).



Figura 10. Conos y lóbulos coluviales (Dclc).

7.4. GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL.

7.4.1. Abanicos aluviales (Faa):

Unidad agradacional, formada por procesos de acumulación de material en el piedemonte de ambas laderas del valle bajo de la quebrada Matacea. Este material se deriva de los fenómenos erosivos, localizados en las zonas altas de los drenajes asociados que, posteriormente se depositan en las áreas bajas cuando estos drenajes cambian de grado de inclinación, permitiendo su acumulación en áreas planas con menor inclinación, en la mayoría de los casos sobre depósitos de llanuras de inundación y terrazas de origen fluvial.

Los abanicos aluviales están contruidos por depósitos de materiales de diferente tamaño (bloque y grava) en matriz arenácea. Presentan laderas, con longitudes de hasta de 400 m, con forma cóncava a ligeramente recta. Esta unidad se caracteriza por un contraste de relieve muy bajo, una escorrentía baja, una inclinación de 5-10%, una densidad de drenaje baja y un patrón de drenaje subparalelo. Además, presenta encharcamiento, en épocas de mayor pluviosidad, cuando aumenta el caudal de la quebrada Matacea y el de sus afluentes (Figura 8).

7.4.2. Terrazas de acumulación (Fta):

Unidad agradacional formada por procesos de acumulación fluvial. Está conformada por depósitos de fragmentos de tamaño grava, arena y arcilla redondeados. Se caracteriza por ser una unidad plana a ligeramente ondulada donde la pendiente oscila entre 0-5 % de inclinación (Figura 5). Las características geomorfológicas principales de esta unidad son un contraste de relieve muy bajo, escorrentía muy baja, una densidad de drenaje muy baja y un patrón de drenaje paralelo, además el grado de erosión es muy bajo. Presenta encharcamiento en época de lluvia debido a la dinámica de la quebrada Matacea en periodos invernales fuertes (Figura 11).



Figura 11. Terraza de acumulación, de origen fluvial (Fta).

7.4.3. Llanuras de inundación (Flli):

Unidad agradacional, formada por procesos de acumulación fluvial. Está constituida por depósitos de material tamaño arena muy fina y arcilla en gran proporción y material tamaño grava en menor proporción. Las llanuras de inundación son unidades con una pendiente $<2\%$ de inclinación (Figura 6). por lo cual son planas o muy levemente inclinadas por esta razón el contraste del relieve

es muy bajo, la esorrentía es muy baja, así mismo el grado de erosión es muy bajo, de igual manera la densidad de drenaje se caracteriza por ser muy baja y un patrón de drenaje paralelo. En invierno se inundan completamente (Figura 12).



Figura 12. Llanura de inundación (Flli).

7.5. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.

7.5.1. Coberturas vegetales:

Se han identificado 8 tipos de coberturas vegetales (Figura 13) para el área de estudio, su descripción se presenta a continuación:

Pastos limpios: comprende las tierras ocupadas por vegetación de gramíneas y arbustos esparcidos con un porcentaje de cubrimiento mayor de 60% de pastos.

Correlación florística: se relaciona con la presencia de especies como *Dichanthium aristatum*, *Cenchrus ciliaris*, *Sporobolus jaquemontii* y *Digitaria californica*.

Distribución: se distribuye en las UG laderas onduladas medias (Dlom) y conos y lóbulos coluviales (Dclc) y en menor proporción en las terrazas aluviales (Fta).

Usos y principales amenazas: sin uso productivo, áreas en descanso con propósito de recuperación. La principal amenaza es el cambio de uso del suelo para fines ganaderos.

Pastos arbolados: tierras cubiertas con pastos en los cuales se ha estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a 3 metros, distribuidos de forma dispersa. La cobertura de los arboles es del 30% y 70% pastos del área total de la unidad.

Correlación florística: se relaciona con la presencia de especies como: *Dichanthium aristatum*, *Cenchrus ciliaris*, *Lippia* sp. *Handroanthus* sp, *Acacia farnesiana* y *Zanthoxylum fagara*.

Distribución: se distribuye en la UG laderas onduladas largas (Dlol).

Usos y principales amenazas: sin uso productivo, áreas en descanso con propósito de recuperación. La principal amenaza es el cambio de uso del suelo para fines ganaderos.

Arbustales: comprende áreas cubiertas por vegetación arbustiva y de bajo porte, desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. La vegetación se caracteriza por tener una altura entre los 0,5 y 5 metros fuertemente ramificada y sin una copa bien definida. Representa más del 70% de la unidad.

Correlación florística: se relaciona con la presencia de especies como *Cnidoscolus urens*, *Opuntia pittieri*, *Abutilon ibarrense*, *Zanthoxylum fagara*, *Acalypha macrostachya*, *Solanum agrarium*, *Senna palida*, *Ricinus communis* y *Bastardia viscosa*.

Distribución: se distribuye en las UG laderas onduladas medias (Dlom) y terrazas aluviales (Fta).

Usos y principales amenazas: sin uso productivo, áreas en descanso con propósito de recuperación. Principal amenaza: deforestación.

Bosque abierto: comprende la vegetación dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un dosel discontinuo, con

una altura superior a 5 m y cuya área de cobertura arbórea representa entre el 30% y 50% del área total de la unidad.

Correlación florística: se relaciona con la presencia de especies como *Handroanthus* sp, *Acacia farnesiana*, *Opuntia pubescens*, *Jatropha gossypifolia*, *Abutilon ibarrense*, *Calliandra* cf. *pittierii*, *Lantana haughtii*, *Opuntia pittieri* y *Zanthoxylum fagara*.

Distribución: se distribuye en las UG laderas onduladas cortas (Dloc) y conos y lóbulos coluviales (Dclc).

Usos y principales amenazas: sin uso productivo, áreas en descanso con propósito de recuperación. Principal amenaza: deforestación y ganadería.

Bosque denso: comprende la vegetación por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad y que en promedio representan una altura del dosel superior a los 15 metros.

Correlación florística: se relaciona con la presencia de especies como *Pithecellobium lanceolatum*, *Guazuma ulmifolia*, *Citharexylum* cf. *kunthianum*, *Caesalpinia cassioides*, *Acacia farnesiana*, *Gliricidia sepium*, *Ricinus communis*, *Albizia saman*, *Pisonia aculeata*, *Capsicum rhomboideum*, *Zanthoxylum fagara* y *Trichostigma octandrum*.

Distribución: se distribuye en las UG terrazas aluviales (Fta) y abanicos aluviales (Faa).

Usos y principales amenazas: Sin uso productivo, áreas en descanso con propósito de recuperación. Principal amenaza: deforestación y ganadería.

Bosque ripario: cobertura constituida por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos o agua permanentes o temporales, este tipo de cobertura está limitado por su amplitud ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Amplitud no mayor a 20 metros.

Correlación florística: se relaciona con la presencia de especies como: *Abutilon ibarrense*, *Acacia farnesiana*, *Guazuma ulmifolia*, *Senna pallida*, *Pithecellobium lanceolatum*, *Caesalpinia cassioides*.

Distribución: se distribuye en las UG laderas onduladas largas (Dlol), laderas onduladas cortas (Dloc), conos y lóbulos coluviales (Dclc) y abanicos aluviales (Faa).

Usos y principales amenazas: sin uso productivo. La principal amenaza es el cambio de uso del suelo para fines económicos como ganadería y agricultura.

Zonas arenosas naturales: son terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, generalmente cubierto por una vegetación de arbustal ralo y bajo. Se encuentran conformando playas litorales, playas de ríos y banco de arenas de los ríos. La cobertura de la vegetación es del 30% y 40% del total de la unidad y la altura del estrato arbustivo no mayor a 7 metros.

Correlación florística: se relaciona con la presencia de especies como: *Tessaria integrifolia*, *Senna reticulata*, *Cyperus luzulae*, *Sporobolus jaquemontii*, *Sarcostemma clausum*, *Momordica charantia* y *Scoparia dulcis*.

Distribución: se distribuye en la UG llanura de inundación (Flli).

Usos y principales amenazas: sin uso productivo, áreas en descanso con propósito de recuperación. La principal amenaza es extracción de material para construcción y extracción de hidrocarburos de la quebrada Matacea.

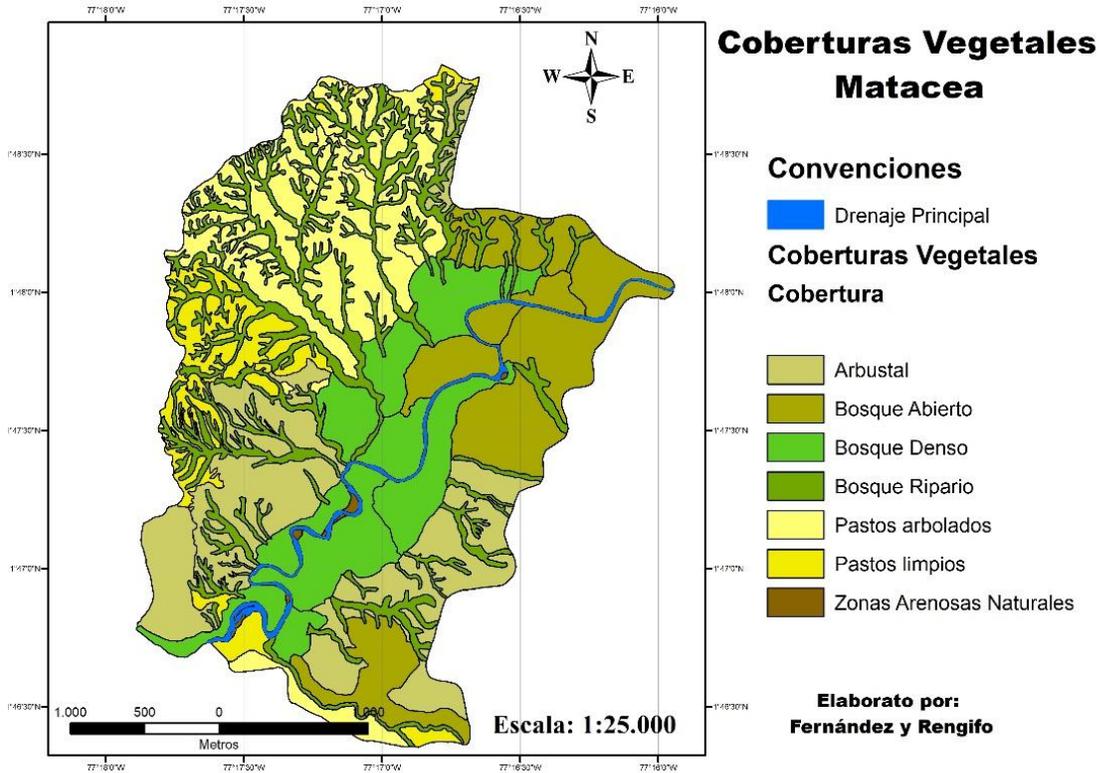


Figura 13. Mapa de coberturas vegetales del bosque seco de la quebrada Matacea.

7.5.2. Composición de especies:

En las 18 parcelas de muestreo de vegetación realizadas en las unidades geomorfológicas se encontró un total de 88 especies distribuidas en 69 géneros y 36 familias botánicas de plantas vasculares presentes en los diferentes estratos (Rango de colección herbario CAUP 155-233 - L. M. Rengifo). Las familias con mayor número de especies fueron Fabaceae, Malvaceae, Euphorbiaceae, Solanaceae y Verbenaceae (Figura 14).

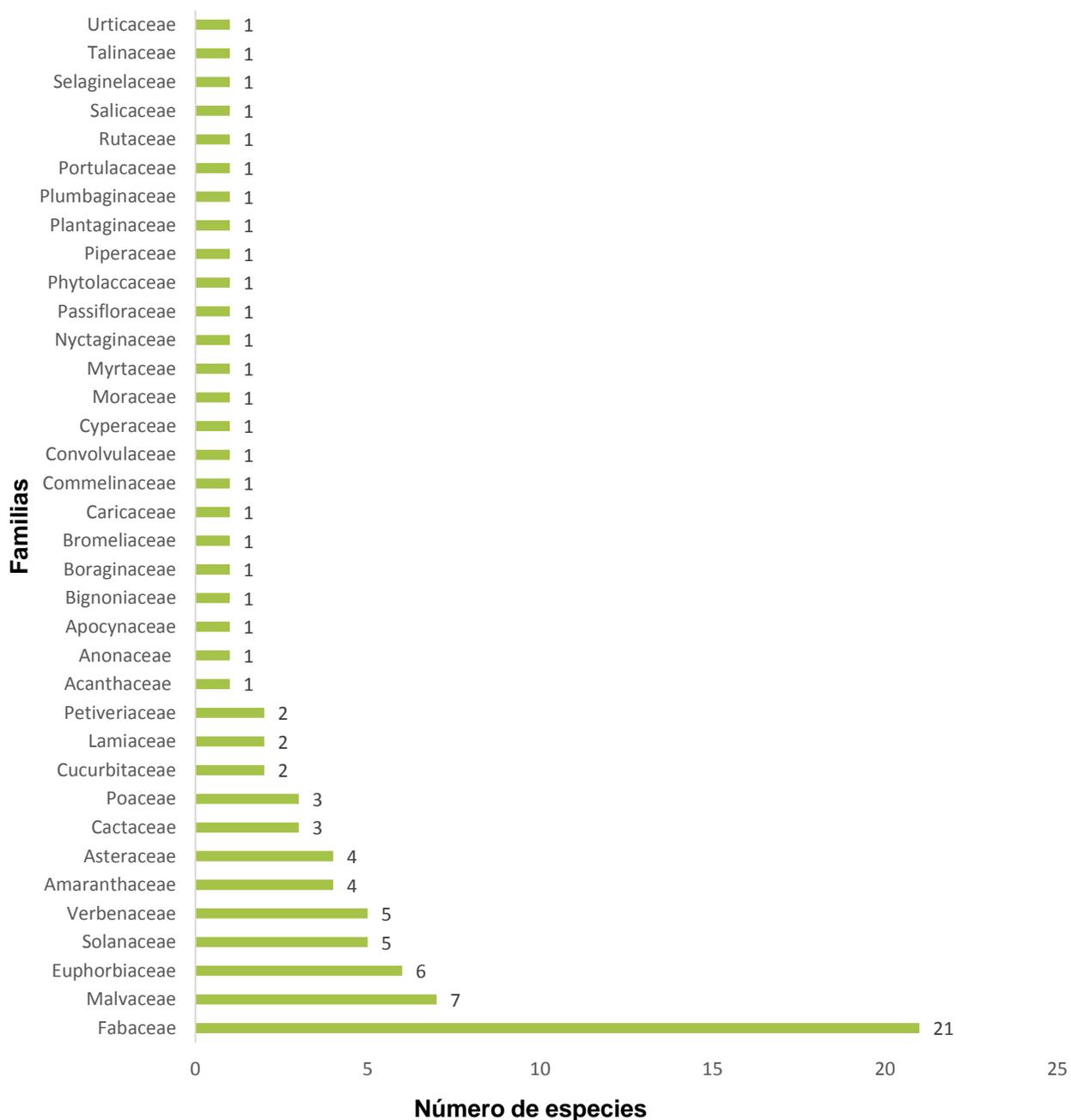


Figura 14. Representatividad de familias botánicas en la cuenca baja de la quebrada Matacea.

Tabla 2. Composición taxonómica de especies de plantas vasculares presentes en las unidades geomorfológicas para el área de estudio.

Especies	Unidades geomorfológicas							Ejemplar de referencia Herbario (CAUP) L. M. Rengifo
	Faa	Dclc	Dloc	Dlol	Dlom	Flli	Fta	
Parcelas	P6, P7, P8	P5, P17, P14, P15	P12, P13	P10, P11	P3, P16, P18	P1, P2	P9, P4	
<i>Achyranthes aspera</i>				x				231
<i>Ipomoea rubens</i>		x						227
<i>Zanthoxylum fagara</i>	x	x	x		x		x	*
<i>Abutilon ibarrense</i>	x	x	x	x	x		x	180
<i>Acacia farnesiana</i>	x	x	x	x	x	x	x	157
<i>Acacia sp.</i>					x	x		160
<i>Acalypha macrostachya</i>		x			x			204
<i>Acalypha schiedeana</i>							x	185
<i>Albizia saman</i>							x	200
<i>Amaranthus spinosus</i>							x	189
<i>Annona muricata</i>	x							195
<i>Aphelandra cf. glabrata</i>	x							197
<i>Bastardia viscosa</i>		x			x			213
<i>Bromelia pinguin</i>		x						*
<i>Caesalpinia cassioides</i>							x	*
<i>Calliandra cf. pittierii</i>		x					x	188
<i>Calliandra sp.</i>	x							*
<i>Capsicum rhomboideum</i>					x		x	179
<i>Carica papaya</i>					x	x		177
<i>Celosia virgata</i>		x					x	183
<i>Cenchrus ciliaris</i>		x		x				215
<i>Chaetocalix scandens</i>							x	184
<i>Citharexylum cf. kunthianum</i>							x	209
<i>Cnidoscolus urens</i>	x	x			x		x	182
<i>Commelina diffusa</i>		x						214
<i>Croton ferrugineus</i>						x		163
<i>Cucumis dipsaceus</i>					x			194
<i>Cyanthillium cinereum</i>							x	198
<i>Cyperus luzulae</i>						x		168
<i>Desmodium tortuosum</i>						x		161
<i>Dichanthium aristatum</i>	x	x		x	x		x	222
<i>Digitaria californica</i>		x						212
<i>Ficus sp.</i>	x							*
<i>Galactia latisiliqua</i>		x						211
<i>Galactia striata</i>				x				220
<i>Gliricidia sepium</i>					x		x	201
<i>Guazuma ulmifolia</i>	x				x		x	191

<i>Handroanthus</i> sp	x	x	x	x	x			199
<i>Jatropha gossypifolia</i>	x	x					x	225
<i>Lantana haughtii</i>		x						228
<i>Laportea aestuans</i>						x		171
<i>Leonitis nepetifolia</i>						x		223
<i>Leucaena leucocephala</i>					x	x		158
<i>Lippia organoides</i>		x						218
<i>Lippia</i> sp.				x				224
<i>Malpighia glabra</i>								229
<i>Melochia mollis</i>						x		175
<i>Momordica charantia</i>						x		174
<i>Mimosa albida</i>						x		166
<i>Mimosa pudica</i>						x		159
<i>Mimosa</i> sp.						x		167
<i>Mucuna pruriens</i>							x	187
<i>Ocimum campechianum</i>						x		162
<i>Opuntia pittieri</i>	x	x			x			202
<i>Opuntia pubescens</i>		x						203
<i>Parthenium hysterophorus</i>							x	190
<i>Petiveria alliacea</i>							x	206
<i>Piper</i> cf. <i>amalago</i>	x							196
<i>Pisonia aculeata</i>							x	181
<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	x						x	208
<i>Plumbago scandens</i>							x	210
<i>Portulaca pilosa</i>					x			192
<i>Ricinus communis</i>					x		x	178
<i>Rivina humilis</i>	x						x	207
<i>Sarcostemma clausum</i>						x		170
<i>Scoparia dulcis</i>						x		164
<i>Selaginella sellowii</i>		x						232
<i>Senna pallida</i>	x	x			x			216
<i>Senna reticulata</i>						x		155
<i>Sida rhombifolia</i>		x				x		165
<i>Sida</i> sp.							x	226
<i>Simsia fruticulosa</i>						x		172
sp1 (Salicaceae)			x		x			176
<i>Cereus hexagonus</i>		x	x					*
sp2 (Malvaceae)							x	230
sp3 (Myrtaceae)		x						*
<i>Solanum agrarium</i>					x			193
<i>Solanum</i> cf. <i>nigrum</i>							x	*

<i>Solanum crinitum</i>				x	233
<i>Solanum rudepannum</i>				x	186
<i>Sporobolus jaquemontii</i>				x	169
<i>Talinum fruticosum</i>	x		x		217
<i>Tessaria integrifolia</i>				x	156
<i>Trichostigma octandrum</i>				x	205
<i>Turnera ulmifolia</i>				x	219
<i>Wigandia urens</i>				x	173

Las especies que aparecen con (*) fueron especies que se colectaron infértiles, por lo tanto, no ingresaron a la colección de referencia del herbario de la Universidad del Cauca.

7.5.3. Estimación de la diversidad basada en rarefacción/extrapolación:

Se observa que las unidades geomorfológicas Dloc (Laderas onduladas cortas) y Dlol (Laderas onduladas largas) alcanzan con muy pocas especies el 100% de cobertura de la muestra. Mientras que la unidad geomorfológica Fta (Terrazas aluviales) alcanza una asíntota con 33 especies observadas equivalente al 98% de la cobertura de la muestra en esta unidad geomorfológica (Figura 15) (Tabla 3).

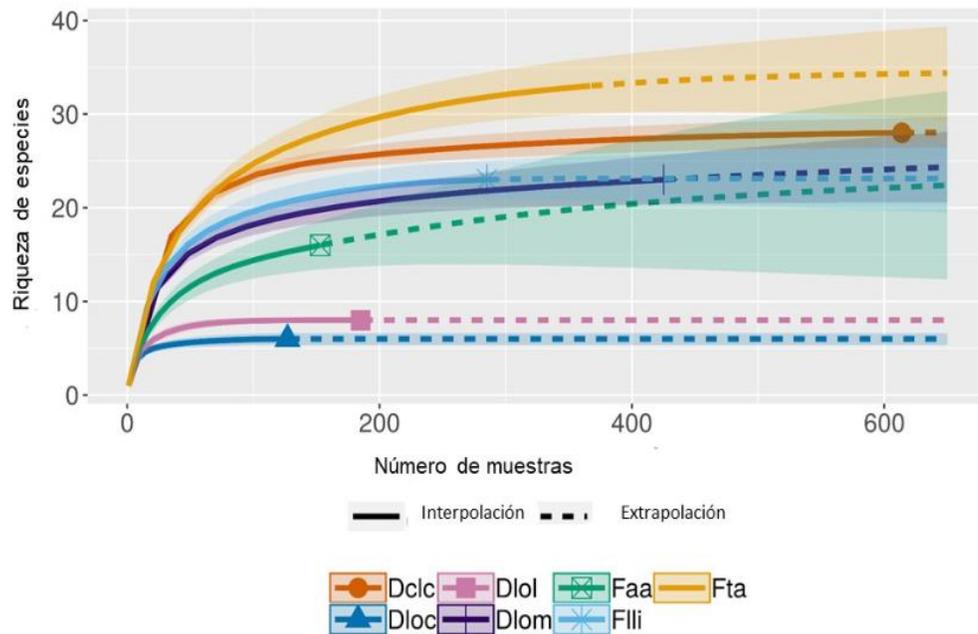


Figura 15. Curvas de rarefacción (línea sólida) y extrapolación (línea punteada) basada en el tamaño de muestra para la riqueza de especies de plantas. Zona sombreada representa los intervalos de confianza (95%) con el método de bootstrap en 600 repeticiones.

Tabla 3. Valores de interpolación-rarefacción (especies observadas) y extrapolación (especies esperadas) en las unidades de muestreo obtenido con iNEXT (Chao, 2014).

Unidad geomorfológica	Valor observado Rarefacción	Cobertura de la muestra	Valor esperado Extrapolación
Faa	16	95%	22
Dclc	28	99%	28
Dloc	6	100%	6
Dlol	8	100%	8
Dlom	23	99%	24
Flli	23	99%	23
Fta	33	98%	34

Según el resultado de la cobertura de la muestra para las unidades geomorfológicas se observa que los valores mínimos de cobertura son del 95% para los abanicos aluviales (Faa) con 16 especies observadas esperando encontrar un total de 22 especies para un 99% de cobertura. Seguido las terrazas aluviales (Fta) con un 98% con 33 especies observadas esperando encontrar 35 especies para un 99% de cobertura de muestra para las terrazas (Tabla 3). En general, se observa un promedio de 98.5% de la riqueza de especies de plantas vasculares de la parte baja de la quebrada Matacea.

7.5.4. Similitud de especies entre unidades geomorfológicas:

El análisis de similitud de Jaccard evidencia el agrupamiento de las unidades geomorfológicas en tres grupos principalmente con base en la composición de especies de plantas vasculares (Figura 16).

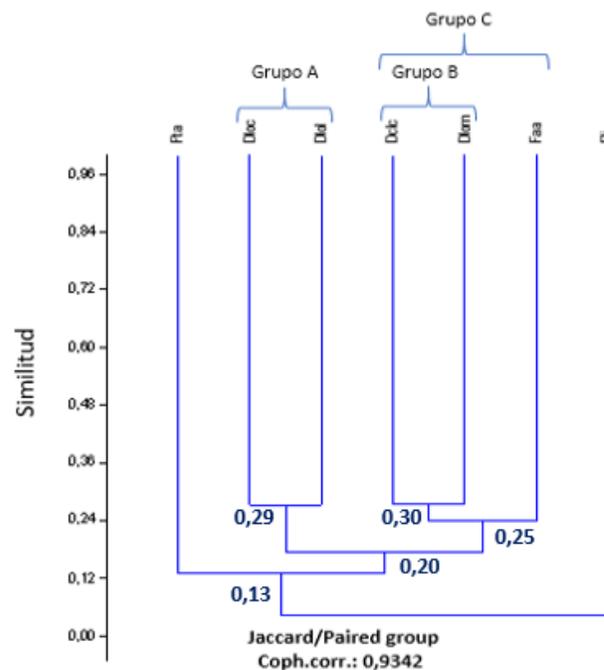


Figura 16. Dendrograma de similitud basado en el coeficiente de Jaccard.

El análisis de Jaccard con base a la composición de especies en las unidades geomorfológicas refleja una alta diversidad beta en la zona de estudio; debido a su baja similitud. De esta manera demuestra que muchas de las especies registradas

están asociadas a una UG en particular. En la figura 16 se observa la relación de algunas UG en cuanto a la composición de especies; representados en tres grupos: el grupo A conformado por las unidades Dloc y Dlol, el grupo B conformado por las unidades Dclc y Dlom y finalmente el grupo C que incluye las UG del grupo B más la UG Faa. Sin embargo, los valores de similitud entre grupos son bajos siendo el mayor valor 0,30 para el grupo B indicando que, aunque existe similitud entre sí por compartir algunas especies, siguen siendo grupos muy diferentes respecto a la composición vegetal total.

7.5.5. Estructura de la vegetación:

En las 18 parcelas establecidas para el muestreo se evaluaron 594 individuos pertenecientes a 29 especies distribuidas en 17 familias botánicas.

La estructura del bosque seco de la quebrada Matacea muestra a *Handroanthus* sp, como la especie con mayor abundancia seguida de *Opuntia pittieri*. Los individuos de estas especies tienen en su mayoría un DAP $\geq 12,01$ cm, aunque algunos individuos superan los 40 cm; representando un bosque multiestratificado en estado sucesional secundario. Según el DAP establecido se identificaron 2 estratos: arbustivo y arbóreo. El estrato arbustivo de 1,5 a 4 m de altura siendo las especies más dominantes en este estrato *Opuntia pittieri*, *Zanthoxylum fagara* y *Tessaria integrifolia*. El estrato arbóreo estuvo representando por plantas entre los 4 y 40 m de altura con una buena representación de especies arbóreas de alto porte donde sobresalen por su abundancia a *Handroanthus* sp y *Guazuma ulmifolia*.

Las especies que presentaron mayor índice de valor de importancia (IVI) por unidad geomorfológica fueron *Handroanthus* sp, *Tessaria integrifolia*, *Opuntia pittieri* y *Guazuma ulmifolia* (Figura 17).

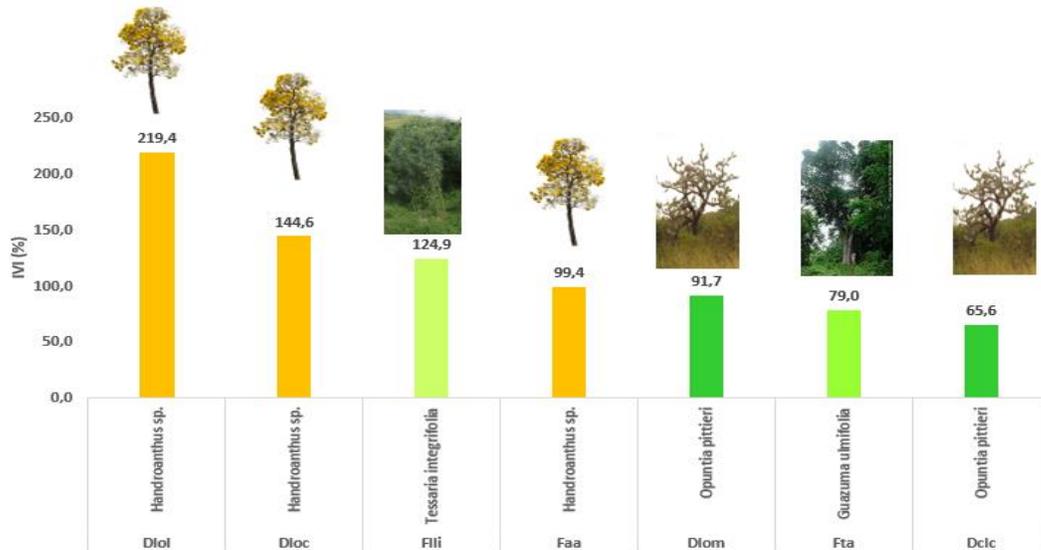


Figura 17. Cuantificación del valor de importancia de las especies (IVI) por unidad geomorfológica.

Las UG Dlol, Dloc y Faa comparten a *Handroanthus* sp como la especie con mayor valor de importancia, igualmente Dlom y Dclc comparten a *Opuntia pittieri* como la especie con los índices de valor de importancia más altos para dichas unidades. *Tessaria integrifolia* y *Guazuma ulmifolia* no comparten valores altos entre unidades geomorfológicas, pero son las especies con el mayor valor de importancia para las UG Flli y Fta respectivamente.

Estratificación de la vegetación: De acuerdo a la estratificación propuesta por Rangel y Lozano (1986) en el perfil de vegetación se distribuyen 10 familias en el estrato arbustivo y 8 familias en estrato arbóreo con 22 y 10 especies respectivamente. Es notable el decrecimiento del número de individuos a medida que la altura total incrementa, por lo tanto, el estrato arbustivo fue el más representativo (Figura 18). Es importante mencionar que los perfiles de vegetación que se presentan a continuación solo representan una parcela por unidad geomorfológica que fue escogida aleatoriamente, por tanto, se observará que no están representadas el total de especies que fueron evaluadas estructuralmente.

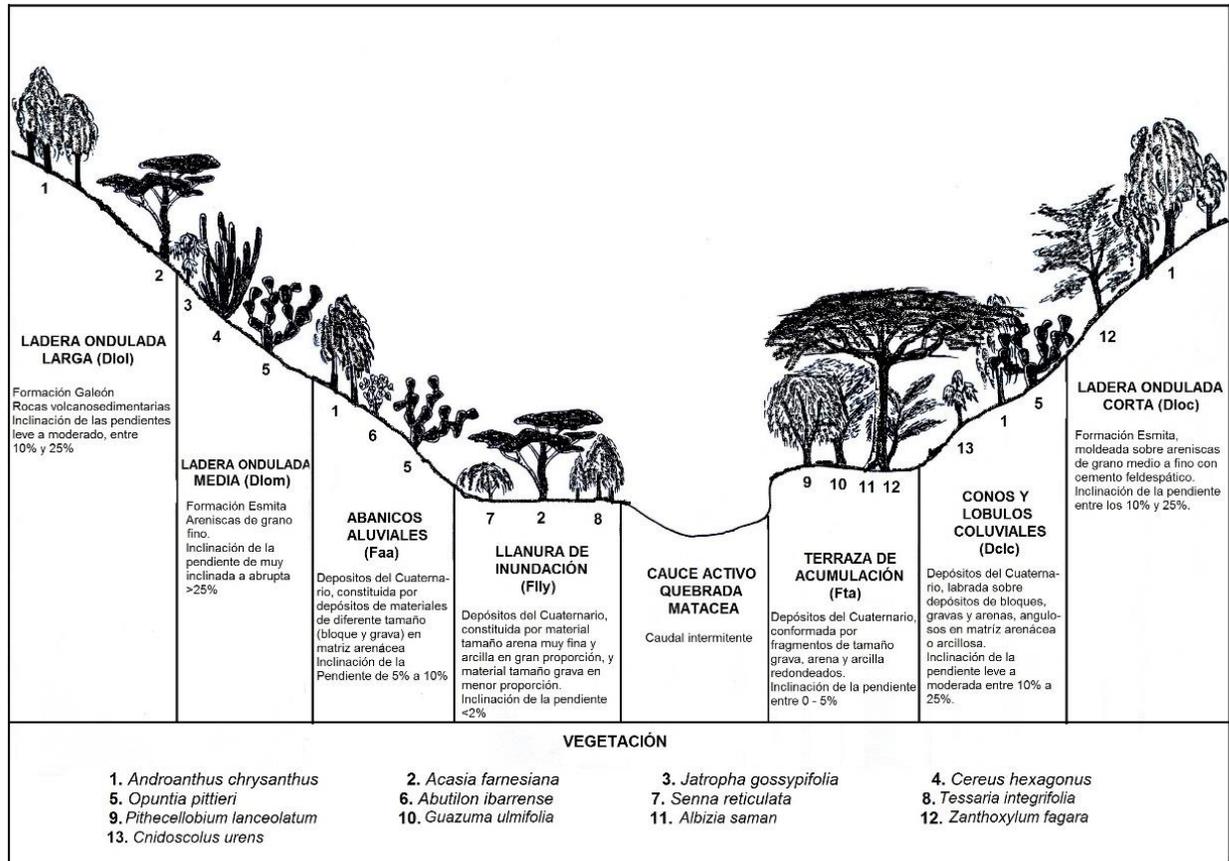


Figura 18. Perfil idealizado de la vegetación de la quebrada Matacea.

El perfil horizontal y/o estratificación horizontal es la distribución de las especies en el espacio independientemente de su altura, a continuación, se presentan las unidades geomorfológicas y sus respectivos perfiles horizontales en el área de estudio:

La UG ladera ondulada corta (Dloc) presenta al guayacán amarillo (*Handroanthus* sp.) como la especie más dominante, seguida de *Acacia farnesiana*. Además, podemos concluir que es una UG caracterizada por un bosque seco abierto con muchos claros de bosque y pocas especies en cuanto a diversidad se refiere. La matriz que rodea a las especies corresponde a pastos y herbáceas en algunas áreas solo tierra erosionada atribuido a la pendiente que caracteriza a dicha unidad según la estratificación horizontal (Figura 19).

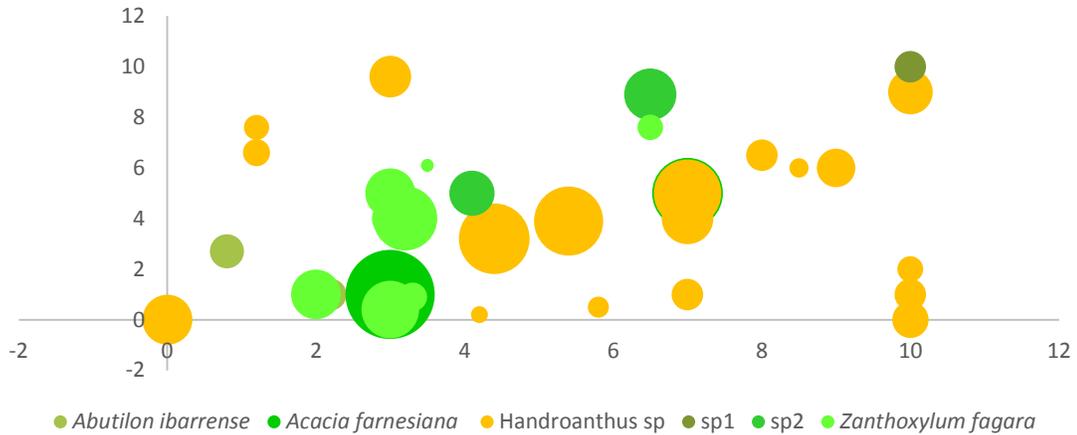


Figura 19. Estratificación horizontal Ladera ondulada corta (Dloc).

La UG laderas onduladas medias (Dlom), presenta especies en su mayoría de estratos arbustivos, aunque hay presencia de guayacanes amarillos, estos se encontraban en estrato arbustivo en estado de crecimiento. Esta UG se caracterizó por estar dominada por especies de pequeño porte (arbustos) en gran medida debido a las condiciones geomorfológicas (altas pendientes) que dominan la unidad según la estratificación horizontal de la UG (Dlom) (Figura 20).

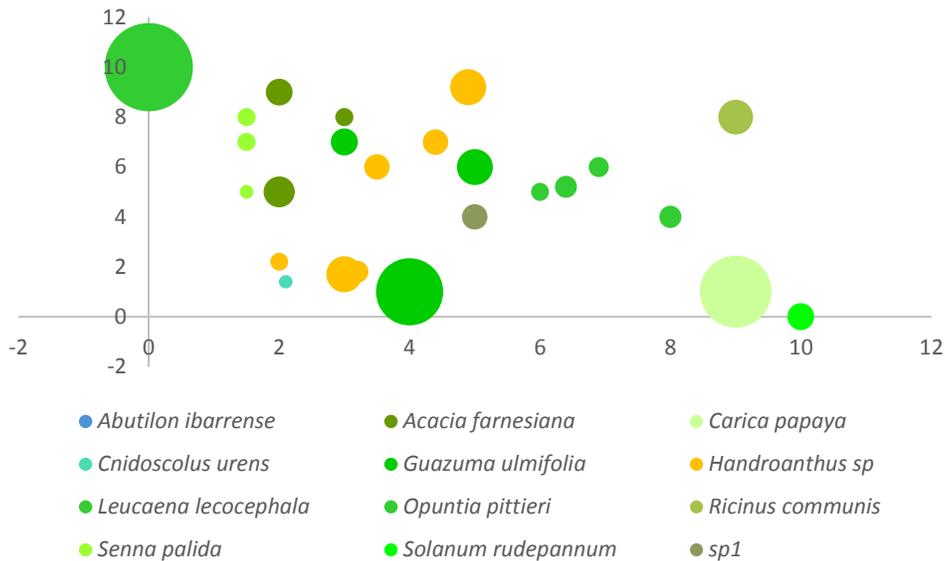


Figura 20. Estratificación horizontal Laderas onduladas medias (Dlom).

La unidad ladera ondulada larga (Dlol) está representada solamente por dos especies estructuralmente, que corresponden a *Handroanthus* sp y *Acacia farnesiana*, mostrando muy poca diversidad de especies en esta unidad. La especie dominante fue *Handroanthus* sp. (Figura 21). La matriz que rodea a las especies presentes es una matriz de pastizal que actualmente se encuentra sin uso productivo según la estratificación horizontal de la UG (Dlol).

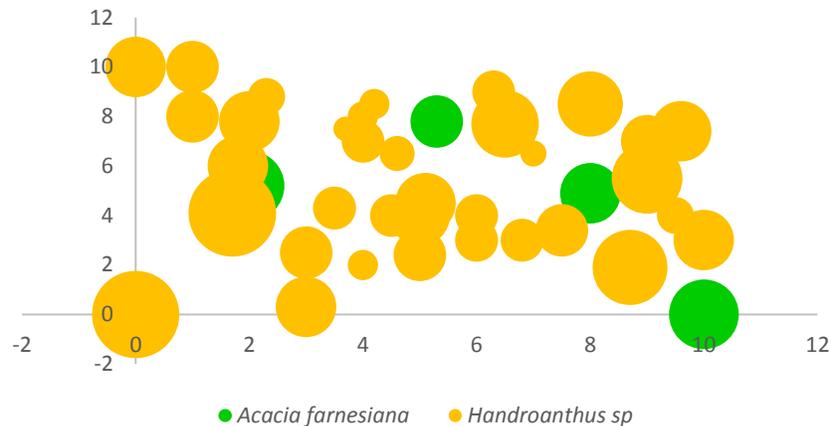


Figura 21. Estratificación horizontal Ladera Ondulada larga (Dlol).

La UG conos y lóbulos coluviales (Dlc) se caracteriza estructuralmente por la presencia de especies arbustivas como *Zanthoxylum fagara*, *Opuntia pittieri*, *Cnidoscolus urens* y por especies arbóreas como *Handroanthus* sp, que se encontró en dos estratos arbóreo y arbustivo, siendo esta especie la única representante del estrato arbóreo; las demás especies pertenecían al estrato arbustivo siendo el estrato dominante en esta unidad. La matriz que rodea las especies evaluadas en esta unidad es una matriz de pastizal y especies pioneras que reflejan una regeneración natural, que actualmente se encuentra sin uso económico (Figura 22).

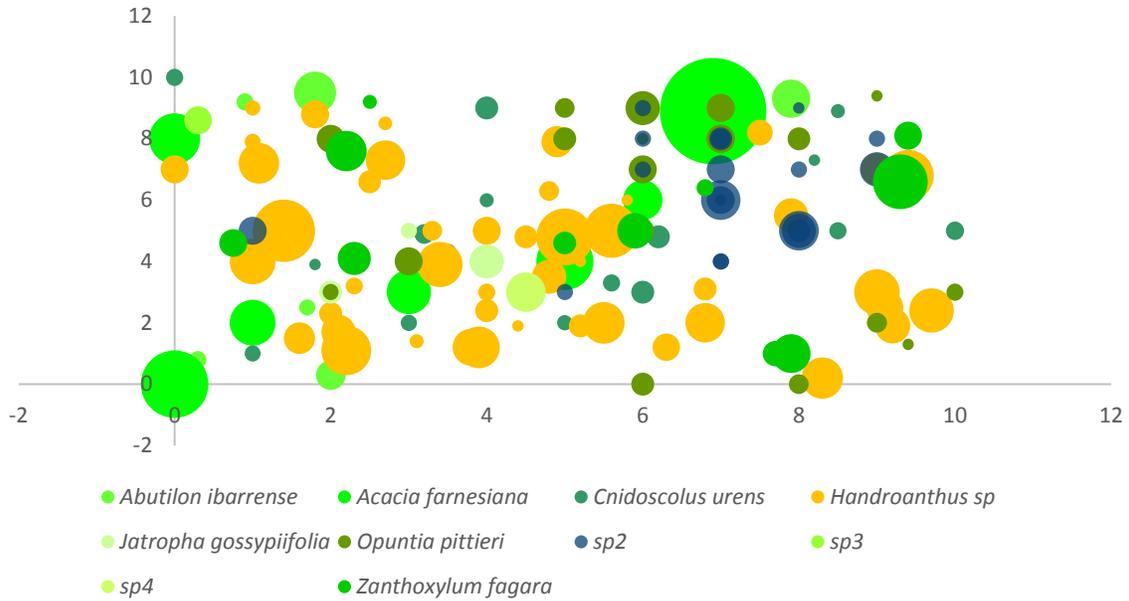


Figura 22. Estratificación horizontal Conos y lóbulos coluviales (Dclc).

Estructuralmente la unidad de abanicos aluviales (Faa) presentó a *Handroanthus* sp como la especie más abundante, seguido de *Abutilon ibarrense* y *Acacia farnesiana*. Se observa en la figura 23, claros de bosque que están representados en su mayor parte por pastos y abundantes guayacanes amarillos (*Handroanthus* sp, en estado de desarrollo).

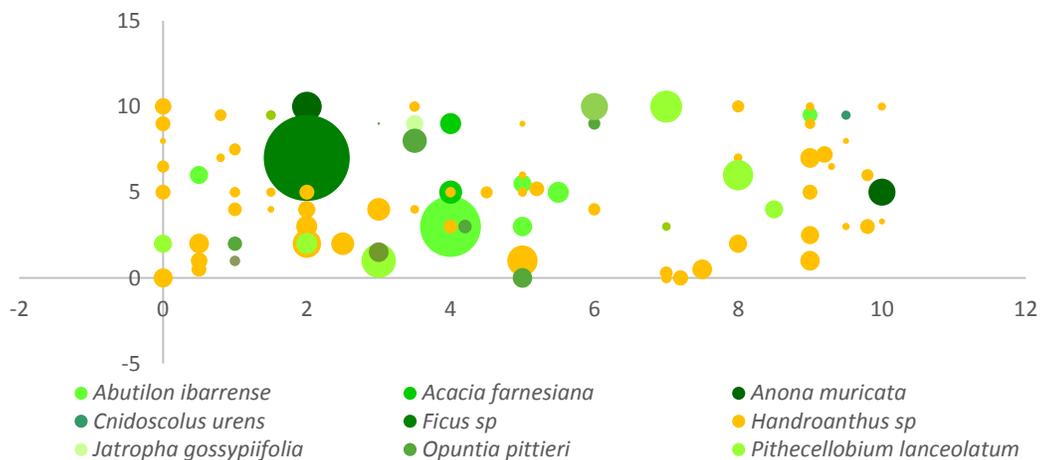


Figura 23. Estratificación horizontal abanicos aluviales (Faa).

En la figura 24 se representa el perfil horizontal de la UG terrazas aluviales, se observa la presencia de especies de alto porte como *Albizia saman* (Samán), siendo la única UG donde se presenta esta especie. Las especies más abundantes fueron *Acacia farnesiana*, *Guazuma ulmifolia* y *Phitecellobium lanceolatum*. En general esta unidad se caracterizó por la presencia de especies arbóreas y en menor cantidad especies arbustivas. Hubo poca presencia de claros de bosque en esta unidad por cual se definió dentro de la categoría de bosque seco denso; el estado de sucesión de la vegetación se catalogó como avanzado con una buena representación de especies vegetales.

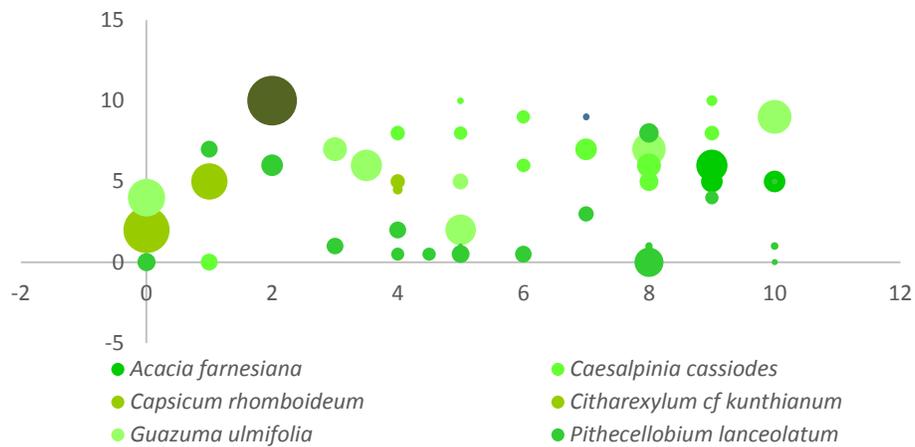


Figura 24. Estratificación horizontal Terrazas aluviales (Fta).

La figura 25 corresponde al perfil horizontal de la UG llanura de inundación, se observa que se encuentra dominada por especies arbustivas sin presencia de árboles, además es visible una matriz que rodea a las especies que corresponde a arenas de grano fino, dadas las características aluviales de la unidad que no permiten el establecimiento de árboles de alto porte.

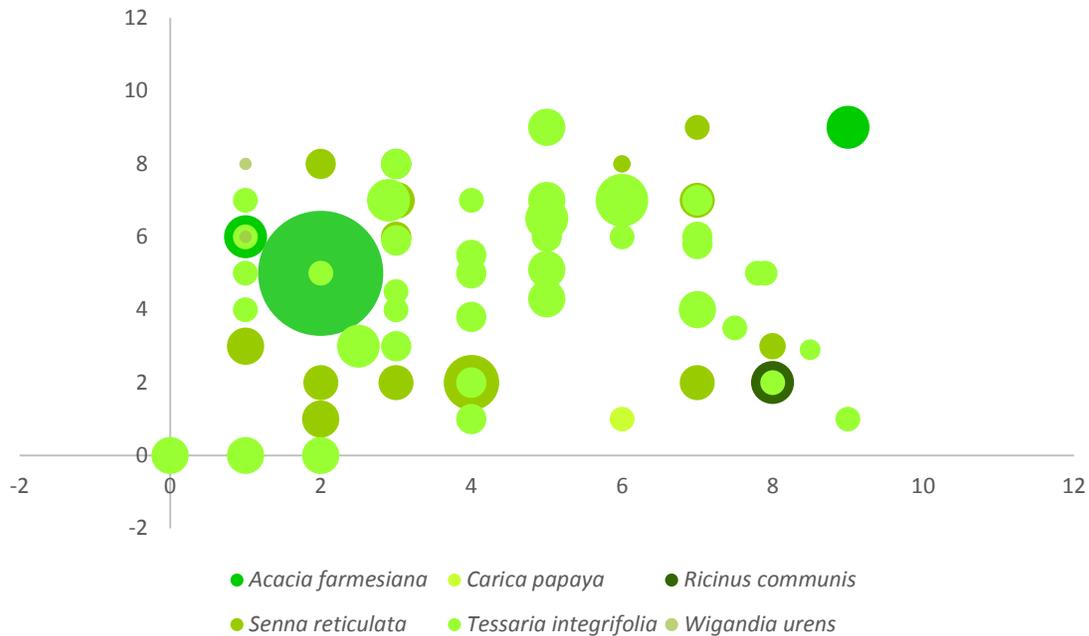


Figura 25. Estratificación horizontal llanura de inundación (Flli).

7.6. USO DE LA TIERRA

Actualmente el bosque seco de la quebrada Matacea es un bosque que se encuentra en recuperación; desde hace aproximadamente 10 años es un área sin intervención antrópica como la ganadería y/o agricultura. Sin embargo, si presenta grandes amenazas a futuro como: las solicitudes para extracción de hidrocarburos en la quebrada Matacea y, que los predios cuya extensión en área abarcan las 1200 ha pueden ser vendidas o usadas con fines productivos, lo cual perturbaría el proceso de recuperación y estabilización del bosque, alterando la dinámica y los servicios ecosistémicos que provee.

7.7. RELACIONES VEGETACIÓN – GEOMORFOLOGÍA

Los resultados del análisis de correspondencia entre las parcelas de vegetación y las variables ambientales seleccionadas permiten diferenciar 4 grupos de parcelas asociadas a unas determinadas variables ambientales (Figura 26). Las parcelas P1 P2, P4 y P9 están más influenciadas por las variables geomorfológicas erosión y pendiente; las parcelas P8, P7, P6, P17, P5, P15 y P14 están influenciadas por

las variables erosión, altitud y patrón de drenaje, las parcelas P12, P16, P13 y P18 están influenciadas por las variables patrón de drenaje y escorrentía. Las parcelas P10 y P11 se encuentran muy alejadas de las demás, pero la variable geomorfológica que más influye sobre ellas es la escorrentía.

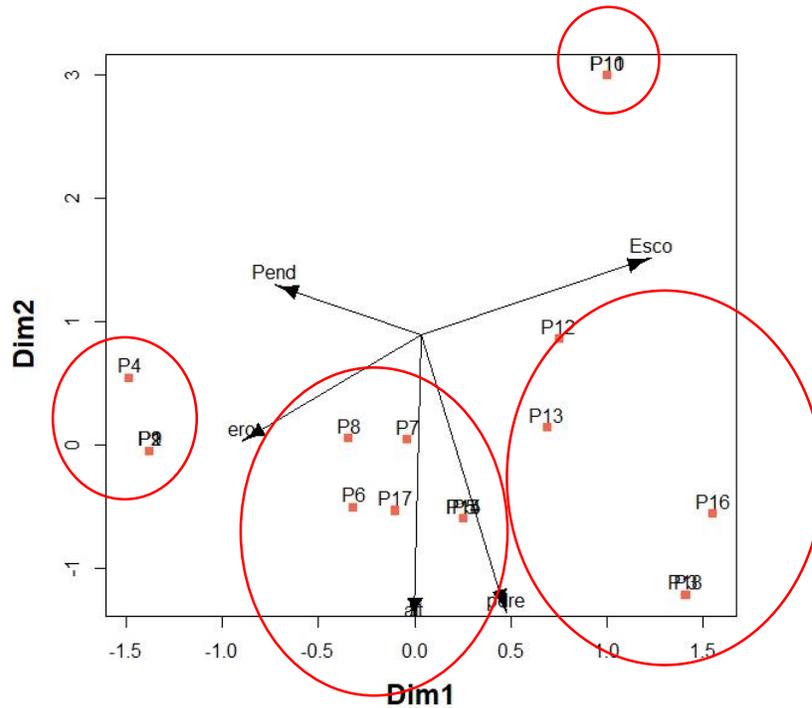


Figura 26. Análisis de correspondencias que relaciona las variables ambientales de las UG con las parcelas de vegetación.

En la Figura 27 se presentan los resultados de un dendrograma resultado de un análisis de corespondencia que permite agrupar las parcelas en cluster según las variables que mas influencia tengan sobre las parcelas de vegetación; se visualizan 4 cluster con sus respectivas parcelas. Es importante resaltar que los cluster que se han formado a partir de las parcelas coinciden con unidades geomorfológicas, es decir, el cluster 3 esta formado por las parcelas de la UG laderas onduladas medias (Dlom); el cluster 2 esta formado por las parcelas que conforman las UG laderas onduladas largas (Dlol) y laderas onduladas cortas (Dloc); el cluster 4 esta formado por las parcelas de las UG terrazas aluviales (Fta) y llanura de inundación (Flli); finalmente el cluster 1 esta formado por las parcelas

de las UG abanicos aluviales (Faa) y conos y lobulos coluviales (Dclc), explicando que ciertas UG comparten variables que explican la distribución de las especies vegetales en ellas.

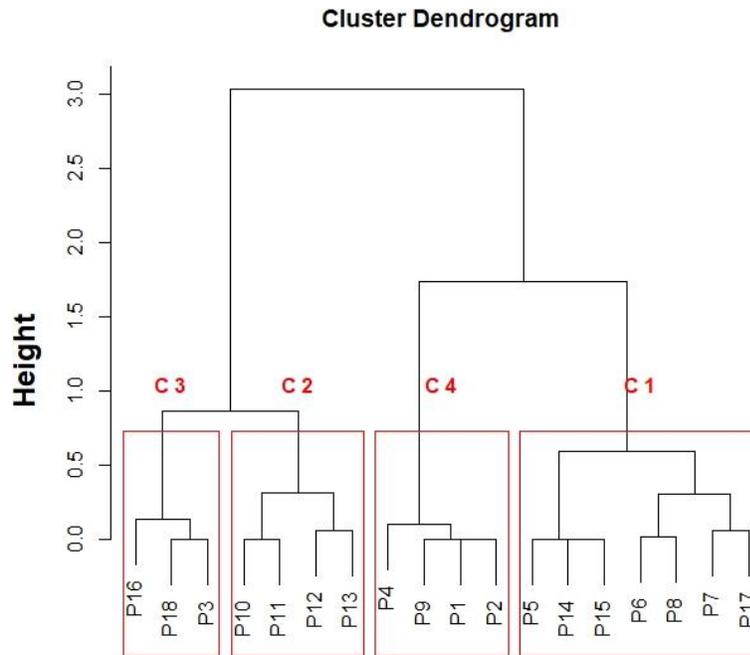


Figura 27. Dendrograma de un análisis de correspondencia realizado en el programa estadístico Rwizard versión 4.3. Test de U Mann-Whitney entre las parcelas de vegetación muestreadas en las UG y las variables ambientales.

La Figura 28 reconoce si existen diferencias significativas en las variables entre los clústeres establecidos en la figura 27. Es importante mencionar que para que cada clúster sea distinto tiene que tener al menos una variable diferente. Se observa que la variable escorrentía no tiene variabilidad en ninguno de los clúster, por tanto, es una variable determinante en la distribución de la vegetación, al igual que la variable pendiente, cuyos valores presentan variabilidad solo en el clúster 1, de manera que al igual que la escorrentía son variables muy explicativas de la vegetación presente en ciertas parcelas dentro de las UG; por el contrario la variable altitud cambia en casi todos los clúster excepto en el 1, donde la variabilidad es casi nula, lo que quiere decir que aunque tiene mucho peso en el

clúster 1, no es muy explicativa para la distribución de la vegetación en las parcelas de los clúster 2, 3 y 4.

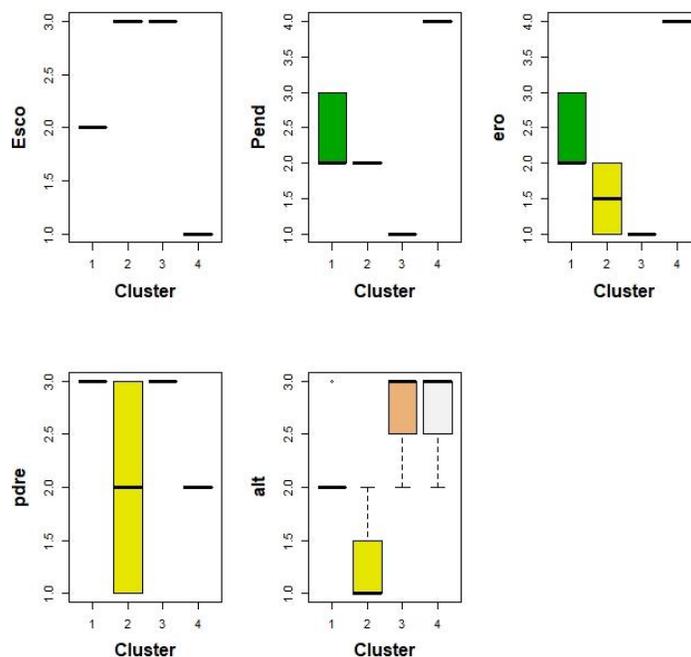


Figura 28. Boxplot obtenido para cada una de las variables con valores promedios para cada clúster.

8. DISCUSIÓN

8.1. REPRESENTATIVIDAD DE ESPECIES VEGETALES EN LAS UG

Las curvas de rarefacción y extrapolación que permiten observar la representatividad del muestreo en función de la cobertura de la muestra según lo propuesto por (Chao y Jost, 2014) tienen un 98% de representatividad de especies, pero es importante resaltar, que unas unidades de muestreo fueron más o menos diversas que otras (Figura 15). Las UG (Dloc) y (Dlol) se diferencian de las demás, en que con muy pocas especies alcanzaron el total de muestras (Tabla 3). Esto es debido a que las UG (Dlol) y (Dloc) fueron terrenos usados para ganadería años atrás y, por tanto, hubo un mayor impacto de deforestación y erosión de la tierra y como lo confirma (Mora *et al.*, 2017) los suelos expuestos a

la ganadería tienden a tener repercusión sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos afectando el establecimiento de especies vegetales, ya que los procesos erosivos generados por el impacto ganadero de pisoteo entre otros, afecta la fertilidad y crecimiento de especies FAO (2006). Además, estas unidades son de origen denudacional, presentan pendientes inclinadas a muy inclinadas (10-25%) y la escorrentía es media, factores que influyen en el desarrollo de especies vegetales con menores requerimientos de agua y/o especies generalistas como las registradas en estas unidades.

Por otra parte, las UG más diversas en cuanto a especies fueron (Fta) y (Dclc) (Tabla 3). Probablemente debido a que las terrazas fluviales de acumulación (Fta) son geoformas asociadas a los procesos de erosión y depositación de material transportado por la quebrada Matacea y a la acumulación de material de escorrentía proveniente de las unidades denudacionales que conforman las vertientes del valle bajo de la quebrada Matacea; posibilitando la adición de minerales que favorecen la existencia de suelos fértiles. Además, la disponibilidad de agua es mucho mayor debido a que la quebrada Matacea cruza esta UG favoreciendo la existencia de niveles freáticos altos; Así mismo, esta unidad se caracteriza por un relieve plano a ligeramente ondulado de posición baja que puede influir a que haya un mejor establecimiento de especies vegetales a diferencia de las UG con altas pendientes. La UG de (Dclc) eventualmente presenta mayor cantidad de especies debido a que fue una de las geoformas con más extensión de área, mayor número de parcelas de muestreo y gran presencia de especies generalistas presentes en otras UG.

8.2. SIMILARIDAD ENTRE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG).

La composición de especies en general se diferenció significativamente en todas las unidades geomorfológicas (Figura 16). El dendrograma de similitud de Jaccard mostró valores de similitud muy bajos entre las unidades; indicando que las especies presentes en cada unidad son muy diferentes unas de otras; puesto que las características de cada unidad geomorfológica son muy diferentes entre sí, y esas características están determinando la cobertura vegetal presente en cada

una de ellas. Los grupos que más similitud tienen entre sí son el grupo conformado por las UG (Dloc) y (Dlol), posiblemente esto tiene mucha relación ya que ambas unidades geomorfológicas están localizadas una inmediata a la otra y el ambiente morfogenético de ambas unidades es denudacional (Figura 6), las inclinaciones de las pendientes son leves a moderadas por tanto las especies vegetales presentes en cada una de ellas son muy similares. Por otro lado, se forma el grupo B compuesto por las UG Dclc y Dlom, estas unidades también se encuentran una próxima a la otra, e igualmente su origen es denudacional y presentan características geomorfológicas similares como pendientes poco pronunciadas, drenaje medio entre otras variables, lo que hace que algunas especies puedan repetirse entre ellas. Finalmente se forma el grupo C conformado por el grupo B y la UG Faa, estas unidades se encuentran también próximas entre sí, aunque no son unidades geomorfológicas parecidas, ya que sus características físicas son diferentes al igual que su origen, puesto que las anteriores unidades tienen un origen denudacional, y la UG Faa tiene origen fluvial, es muy probable que el análisis las relacione entre sí, por compartir especies generalistas como es el caso de *Acacia farnesiana* que se presentó en todas las UG.

8.3. ESTRUCTURA DEL BOSQUE

Si comparamos la estructura de otros bosques secos tropicales en Colombia evaluados con la misma metodología, excepto el estudio realizado en El Vínculo por Adarve y otros (2010) donde evaluaron todos los individuos con un DAP \geq 5 cm; los bosques con mayor riqueza de especies de árboles, arbustos y lianas son: Los Colorados (120 especies) seguido de Colosó (110) y Mariquita (94), estos tres bosques se ubican en la región Caribe. Los bosques menos ricos se ubican en el Valle del Cauca y Cauca que corresponde a el Vínculo con (49 especies), Mateguadua (44) y La pachuca (13); comparando estos resultados con el bosque seco de la quebrada Matacea éste presenta un 24% de la riqueza encontrada en el bosque de los Colorados y un 66% de la riqueza del bosque de Mateguadua. Lo que indica que a nivel de riqueza de especies el bosque de la quebrada Matacea se encuentra en un buen estado de recuperación en comparación con los otros

BST de Colombia ya que la cantidad de especies es significativamente mayor en comparación a los bosques secos de los departamentos de Valle y Cauca, bosques con menor diversidad lo que tiene mucha coherencia ya que, el bosque de la quebrada Matacea se encuentra actualmente sin uso económico y en regeneración natural.

8.4. RELACIONES GEOMORFOLOGÍA –VEGETACIÓN

Se han determinado relaciones claras entre las unidades geomorfológicas y la cobertura vegetal (Hammond 1954, Houston 1994, Hoersch *et al.* 2002) en este estudio se confirmó una relación importante entre la vegetación y las unidades geomorfológicas de origen fluvial que son agradacionales y en las unidades de origen denudacional (degradacionales). En la Figura 26 se observa que las parcelas P1, P2, P4 y P9 son un grupo distanciado de los demás, esto se debe, a que las variables geomorfológicas evaluadas y la vegetación que hay en las parcelas es muy diferente a todos los demás grupos, estas parcelas están influenciadas por las variables erosión, y pendiente que para estas UG tomaron los valores más bajos en comparación a otras unidades, ya que la erosión es menor en comparación a las demás UG y la pendiente es casi 0. Las parcelas P1, P2, P4 y P9 son las parcelas de las UG llanura de inundación (Flli) y terrazas aluviales (Fta) respectivamente, por esta razón las variables más determinantes para las especies como lo fue la erosión y la pendiente según el análisis, se caracterizaron por ser UG de zonas bajas, poco erosionadas debido a su relieve plano; los suelos de las llanuras de inundación se caracterizan por la presencia de arenas, limos y arcillas comunes en las llanuras de inundación depositados por la corriente de la quebrada Matacea, unidad propicia para el crecimiento de especies como *Tessaria integrifolia*, *Senna reticulata* y *Cyperus luzulae* especies características de sistemas hídricos fuertemente influenciados por la humedad e inundaciones frecuentes, entre otras especies pioneras características de tierras húmedas y bajas; cabe resaltar que *Tessaria integrifolia* es la pionera más importante en la sucesión de las (Flli) generando ambientes apropiados para la germinación y establecimiento de muchas especies de estados sucesionales

intermedios y tardíos (Vargas 2015), siendo la cobertura vegetal más importante en (Flli) arbustales, ya que las características de los suelos y la dinámica de la quebrada no permite el establecimiento de especies de alto porte.

Por otro lado, las especies de las terrazas aluviales (Fta) se caracterizaron por ser especies de un estado sucesional más avanzado, lo que concuerda con la cobertura vegetal predominante, bosque denso, en esta UG las especies más importantes fueron *Albizia saman*, *Pithecellobium lanceolatum*, *Guazuma ulmifolia* especies de mayor porte que crecen en zonas planas con mayor demanda de nutrientes y recurso hídrico por su tamaño alcanzando alturas de hasta 40 metros.

Las parcelas P6, P7, P8, P17, P5, P14 y P15 están influenciados por las variables altitud, erosión y patrón de drenaje; estas parcelas corresponden a la UG abanicos aluviales (Faa) y Conos y lóbulos coluviales (Dclc). Las especies presentes en estas unidades se encuentran a mayor altitud en comparación a las demás UG de origen fluvial, la altura oscila entre los 600 y 700 msnm, el patrón de drenaje es subparalelo, las pendientes de esta unidad empiezan a ser mayores; por tanto, las especies que empiezan a aparecer en estas unidades son los cactus como *Opuntia pittieri*, y árboles y arbustos como *Handroanthus* sp, *Annona muricata*, *Zanthoxylum fagara* y *Jatropha gossypifolia* entre otras especies que no se ven muy afectadas por los procesos de erosión y que se pueden adaptar fácilmente a altas pendientes.

Finalmente, las parcelas P13, P12, P16, P3, P18 están influenciadas por las variables escorrentía y patrón de drenaje, estas parcelas corresponden a las UG ladera ondulada corta (Dloc) y ladera ondulada media (Dlom), están influenciadas por la escorrentía ya que, estas UG presentan pendientes fuertes haciendo que los suelos sean más susceptibles a erosión. Este fenómeno natural realiza un barrido de los nutrientes, llevándolos hasta las zonas más bajas del relieve como las terrazas (Fta) y las llanuras de inundación (Flli) , unidades que por el contrario son bastante fértiles y propicias para el crecimiento de las plantas, por el contrario, para las UG como las laderas es poco favorable ya que los nutrientes disponibles para las plantas serán menores, así mismo el recurso hídrico, por esta razón las

especies más dominantes en estas unidades fueron *Handroanthus* sp, *Zanthoxylum fagara*, *Opuntia pittieri*, *Acacia farnesiana* y los pastos como *Dichanthium aristatum*; especies comunes en laderas y con mecanismos adaptados para soportar la sequía como por ejemplo las cactáceas, también se destaca la presencia de pastos ya que son UG poco diversas en cuanto a especies vegetales debido a que son, de origen denudacional con presencia de cárcavas y de deslizamientos de tierra activos e inactivos donde las plantas no pueden establecerse con facilidad. Las parcelas P10 y P11 que corresponden a la UG laderas onduladas largas (Dlol) se aislaron significativamente de los demás grupos, sugiriendo no tener una relación clara con las variables evaluadas en este análisis, pero puede concluirse según la Figura 26 que la erosión es la variable geomorfológica que explica mejor la presencia de especies como *Handroanthus* sp, *Acacia farnesiana* y pastos como *Dichanthium aristatum* y *Cenchrus ciliaris* ya que esta UG es una de las unidades con mayor grado de erosión hídrica por la alta densidad de drenaje. Además, es importante resaltar que especies como *Dichanthium aristatum* que son introducidas y utilizadas comúnmente para el pastoreo se caracterizan por tener una alta producción de semillas y fuerte resistencia (Pérez *et al.*, 2010) pueden convertirse en especies invasivas del ecosistema y evitar el establecimiento de especies nativas en las UG donde estén presentes.

Por último, en la figura 28 se observa cuáles son las variables geomorfológicas que presentan mayor o menor variabilidad entre los clústeres formados en la figura 27, sugiriendo que las variables más determinantes que permitieron diferenciar los clústeres a partir de las parcelas de vegetación fueron la escorrentía, la pendiente y la erosión (Brancaleoni *et al.*, 2003; Marchetti *et al.*, 2013).

9. CONCLUSIONES

Para el área de estudio se identificaron 8 unidades geomorfológicas con tres orígenes diferentes: estructural, denudacional y fluvial, correspondientes a 3 formaciones geológicas: Esmita, Galeón y depósitos del cuaternario, siendo esta última la formación geológica más joven.

La quebrada Matacea y el río Patía son determinantes en la geomorfología que caracteriza el área.

Se encontraron en total 88 especies de plantas vasculares para el bosque seco de la quebrada Matacea sugiriendo una alta diversidad en comparación con otros bosques secos del valle del río Patía que han sido estudiados.

Estructuralmente el bosque seco de la quebrada Matacea se encuentra en un estado de sucesión secundaria y catalogado como un bosque seco multiestratificado secundario.

El análisis de similitud permitió establecer que las UG fueron muy diferentes en cuanto a su composición vegetal debido a la geomorfología que caracteriza a cada unidad, además de afirmar la alta diversidad beta que identifica a los ecosistemas de bosque seco tropical.

Se lograron establecer relaciones específicas entre las variables de las unidades geomorfológicas de origen fluvial y denudacional con las especies vegetales mostrando en muchos casos dependencia para su establecimiento

La especie *Handroanthus* sp sugirió ser una especie adaptada a UG con suaves y fuertes pendientes y ser resistente a áreas muy secas.

La especie *Acacia farnesiana* se encontró en todas las unidades geomorfológicas, demostrando ser una especie generalista que se adapta fácilmente a los cambios ambientales de los bosques secos tropicales.

Las UG llanura de inundación y terrazas aluviales fueron las unidades que más se diferenciaron de otras unidades por la particularidad de presentar especies únicas que no vuelven a observarse en ninguna otra UG, como el caso de *Tessaria integrifolia*, *Albizia saman* y *Cyperus luzulae*. Demostrando así que las características geomorfológicas de estas unidades son determinantes para el establecimiento de dichas especies con adaptaciones específicas para su ciclo de vida.

Actualmente el bosque seco de la quebrada Matacea se encuentra en regeneración natural, no se identificó ningún uso de tipo productivo como ganadería y/o agricultura, lo cual la convierte en un área prioritaria para la conservación en el departamento del Cauca de tal manera que se garantice la permanencia de los servicios ecosistémicos que provee a la región.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir investigando las relaciones de la vegetación con las variables físicas del ambiente, área que aún se encuentra poco explorada para los bosques secos del país.

Que el presente trabajo de investigación se convierta en una herramienta para toma de decisiones que garanticen la permanencia de los fragmentos de bosque seco tropical del departamento del Cauca.

11. BIBLIOGRAFÍA

Bernal, G., Urrego, L. E., Gómez-García, Á. M., Betancur, S., & Osorio, A. F. (2014). Evolución geomorfológica y vegetación costera de playa Palmeras Parque Nacional Natural Isla Gorgona, Pacífico Colombiano. *Latin american journal of aquatic research*, 42(3), 622-638.

Brancaleoni, L. Strelin, J. & Gerdol, R. (2003). "Relationships between geomorphology and vegetation patterns in subantarctic Andean tundra of Tierra del Fuego." *Polar Biology* 26(6): 404-410.

Butler, D. & Hupp, C. (2013). "The Role of Biota in Geomorphology: Ecogeomorphology." *Treatise on Geomorphology* 12: 1-5.

Cotler, H. & Ortega-Larrocea, M. (2006). "Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico." *Catena* 65(2): 107-117.

Chao, A. & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547.

Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K. & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs*, 84(1), 45-67.

Chiappy Jhones, C., Gama, L., Giddings, V., Rico-Gray. & Velázquez, A. (2000). "Caracterización de los paisajes terrestres actuales de la península de Yucatán." *Investigaciones geográficas*(42): 28-39.

Corzo, G. & J. Delgado. 2012. Escenarios Geográficos para la Restauración del Bosque seco en Colombia. Informe final de consultoría. Universidad ICESI – Instituto Alexander von Humboldt – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Dirzo, R. & Raven, P. (2003). "Global state of biodiversity and loss." *Annual Review of Environment and Resources* 28(1): 137-167.

Dirzo, R., Young H. & Mooney H. (2011). Seasonally dry tropical forests: *Ecology and conservation*, Island Press.

Duivenvoorden, J. F., Lips, J. M., Palacios, P. A. & Saldarriaga, J. G. (1988). Levantamiento ecológico de parte de la cuenca del medio Caquetá en la amazonia colombiana.[Ecological survey of the middle Caqueta basin in the Colombian Amazonia]. *Colombia Amazónica (Colombia)* 3(1), 7-38.

Elorza, G. (2008). *Geomorfología* (No. 551.4 GUT).

Etter, A. (1994). "Consideraciones generales para el análisis de la cobertura vegetal." IGAC & SIG-PAFC. Memorias del Primer Taller sobre Cobertura Vegetal. Clasificación y Cartografía. Subdirección de Geografía, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" y SIG-PAFC. Plan de Acción Forestal para Colombia. Bogotá.

Etter, A., C. McAlpine. & H. Possingham 2008. A historical analysis of the spatial and temporal drivers of landscape change in Colombia since 1500. *Annals of the American Association of Geographers* 98: 2–23

Erazo. A., Gamboa. J., Ramírez. B. (2017). Estructura y composición vegetal de un fragmento de bosque seco tropical, en el municipio del Patía, Cauca. *Novedades Colombianas* 2, 25-37.

Flores, D., Suvires G. & A. Dalmasso (2015). "Distribución de la vegetación nativa en ambientes geomorfológicos cuaternarios del Monte Árido Central de Argentina." *Revista mexicana de biodiversidad* 86(1): 72-79

Frankie, G. W., H. G. Baker & P. A. Opler .(1974). "Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica." *The Journal of Ecology*: 881-919.

Fernández Alés, R., Marañón, T., Figueroa, M. E. & García Novo, F. (1984). Interacciones entre geomorfología e intervención humana sobre la composición del matorral en la cuenca del río Guadalupejo (Extremadura).

Gamboa, J. H. (2017) Lluvia de semillas asociadas a un fragmento de bosque seco tropical en el valle del Patía, Cauca, Colombia. (Tesis de pregrado). Universidad del cauca. Popayán. Colombia.

García, H., G. Corzo, P. Isaacs. & A, Etter. (2014). "Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de Bosque Seco Tropical en Colombia: insumos para su gestión." *El bosque seco tropical en Colombia* 228-251.

Gentry, A. 1998. Changes in plant community diversity and florist composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 1-34

Giraldo, J. P., & Holbrook, N. M. (2011). Physiological mechanisms underlying the seasonality of leaf senescence and renewal in seasonally dry tropical forest trees. In *Seasonally Dry Tropical Forests* (pp. 129-140). Island Press, Washington, DC.

Hammond, E.H. (1954). A geomorphic study of the Cape Region of Baja California. *Univ. Cal. Publ. Geogr.* 10 (2): 45

Hayden, R. (1986). Geomorphological mapping. Geomorphology from the space. Chapter 11. NASA. Washington EEUU.

Hernández-Camacho, J., Ortiz-Quijano, R., Walschburger, T., & Hurtado-Guerra, A. (1992). Estado de la biodiversidad en Colombia. *La diversidad biológica de Iberoamérica I*, 1, 41-225.

Hicapie, J. G., Jaramillo, J.M., Rodriguez, J.V., Aguilera, R., Bermúdez, G., Ortiz, S., Restreo, J., G., Marín, J. P., Trujillo, A. P. & Cerón, M.R., Ruiz, E. C. (2009). Evaluación Geológica Y Prospectiva de la Cuenca Cauca-Patia, Colombia. *Revista UPTC*. Vol. 9. No.2. Sogamoso. 37-42.

Hoersch, B., G. Braun. & U. Schmidt. (2002). "Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach." *Computers, Environment and Urban Systems* **26**(2): 113-139.

Holdridge, L. (1967). "Life Zone Ecology, Rev. Ed. With Photographic Supplement Prepared by JA Tosi, Jr." *Tropical Science Center*. San Jose, Costa Rica.

Houghton, R. A., Skole, D. L., & Lefkowitz, D. S. (1991). Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985 II. Net release of CO₂ to the atmosphere. *Forest ecology and management*, **38**(3-4), 173-199

Houston, M.A. 1994. Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes. Cambridge University Press, Cambridge, UK

Huggett, R. (2007). Fundamentals of geomorphology, Routledge.

Hupp, C. R. & G. Bornette (2003). "Vegetation as a tool in the interpretation of fluvial geomorphic processes and landforms in humid temperate areas." *Tools in Fluvial Geomorphology*: 269-288.

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

IGAC. 2012. Conflictos de uso del territorio colombiano, escala 1:100.000. Convenio marco de cooperación especial, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Institución de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. 2002. Geología de la plancha 386 Mercaderes. Memoria explicativa. Por Silvio Ruiz

Institución de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. 2008. Primeras Aproximaciones a la Estandarización De La Geomorfología en Colombia. Por José Henry Carvajal

Institución de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. 2011. Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. Por José Henry Carvajal.

Instituto Alexander von Humboldt, IAVH. (1998). Caracterización ecológica de cuatro remanentes de Bosque seco Tropical de la región Caribe colombiana. Grupo de Exploraciones Ecológicas Rápidas, IAVH, Villa de Leyva. pág. 76

Jørgensen, P. M., Ulloa Ulloa, C., León, B., León-Yáñez, S., Beck, S. G., Nee, M. & Gradstein, R. (2011). Regional patterns of vascular plant diversity and endemism. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*, 192-203.

Janzen, D. H. (1988). Management of habitat fragments in a tropical dry forest: Growth. *Annals of Missouri Botanical Garden*, 75(1), 105-116.

Jaramillo, V. J., A. Martínez-Yrizar & R. L. Sanford Jr. (2011). Primary productivity and biogeochemistry of seasonally dry tropical forests. *Seasonally dry tropical forests*, Springer: 109-128.

Michaud, G. A, Mogner, H. C., Anderson, D. L. 2013. Geomorphic-vegetation relationships using a geopedological classification system, northern Chihuahuan Desert, USA. *Journal of Arid Environments* 90, 45-54.

McAuliffe, J. R. (1994). Landscape evolution, soil formation, and ecological patterns and processes in Sonoran Desert bajadas. *Ecological Monographs*, 64(2), 111-148.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, SINCHI, IDEAM, INVEMAR, PNN, INCODER, CORPOICA, IAVH, Servicio Geológico Colombiano e IGAC.

Marchetti, Z. Y., E. M. Latrubesse., M. S. Pereira. & C. G. Ramonell. (2013). "Vegetation and its relationship with geomorphologic units in the Parana River floodplain, Argentina." *Journal of South American Earth Sciences* 46: 122-136.

Martínez-Yrizar, A., S. H. Bullock., H. A. Mooney & E. Medina (1995). "Seasonally Dry Tropical Forests."

Ministerio del Medio Ambiente. 2000. Primer informe nacional de implementación de la convención de las Naciones Unidas de la lucha contra la desertificación y la sequía. Bogotá. 84 pp

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Desertificación y sequía. Segundo Informe Nacional. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente. 51 pp.

Miles, L., A. C. Newton., R. S. DeFries., C. Ravilious., I. May, S. Blyth, V. Kapos & J. E. Gordon (2006). "A global overview of the conservation status of tropical dry forests." *Journal of Biogeography* **33**(3): 491-50

Mora Marín, M. A., Ríos Pescador, L., Ríos Ramos, L., & Almario Charry, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería Y Región*, *17*, 1-12. <https://doi.org/10.25054/22161325.1212>

Murphy, P. G. & A. E. Lugo. (1986). "Ecology of tropical dry forest." *Annual review of ecology and systematics* **17**(1): 67-88.

Naranjo, J. L. H. (2015). *Fotogeología Práctica. Fotogeología descriptiva e interpretativa con ejemplos de Colombia*. Editorial Universidad de Caldas. Consejo Nacional de Geología. Manizalez. Colombia. 501p.

Open Round Colombia 2010. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 2009. [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cuenca%20Cauca-Pat%C3%ADa%20Msc%20Gustavo%20Hincapi%C3%A9%20\(pdf\).pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cuenca%20Cauca-Pat%C3%ADa%20Msc%20Gustavo%20Hincapi%C3%A9%20(pdf).pdf)

Paruelo, J. M., Guerschman, J.P., Piñeiro, G., Jobbágy, E.G., Verón, S.R., Baldi, G. & Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*: 47 - 61

Pérez, A., ROJAS, J., & Fuentes, J. (2010). Determinación de un modelo logístico para evaluación in situ de la colonización de micorrizas en pasto *Dichanthium aristatum* (L). *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 73-84.

Pérez, G. and Numpaque, L. E. (1980). Cuenca del Patía Superior. Informe geológico Ecopetrol. 33 p.

Pizano, C y H. García (Editores). 2014. *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia.

Pizano, C., González, R., González, M. F., Castro-Lima, F., López, R., Rodríguez, N., ... & Devia, W. (2014). Las plantas de los bosques secos de Colombia. *El Bosque Seco Tropical en Colombia. Bogotá, DC, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)*.

Portillo-Quintero, C. & G. A. Sánchez-Azofeifa (2010). "Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas." *Biological Conservation* **143**(1): 144-155.

Ramírez. B., Macías. D. & Varona. G. (2015). Lista comentada de plantas vasculares del valle seco del río Patía, suroccidente de Colombia. *Biota colombiana*. *16*(2), 2-50.

Rangel-Ch, J. O., Carvajal, J. E., Cortés, J. & Rivera, O. (2009). Amenazas a la biota (vegetación, fauna, flora y ecosistemas) de la serranía del Perijá. *Colombia diversidad biótica VIII. Media y baja montaña de la serranía de Perijá*, 661-676.

Ratter, J., G. Askew., R. Montgomery & D. Gifford (1978). "Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso. II. Forests and soils of the Rio Suia-Missu area." *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **203**(1151): 191-208.

Ravi, S., D. D. Breshears., T. E. Huxman. & P. D'Odorico. (2010). "Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics." *Geomorphology* **116**(3): 236-245.

Robertson, KIM (1990). Unidades de levantamientos rurales y forestal – Ecología. Guías de análisis de terreno. Geomorfología aplicada. Subdirección de Docencia e Investigación. IGAC. Notas de clase. 84p.

Sánchez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economía y Desarrollo*, 1(1), 79-98.

Sanchez-Azofeifa, A., M. E. Kalacska., M. Quesada., K. E. Stoner., J. A. Lobo & P. Arroyo-Mora (2003). Tropical dry climates. *Phenology: an integrative environmental science*, Springer: 121-137.

Sánchez-Azofeifa, A., M. Quesada., J. P. Rodriguez., J. M. Nassar., K. E. Stoner., A. Castillo., T. Garvin., E. L. Zent., J. C. Calvo-Alvarado & M. E. Kalacska (2005). "Research Priorities for Neotropical Dry Forests1." *Biotropica* **37**(4): 477-485.

Satterwhite, M. B. (1982). *Vegetation and Terrain Effects on Digital Classification of LANDSAT Imagery* (No. ETL-0292). ARMY ENGINEER TOPOGRAPHIC LABS FORT BELVOIR VA.

Stallins, J. A. (2006). Geomorphology and ecology: unifying themes for complex systems in biogeomorphology. *Geomorphology*, 77(3-4), 207-216.

Vargas, R., M. F. Allen & E. B. Allen. (2008). "Biomass and carbon accumulation in a fire chronosequence of a seasonally dry tropical forest." *Global Change Biology* **14**(1): 109-124.

Vargas, W. (2015). Una breve descripción de la vegetación, con especial énfasis en las pioneras intermedias de los bosques secos de la Jagua, en la cuenca alta del río Magdalena en el Huila. *Colombia Forestal*, 18(1), 47-70.

Vergara, H. V. (2015). Patrones de la vegetación y tipos de uso de la tierra en el valle del patía. *Colombia Forestal* **18**(1): 25.

Vergara H. y Torres P. (2017). Aspectos generales del Patía. Novedades colombianas. Volumen II. p11-22.

Villarreal, H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gasth, H. Mendoza, M. Ospina. & A.M. Umaña Segunda edición. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

Villers-Ruiz, Lourdes, Trejo-Vazquez, Irma & López-Blanco, Jorge. (2003). Dry vegetation in relation to the physical environment in the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 14, 517-524.

Wondzell, S. M., Cunningham, G. L., & Bachelet, D. (1987). A hierarchical classification of landforms: some implications for understanding local and regional vegetation dynamics. *General technical report RM-Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, US Department of Agriculture, Forest Service (USA)*.

Yetemen, O., Istanbuluoglu, E., & Vivoni, E. R. (2010). The implications of geology, soils, and vegetation on landscape morphology: Inferences from semi-arid basins with complex vegetation patterns in Central New Mexico, USA. *Geomorphology*, 116(3-4), 246-263.

Zonneveld, I.S. 1979. Land Evaluation and Land(scape) Science. ITC Textbook VII.4 (2nd ed.), ITC Enschede. 134 pp.

Zonneveld, I.S. 1986. A systematic approach to the evaluation of rangeland inventory data. *In Rangelands, a Resource under Siege, Proc. 2nd Internat. Rangeland Cong., Canberra.* pp. 515-516. Australian Acada. of Science, Canberra.

Zonneveld, I. S. (1989). The land unit—a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape ecology*, 3(2), 67-86.

12. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de levantamiento de información utilizada en la fase de campo.

HOJA DE DATOS DE CAMPO Levantamientos Ecológicos – Paisajes transformados – Valle del Patía

Localización		Fecha Día_____ mes _____ año__ ____	
Unidad cartográfica preliminar Terreno: Cobertura:	Observadores	Altitud	Coordenadas: N _____ W _____
Geoforma/Posición topográfica en unidad de mapeo Laderas muy escarpadas Laderas escarpadas Valle	Relieve Plano Casi plano..... < 2% Ondulado..... 2 – 7% Quebrado..... 7 – 13% Colinado..... 13 - 20% Muy disectado..... 20 –55% Montañoso..... > 55%	Tipo de formación vegetal Bosque ripario Bosque seco denso Bosque seco abierto Matorral	

DRENAJE		EROSION		FUENTE AGUA	
		TIPO	GRADO		
Excesivo				Escorrentía_____	
Bueno	Laminar	Muy bajo		Acuífero_____	
Moderado				Irrigación_____	
Imperfecto	Surcos	Bajo			
Pobre				ESCORRENTIA	INUNDACION/ ENCHARCAMIENTO
Muy pobre	Cárcavas	Moderado		Muy rápida	
	Reptación	Fuerte		Rápida	Agente:
				Media	Escorrentía
	Deslizamiento	Severa		Lenta	Río
				Muy Lenta	Lago
	Difusa				Duración: días____ semanas____ Meses_____
SUELOS					
Horizonte	Prof. Efec cm.	Textura	Estructura	Pedregosidad/ Rocas	Formaciones especiales
SITIO DE MUESTREO				UNIDAD DE MAPEO	
	Altura	%Cob.	Spp. Dominantes	COBERTURA	
ARBOREO					
ARBUSTIVO					

				USO
HERBACEO				Tipo/Tamaño

ESTRUCTURA DE LA VEGETACION – COMPOSICION FLORISTICA							USO – MANEJO
PORCENTAJE DE COBERTURA							
No.	ESPECIE	ALTURA	ARBOREO	ARBUSTIVO	HERBACEO	EPIFITOS	
						P/A	GANADERIA:
							Tipo:
							Pastos mejorados Vegetación (semi) natural
							% cobertura especies leñosas en potreros
							Manejo:
							Quemas (fecha, frecuencia, motivo)
							Excrementos n/100 m ²
							Pisoteo – Estrato herbáceo

							No. tocones
							AGRICULTURA
							Tipo (Perenne – Anual)
							Especies cultivadas
							% de cada cultivo
No. Ha. totales	% No. Agricultura	Cultivos principales	Otros cultivos	No. Ha. pastoreo	No. Cabezas ganado por ha.		Tenencia: (Privado-arrendamiento)

USO VEGETACION NATURAL						Productos Bosque: (Intensidad)
Pastoreo:	Extracción					Orquideas
	Leña: Madera:					Musgos
						Medicinales