



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
CARRERA DE ECOLOGÍA  
ESCUELA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA (ERE)  
Bogotá D.C**

**El estudiante SERGIO ESTEBAN LOZANO BÁEZ C.C 1.018.441.623 realizó el  
trabajo de grado titulado: Restauración de la cobertura vegetal en áreas  
previamente afectadas por la minería aluvial de oro en el Nordeste de  
Antioquia, Colombia.**

**José Ignacio Barrera PhD.**

**Director**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. ARTÍCULO EN FORMATO DE LA REVISTA RESTORATION ECOLOGY.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO AMPLIADO .....</b>	<b>23</b>
2.1 La minería.....	23
2.1.1 Situación Global-Nacional de la minería .....	23
2.1.2 Tipos de minería.....	23
2.1.3 Contexto historico.....	24
2.1.4 Caso Mineros S.A.....	24
2.2 Teoría del disturbio.....	25
2.2.1 Clasificación de los disturbios.....	26
2.3 Teoría de la sucesión vegetal.....	26
2.3.1 Modelos y tipos de sucesión vegetal.....	26
2.3.2 La sucesión vegetal en bosques tropicales.....	26
2.3.3 La sucesión vegetal en áreas mineras.....	27
2.4 La restauración ecológica.....	27
2.4.1 La importancia de la restauración ecológica.....	28
2.4.2 Estrategías de restuaración ecológica.....	28
2.5 Ecología de bosques tropicales.....	29
2.5.1 Estructura vegetal.....	29
2.5.2 Composición florística.....	29
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>30</b>
3.1 Objetivo General.....	30
3.2 Objetivos Específicos .....	30
<b>4. METODOLOGÍA AMPLIADA.....</b>	<b>30</b>
4.1 Parcelas Modificadas tipo Whittaker (PMW).....	30
4.2 Instalación de las PMW en campo .....	30
4.2 Medición de los parámetros.....	32

4.3.1 La altura.....	32
4.3.2 EI DAP.....	33
4.3.3 La cobertura.....	34
4.4 Estimación de la composición florística.....	35
4.5 Calculo de los índices de diversidad.....	35
4.6 Calculo del IVI e IVF.....	35
4.7 Análisis de Componentes Principales.....	36
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

# **Restauración de la cobertura vegetal en áreas previamente afectadas por la minería aluvial de oro en el Nordeste de Antioquia, Colombia.**

Sergio E. Lozano-Báez

## **Resumen**

Para el presente estudio de caracterización de la vegetación vascular se definieron 4 zonas de la siguiente manera: 1) un bosque natural (Sabalito), utilizado como referencia. 2) Un bosque de 29 años (Caño la 3) de sucesión espontánea, afectado previamente por minería aluvial de oro. 3) Zona de 10 años de sucesión asistida (Zona 505). 4) Área de 2 años de sucesión asistida (Draga 5). En la caracterización se implementaron parcelas modificadas tipo Whittaker (PMW). Por zona se implementaron 3 parcelas para un total de 12. En general, se evidenciaron un total de 124 especies, agrupadas en 96 géneros y 53 familias. La zona con el mayor número de especies promedio fue la denominada Caño la 3 con 34, seguida de Sabalito con 25, Zona 505 con 24 y finalmente Draga 5 con 11 especies. La diversidad de Shannon siguió un patrón similar siendo mayor en Caño la 3, seguido de Sabalito, Draga 5 y por último la Zona 505. Los valores más bajos en cuanto a diversidad y riqueza específica de la Zona 505 y Draga 5 podrían dejar evidenciar el estado sucesional en el que se encuentran, así como el efecto de las especies plantadas como una estrategia de restauración en dichas zonas. A pesar, que la similitud entre zonas es baja; Caño la 3 y la Zona 505 compartieron el mayor número de especies (17). El análisis de varianza evidenció que la riqueza específica fue diferente entre zonas ( $p < 0,01153$ ). La comparación pareada de Tukey para riqueza mostró que Caño la 3 fue

diferente de draga 5. Por último la diversidad de Shannon fue igual entre la Zona 505 y Draga 5 pero diferente entre las demás.

## **Palabras claves**

Sucesión vegetal, Parcelas Modificadas tipo Whittaker, vegetación, regeneración natural y sucesión espontánea.

## **Introducción**

La minería es un tipo de disturbio que genera fuertes impactos ambientales en los ecosistemas (Thornton 1996; Srivastava et al. 2005). Como la remoción total o parcial del suelo, la pérdida parcial o total de la vegetación y la fauna, contaminación atmosférica e hídrica y la generación de grandes cantidades de desechos no aprovechables (Younger & Wolkersdorfer 2004). A nivel mundial la minería cubre menos del 1% de la superficie terrestre, porcentaje que contrasta con el 3% de las áreas urbanas o el 70% de la agricultura (Bridge 2004). En este contexto se hacen prioritarias las prácticas o planes de restauración ecológicas, en las áreas intervenidas por la minería (Cooke & Johnson 2002). En la mayoría de las prácticas de restauración ecológica el objetivo principal es generar una cobertura vegetal. Es por ello, que uno de los indicadores más usados en las prácticas de restauración es la vegetación, que además de ser un componente fundamental de los ecosistemas terrestres, es de fácil observación (Prach & Hobbs 2005). Adicionalmente, la sucesión vegetal, es de gran importancia en el estudio de la vegetación, ya que permite saber si se está siguiendo una trayectoria particular

que permita alcanzar la meta que se planteó al inicio del proceso (Norman et al. 2006).

A nivel mundial existen una gran variedad de estudios que abordan las experiencias de restauración en áreas degradadas por diferentes tipos de minería e incluyen a la vegetación como la principal variable o indicador en el proceso de restauración (Parrota et al. 1997; Holl 2002; Jefferson 2004; Tischew & Kirmer 2007; Garcia et al. 2009; Gould 2012). En Colombia estudios en áreas restauradas luego de la minería son escasos, recientemente se destacan los trabajos de Arias-Escobar y Barrera-Cataño (2007) y Dominguez-Haydar y Armbrecht (2011). Para la zona de estudio se encuentran pocas investigaciones en áreas posteriores a la minería aluvial. Sin embargo se encuentran los trabajos de (Aguilar & Venegas 2009; Villa & Tobón 2012). En la actualidad, en Colombia los procesos de recuperación de los ecosistemas afectados por la minería se enfocan principalmente al establecimiento de monocultivos con especies introducidas o nativas de rápido crecimiento, que actúan como pioneras (Aguilar & Venegas 2009) y facilitan el proceso de sucesión vegetal (Parrota & Knowles 2001).

En el caso concreto de la empresa Mineros S.A. se desarrolla una minería de tipo aluvial a gran escala para obtener oro. A través de las fases de exploración y explotación. Durante la explotación ocurren los mayores impactos ambientales, que inician con la remoción de la cobertura vegetal y del suelo. Posteriormente, con la explotación se generan grandes cantidades de sobrecarga (limos, arenas, arcillas y roca) que son succionadas por las dragas de los primeros 30 m del fondo del cuerpo de agua. En el año 2008 se alcanzaron a remover 38 millones de m<sup>3</sup> de

este material. Como una estrategia para mitigar los impactos ambientales en el año 2000 se iniciaron las estrategias de restauración, enmarcadas en el plan de manejo ambiental, orientadas a generar rápidamente una cobertura vegetal que permitiera la generación de un bosque protector-productor que buscará beneficiar a las comunidades locales. (Mineros S.A. 2010). Sin embargo, para estos nuevos ecosistemas se desconoce su estructura y funcionamiento. En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la vegetación vascular a nivel de estructura y composición en 2 zonas de diferentes edades, con las estrategias de restauración que emplea Mineros S.A. y compararlas con una zona que tiene un proceso de regeneración natural luego de la minería aluvial y con un bosque natural no intervenido por la minería.

## **Métodos**

### **Área de estudio**

La caracterización de la vegetación se realizó en 4 zonas a lo largo del valle aluvial del río Nechí en la región conocida como el Bajo Cauca antioqueño. Sabalito (lat 7°52'09" N, long 74°46'38" W), Caño la 3 (lat 7°35'47" N, long 74°48'40" W), Zona 505 (lat 7°40'37" N, long 74°46'47" W) y Draga 5 (lat 7°48'37" N, long 74°48'10" W) figura 1.

Las áreas estudiadas se encuentran en una zona de vida de bosque húmedo pluvial tropical, con promedio de temperatura de 24°C, lluvias entre los 2,000 y 4,000 mm al año (época seca de noviembre a marzo y época lluviosa de abril a octubre), una altura promedio de 80 msnm (Alvarado 1995). Y un relieve de valle

aluvial, asociado a la dinámica de los ríos Nechí, Amaceri y sus afluentes (Londoño et al. 2009).

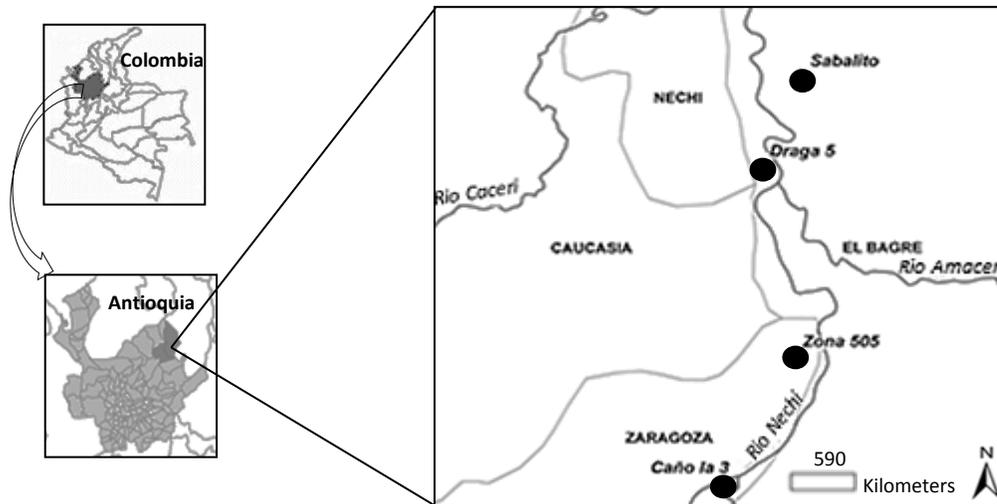


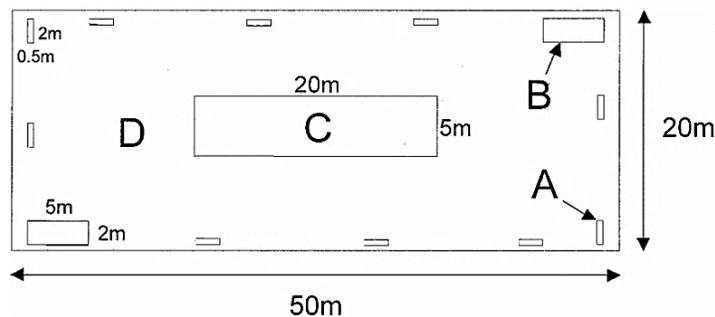
Figura 1. Localización de los puntos de muestreo en las áreas de estudio.

## Muestreo

La fase de campo del presente estudio se desarrolló entre el 19 de junio y 19 Julio del 2012. Los sitios muestreados fueron definidos conjuntamente con los operadores de la mina de acuerdo a criterios definidos previamente, como fueron la edad de los sitios y las posibilidades de acceso. Las áreas que se seleccionaron fueron: 1) Caño la 3: Zona con un proceso de regeneración natural de 29 años (desde 1983), posterior a la minería aluvial. 2) Zona 505: Área en la que se iniciaron las actividades de restauración 10 años atrás (desde 2002). 3) Draga 5: Cuyo proceso de restauración fue iniciado en el año 2010. Posteriormente, se seleccionó un bosque natural, Sabalito, con el ánimo de comparar las áreas en restauración, con las condiciones iniciales de los ecosistemas antes de ser intervenidos por la actividad minera. En la Zona 505 y la Draga 5 las actividades

de restauración iniciaron con un perfilamiento del terreno para posteriormente plantar al inicio del periodo lluvioso especies exóticas y nativas de rápido crecimiento, al 3 bolillo a 3 metros de distancia, en hoyos de dimensiones de 30 x 30 cms, con una actividad de plateo de 1 m de diámetro.

En cada una de estas zonas, se ubicaron 3 parcelas modificadas tipo Whittaker (PMW) (Stohlgren et al. 1995), para un total de 12 PMW en todo el estudio (figura 2). En cada parcela se realizó el muestreo de la siguiente manera: en las subparcelas D se midieron los individuos con  $CAP \geq 31.5\text{cm}$ , en las subparcelas C todos los individuos con  $CAP \geq 15.8\text{ cm}$ , en las subparcelas B todos los  $CAP \geq 3.2\text{ cm}$ , y en las subparcelas A, se midieron las hierbas según la técnica de unidades muestrales puntuales (Matteucci & Colma 1982) haciendo uso de un cuadrante de PVC de  $1\text{ m}^2$  con cuadrículas de  $0.1\text{m}^2$ .



**Figura 2.** Esquema de las parcelas modificadas tipo Whittaker. Tomado de Cambell, 2002.

Dentro de cada PMW se registraron datos de fecha, localidad, coordenadas, altitud, y se identificaron las especies de hierbas, arbustos y árboles, en los casos en que no se pudo identificar la especie en campo, se recolectaron 2 muestras botánicas de cada una, posteriormente las muestras fueron identificadas por especialistas del Herbario de la Universidad de Antioquia. Para cada individuo se midió la Circunferencia a la altura del pecho (CAP), en el caso de las plantas con

ramificaciones por debajo de dicha altura se tomó el dato para cada rama independientemente. Adicionalmente, se registraron los datos de altura con cinta métrica para individuos menores a 5 m y a través de estimación visual para los individuos de mayor tamaño. Por último, se midió la cobertura de los individuos por el cálculo directo en metros cuadrados del área que proyectó sobre el suelo la copa de cada individuo de los estratos altos y por medición directa con cinta métrica, en los estratos bajos (Rangel & Velázquez 1997). En el caso de las hierbas se midió el porcentaje de cobertura de cada especie.

### **Análisis de datos**

Para definir la estructura de la vegetación de cada zona estudiada se consideraron los siguientes estratos de altura: Arbóreo superior (> 25 m), arbóreo inferior (12-25 m), subarbóreo u arbolitos (5-12 m), arbustivo (1,5-5 m), herbáceo (0,3-1,5 m) y rasante (< 0,3 m) (Rangel & Velázquez 1997). Se calculó la distribución de la altura en cada zona mediante intervalos de clases, a través de la ecuación planteada por Rangel y Velásquez, 1997:

$$C = (X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}) / m$$

Donde C= amplitud del intervalo; X=Parámetro a analizar  $m = 1 + 3.3 \log N$ ; N= n° de individuos.

El CAP hallado en campo fue transformado posteriormente a DAP con la fórmula:

$$DAP = CAP / \pi.$$

Para las plantas ramificadas por debajo de la altura del pecho se tomó el CAP de cada ramificación y se calculó el DAP total (DAP t), según lo propuesto por Franco-Roselli et al (1997), con la fórmula:

$$DAP\ t = (4At/\pi)^{1/2}$$

Donde el área total (At) es:

$$At = \sum Ai; Ai = \pi (DAP)^{1/2}; Ai = \text{Área de cada tallo.}$$

Se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) según lo propuesto por Finol (1976). La influencia ecológica que tienen las familias, se definió mediante el Índice de Valor de importancia para las Familias (IVF) según lo propuesto por Mori y Boom (1983). La diversidad en cada zona se calculó con el programa estadístico Past, con dicho programa se calcularon los índices de diversidad de Shannon y Simpson (Ludwig & Reynolds, 1988) empleados en las PMW (Seefeldt et al. 2010). Adicionalmente, se utilizó un ANOVA para establecer las diferencias significativas entre las riquezas promedio de las 4 zonas, la prueba de Tukey como prueba post hoc, y se utilizó la prueba de t para el índice de Shannon. Se calculó el índice de similitud de Jaccard que considera la presencia/ausencia de las especies en las respectivas zonas (Villareal et al. 2006). Por último, se realizó un ACP (Análisis de Componentes principales) con los promedios de las coberturas relativas de cada una de las especies.

## **Resultados**

### **Composición de la vegetación**

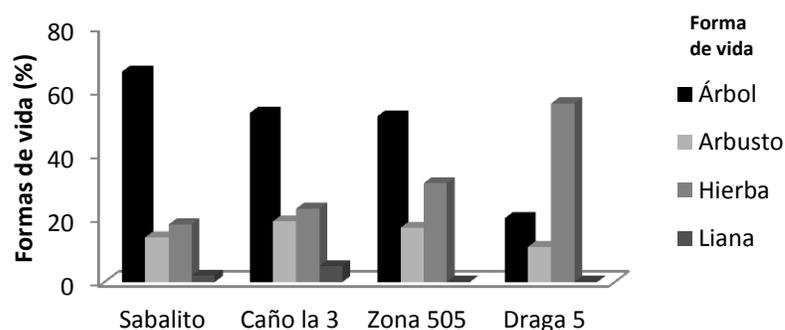
En las áreas de estudio las familias más abundantes por su riqueza florística fueron: Fabaceae con 18 especies (14.5%), seguida de Poaceae con 11 especies (8.9%) y Moraceae con 10 especies (8.1%). A nivel de género los dos más diversos fueron *Ficus* (Moraceae) con 9 especies (9.4%) y *Cyperus* (Cyperaceae)

con 4 especies (4.2%). La zona con el mayor número de familias, géneros y especies es la denominada Caño la 3, seguida por la Zona 505 y Sabalito, quienes presentan valores muy similares. Finalmente, la Draga 5 que presenta los valores más bajos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Número de familias, géneros y especies por área de muestreo.

Nivel taxonómico	Sabalito (Natural)	Caño la 3 (29 años)	Zona 505 (10 años)	Draga 5 (2 años)
No de familias	27	35	26	8
No géneros	39	46	40	17
No especies	44	60	45	20

Las hierbas dominaron con un 56% en la zona Draga 5, que es la zona más joven, mientras que en las otras zonas los árboles fueron los dominantes con un porcentaje mayor al 50%. Las lianas no estuvieron presentes en la Zona 505. Sin embargo, tuvieron la mayor representación en Draga 5 con un 13%. Finalmente, los arbustos no dominaron ninguno de los sitios y presentaron siempre porcentajes por debajo del 20% (Figura 3).



**Figura 3.** Porcentaje de formas de vida en cada zona de estudio.

El Índice de Valor de Importancia (IVI) que se calculó para árboles y arbustos, incluyó 520 individuos con DAP  $\geq$  1 cm para todos los sitios. Entre los valores más

altos de IVI, se destacaron las especies de arbustos *Chromolaena odorata* en la Zona 505 y en Draga 5 se encontró la especie invasora, *Mimosa pigra* con un valor de 87,69. Las especies arbóreas *Bursera simaruba* y *Spondias mombin* con valores importantes de IVI estuvieron presentes en el bosque natural (Sabalito) y el bosque con regeneración natural (Caño la 3). *Cecropia peltata* presentó altos valores de IVI en Sabalito y la Zona 505. Adicionalmente, se destacan los altos valores de IVI en las Zona 505 y Draga 5, por la alta dominancia de unas pocas especies (Tabla 2).

**Tabla 2.** Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies que presentaron mayor valor en cada zona de estudio.

Área de estudio	Nombre científico	Habito	Ni	DoR (%)	DeR (%)	FR (%)	IVI (%)
Sabalito	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Tree	32	16,67	20,13	4,44	41,24
	<i>Spondias mombin</i> L.	Tree	21	18,06	13,21	6,67	37,93
	<i>Cecropia peltata</i> L.	Tree	32	11,30	20,13	6,67	38,10
	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Tree	3	10,85	1,89	4,44	17,18
	<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.	Tree	17	1,43	10,06	4,44	15,94
	<b>Total</b>		<b>105</b>	<b>58,31</b>	<b>65,41</b>	<b>26,67</b>	<b>150,38</b>
Caño la 3	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Tree	8	20,75	6,11	5,77	32,62
	<i>Spondias mombin</i>	Tree	17	8,28	12,98	3,85	25,11
	<i>Ficus donnell-smithii</i> Standl.	Tree	1	18,63	0,76	1,92	21,32
	<i>Bursera simaruba</i>	Tree	13	5,95	9,92	1,92	17,80
	<i>Pseudobombax septenatum</i> (Jacq.) Dugand.	Tree	10	3,06	6,87	1,92	11,85
	<b>Total</b>		<b>49</b>	<b>56,67</b>	<b>36,64</b>	<b>15,38</b>	<b>108,70</b>
Zona 505	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Tree	70	42,29	38,67	7,69	88,65
	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Tree	29	27,83	16,02	7,69	51,55
	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake.	Tree	15	17,23	8,29	7,69	33,21
	<i>Cecropia peltata</i>	Tree	9	5,91	4,97	7,69	18,57
	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.	Shrub	17	0,25	8,29	3,85	12,39
	<b>Total</b>		<b>140</b>	<b>93,51</b>	<b>76,24</b>	<b>34,62</b>	<b>204,37</b>
Draga 5	<i>Acacia mangium</i>	Tree	6	57,78	55,56	33,33	146,64
	<i>Mimosa pigra</i> L.	Shrub	5	32,14	22,22	33,33	87,69
	<i>Schizolobium parahyba</i>	Tree	2	10,09	22,22	33,33	65,66
	<b>Total</b>		<b>13,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>300,00</b>

Ni: Número de individuos. DoR: Dominancia relativa. DeR: Densidad relativa. FR: Frecuencia relativa.

Las familias más importantes de acuerdo con los valores de IVF calculados en cada una de las zonas fueron: Anacardiaceae (56,51) en Sabalito, Moraceae (93,7) en Caño la 3, Fabaceae (191,02) en la Zona 505 y nuevamente Fabaceae en Draga 5 con 300 (Tabla 3). La familia Fabaceae se muestra como una familia con una alta importancia ecológica, presente con altos valores de IVF en todas las zonas de estudio.

**Tabla 3.** Familias con los valores más altos en el Índice de Valor de importancia para las Familias (IVF).

Área de estudio	Familias botánicas	Ns	DR (%)	IVF (%)
Sabalito	Anacardiaceae	3	10	56,51
	Malvaceae	3	10	52,41
	Urticaceae	1	3,33	34,76
	Fabaceae	5	16,67	34,06
	Euphorbiaceae	2	6,67	21,45
	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>46,67</b>	<b>199,19</b>
Caño la 3	Moraceae	8	20,51	93,7
	Fabaceae	6	15,38	28,8
	Burseraceae	2	5,13	28,3
	Anacardiaceae	2	5,13	27,2
	Salicaceae	2	5,13	17,8
	<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>51,28</b>	<b>195,9</b>
Zona 505	Fabaceae	6	33,33	191,02
	Piperaceae	2	11,11	20,61
	Urticaceae	1	5,56	16,44
	Asteraceae	1	5,56	14,10
	Boraginaceae	1	5,56	9,94
	<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>61,12</b>	<b>252,1</b>
Draga 5	Fabaceae	3	100,00	300,00
	<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>100,00</b>	<b>300,00</b>

Ns: Número de especies que posee la familia en cada zona.

Las zonas con los mayores valores de Shannon fueron; Sabalito y Caño la 3. El valor de riqueza específica fue mayor en la zona de Caño la 3, seguido de Sabalito, Zona 505 y por último Draga 5. En el caso de la diversidad de Shannon se siguió exactamente el mismo patrón, aunque Caño la 3 y Sabalito en su orden presentaron los valores más altos. Los valores del índice de Simpson fueron más

bajos en Caño la 3 y Sabalito. El análisis de varianza ( $p < 0,05$ ) diferencias significativas para la riqueza específica entre zonas. Cuando se realizó la comparación pareada entre zonas se evidencian diferencias entre las zonas Caño la 3 y Draga 5 ( $p < 0,0078$ ). El test de diversidad para la diversidad de Shannon (prueba t) mostró diferencias entre todas las zonas menos entre la Zona 505 y Draga 5.

**Tabla 2.** Riqueza específica e índices de diversidad de Shannon y Simpson (promedio $\pm$ ES) en las diferentes zonas de estudio.

Área de estudio	Índices de diversidad		
	Riqueza específica	Shannon H'	Simpson $\ddot{e}$
Sabalito	24,7 $\pm$ 4,8	2,8 $\pm$ 0,5	0,1 $\pm$ 0,04
Caño la 3	32,6 $\pm$ 1,7 <sup>a</sup>	3,2 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,01
Zona 505	24,3 $\pm$ 4,1	1,5 $\pm$ 1,7	0,4 $\pm$ 0,1
Draga 5	11,0 $\pm$ 1,5 <sup>a</sup>	1,6 $\pm$ 0,8	0,3 $\pm$ 0,2

a= Diferencias significativas entre ellos con  $p < 0,05$ .

Con el diagrama de Jaccard (Figura 4) se puede observar que no existe un porcentaje de similaridad significativo. Sin embargo, las áreas con mayor similaridad entre si son Caño la 3 y la Zona 505, con 17 especies en común. Seguido por Sabalito y Caño la 3 que comparten 15 especies. Mientras que Draga 5 solo comparte la especie *Enterolobium cyclocarpum* (Orejero) con Caño la 3 y *Schizolobium parahyba* (Tambor frijolito) con Sabalito. Las 2 zonas con plantaciones forestales comparten 5 especies; *Acacia*, *Cyperus luzulae* (Botón blanco), *Ludwigia octovalvis* (Onagraceae), *Mimosa pigra* y *Paspalum conjugatum*

(Mindaca). Por último la Zona 505 comparte 2 especie con Sabalito *Schizolobium parahyba* y *Tectaria draconoptera* (Tectaricaceae).

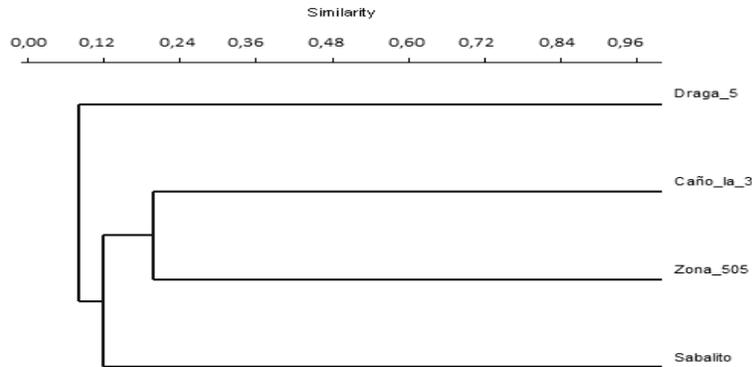


Figura 4. Similitud entre las zonas según el índice de Jaccard.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) en los 2 primeros ejes agrupó el 91,41% de la varianza de los datos. Relaciona a la zona de Caño la 3 y Sabalito como similares pero las diferencia con Draga 5 y la Zona 505, las cuales se relaciona negativamente (ver figura 5).

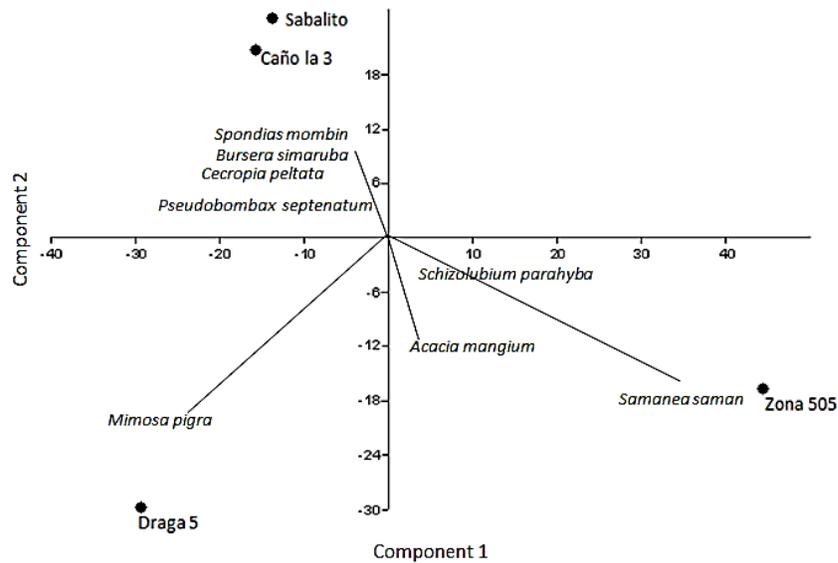


Figura 5. Diagrama del Análisis de Componentes Principales.

## Estructura vertical y horizontal

Los primeros 4 intervalos de altura agrupan la mayor cantidad de individuos en todas las zonas. Para caño la 3 el mayor número de individuos (47) se agrupan entre 0,8-4,4 m, seguido por 40 individuos en el intervalo de 14,9-20,1 m. Mientras que en Sabalito el mayor número de individuos (44) se encuentra entre 9,7-14,8 m. Para la Zona 505 los individuos se concentran en los intervalos de 0,8-4,4 y 14,9-20,1 m con 61 y 54 individuos respectivamente. Por último, la zona Draga 5 en el intervalo de 0,8-4,4 m agrupa el 100% de los individuos (Figura 6).

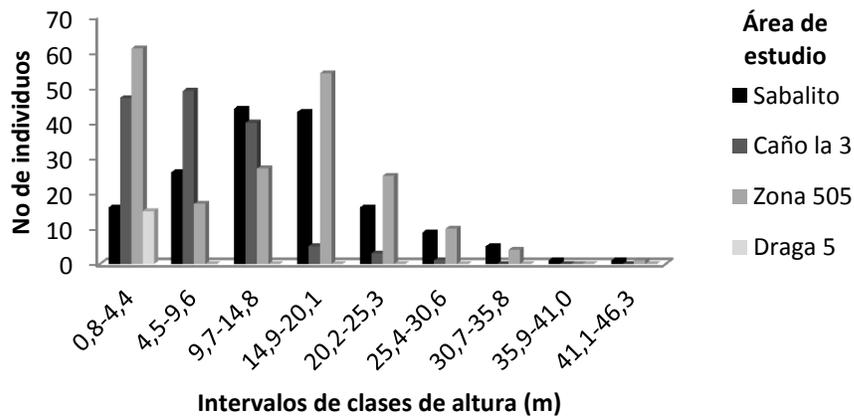


Figura 6. Abundancia de individuos por intervalos de altura en las diferentes zonas muestreadas.

La cobertura de la vegetación en los estratos de la vegetación para las áreas de estudio no mostró una tendencia en común. Sin embargo, en Sabalito la cobertura vegetal se concentra en el estrato arbóreo inferior con 39%. En Caño la 3 la dominan los arbolitos con un 59%. Mientras que en la zona 505 sobresale el estrato arbóreo inferior con un 78%. Y en la Draga 5 el estrato arbustivo con un 44% (Figura 7).

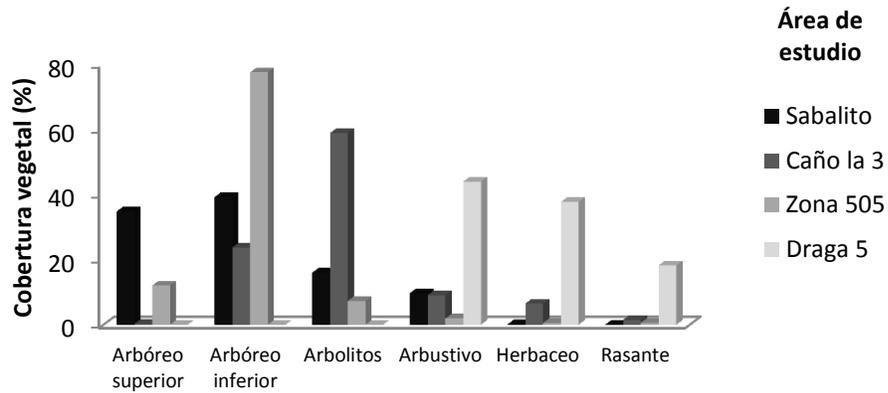


Figura 7. Porcentaje de cobertura de la vegetación en cada uno de los estratos de vegetación

Para las clases diamétricas se asumieron los rangos de acuerdo a los diámetros que proponen las PMW para realizar las subparcelas (Stohlgren et al. 1995). El rango de  $\geq 10$  cm registró la mayor cantidad de individuos en Sabalito, Caño 3 y Zona 505. Mientras que en la Draga 5 los individuos solo se agruparon en las 2 primeras clases diamétricas (figura 8).

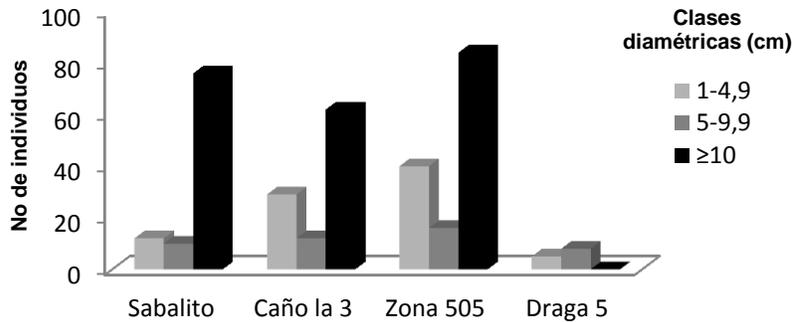


Figura 8. Abundancia de individuos para las diferentes clases diamétricas en cada zona muestreada.

## Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron una mayor riqueza florística en la zona de regeneración natural denominada Caño la 3, lugar donde la sucesión fue de tipo espontanea. A pesar de esta riqueza Caño la 3 se encuentra distante según la similaridad florística del ecosistema de referencia denominado Sabalito, al compartir 15 especies, lo que se refleja en un valor del índice de

Jaccard bajo, 0,12. Adicionalmente, en Sabalito no hay presencia de especies exóticas mientras que en Caño la 3 se presentaron 2 especies exóticas *Palicourea croceoides* (Rubiaceae) y *Lantana camara* (Frutillito), esta última especie domina los escombros de la minería de carbón a cielo abierto en ambientes secos de la India (Tripathi & Shekhar 2008). Las zonas con mayor similaridad fueron Caño la 3 y la Zona 505, que compartieron 17 especies. Sin embargo, la similaridad según el índice de Jaccard continua siendo baja, con un valor menor a 0,24. Entre todas las zonas Draga 5 tuvo la menor similaridad, lo que se explica por el poco tiempo que tiene la sucesión vegetal (2 años) (Gerhard & Birgit, 2001), además se evidencia en el menor número de especies en el ecosistema, en los valores más bajos de diversidad y en la estructura vegetal. La secuencia que se evidencio en la riqueza florística en el presente estudio concuerda con la secuencia en la colonización de espacios abiertos propuesta por Begon et al (1999), donde la diversidad inicial es baja, aumenta durante los estadios intermedios y disminuye en el estado de clímax.

En cuanto a cobertura, en el estrato arbóreo superior, Sabalito fue el área que presentó el mayor porcentaje (35%) con árboles mayores a 25 m, lo que indica el estado avanzado de la sucesión vegetal. Mientras que en la zona con regeneración natural (Caño la 3) el 39% de la cobertura vegetal se concentro entre 5-12m, lo cual refleja el estadio intermedio de la sucesión (Guariguata y Kattan, 2002). Estos resultados contrastan con la dominancia del estrato arbóreo inferior (59%) en la Zona 505 y la dominancia del estrato arbustivo (44 %) en Draga 5. Lo que indica la efectividad de las plantaciones forestales para generar en poco

tiempo una cobertura vegetal y lo lento que puede ser el proceso de regeneración natural (Tripathi & Shekhar 2008). Sin embargo, la cobertura en las plantaciones forestales es homogénea y no es tan diversa como la que resulta de la sucesión espontánea (Caño la 3), caso similar a las áreas posteriores de la minería de carbón en República Checa donde la sucesión espontánea genera una menor cobertura pero más diversa que la de las plantaciones forestales (Hodačová & Prach 2003). Lo que muestra que si es posible para los ecosistemas a pesar de la extracción de minerales llegar a recuperarse en el tiempo ya sea a través de la regeneración natural o de técnicas de restauración (Gould, 2012). Sin embargo, estos nuevos ecosistemas (Villa & Tobón 2012) en el nordeste de Antioquia según Aguilar & Venegas (2009) han perdido funciones relacionadas con la regulación de crecientes y la productividad.

En la Zona 505 la cobertura y la altura del ecosistema la dominan pocas especies, lo que se refleja en el índice de Simpson (0,36). Las especies que se plantaron al inicio del proceso en esta zona fueron de rápido crecimiento, que en 10 años alcanzaron alturas superiores a los 25 metros, estas especies son: *Acacia mangium*, *Samanea saman* (Campano) y *Schizolobium parahyba*. En contraste la dominancia de especies en Caño la 3 y Sabalito fue más equitativa, y se evidencia en el índice de Shannon con valores de 3,23 y 2,77 respectivamente. Por otro lado, Draga 5 presentó los índices más bajos de Shannon, pero uno de los mayores valores Simpson, lo que se refleja en los valores de IVI con la dominancia de *Acacia mangium*, una especie exótica y *Mimosa pigra* (Fabaceae) una especie invasora. Adicionalmente en Draga 5 se encuentra otra especie invasora

*Andropogon bicornis* (Cola de zorro). Estas especies exóticas e invasoras pueden llegar a convertirse en un obstáculo para la restauración de los ecosistemas a largo plazo ya que podrían competir con las especies nativas y no permitir su crecimiento (Holl 2002). Las especies en común entre Sabalito, Caño la 3 y la Zona 505 fueron: *Monstera adansonii* (Balazo), *Casearia arguta* (Azulito), *Spondias mombin* y *Cecropia peltata*, estas 2 últimas presentes en ecosistemas naturales y en áreas restauradas posteriores a la minería de bauxita en Trombetas Brasil (Parrota & Knowles 2001). Lo que lleva a pensar que son especies de amplia distribución con un potencial para la restauración de los ecosistemas degradados por la minería. Dado que podría resultar inevitable hacer minería en esta región, los resultados del presente estudio indican que si se desea recuperar la estructura y composición florística del ecosistema natural, es necesario de un plan de intervención a partir del momento en que las plantaciones forestales hayan mejorado las condiciones iniciales de los ecosistemas.

## **Implicaciones para la práctica**

- La regeneración natural puede resultar una buena opción para recuperar los ecosistemas degradados por la minería aluvial. Para ello hay que promover la conservación de las áreas adyacentes, pues son ellas las que pueden proveer de semillas al ecosistema.
- Como una opción para diversificar las plantaciones forestales se plantea la posibilidad de realizar entresacas de las especies que fueron sembradas en el inicio de la plantación y paralelamente llevar a cabo el enriquecimiento con especies nativas.

- Al inicio de las plantaciones forestales se recomienda utilizar densidades de plantaciones más altas que permita el desarrollo de una mayor cobertura en los estados iniciales de la sucesión, y crear en estas zonas estrategias para la erradicación o control de las especies invasoras.

## **Agradecimientos**

Esta investigación se pudo realizar gracias al apoyo que brindó Mineros S.A. Un agradecimiento especial a José I. Barrera, a mis padres por el apoyo incondicional. Y a todas aquellas personas que ayudaron a ser realidad este trabajo que empezó como un sueño: Carlos Pardo, Carolina Moreno, Iván González y Alberto Ramírez, muchas gracias.

## **Literatura citada**

- Aguilar, E. M., and H. A. Venegas. 2009. Estudio de la dinámica de la sucesión vegetal como herramienta para la formulación de modelos de rehabilitación en áreas afectadas por la minería aluvial. Revista Virtual REDESMA (Available from <http://www.ibcperu.org/doc/isis/10432.pdf>) accessed 21 September 2012.
- Alonso, A., F. Dallmeier and P. Campbell. 2001. Urumbamba: The biodiversity of Peruvian rain forest. Smithsonian Institution, Washington, DC.
- Alvarado, B. 1995. Experiencia de manejo y adaptación de especies vegetales en áreas degradadas por minería de oro. Ministerio del medio ambiente, Medellín, Colombia.
- Arias-Escobar, M.A., and J.I. Barrera-Cataño. 2007. Caracterización florística y estructural de la vegetación vascular en áreas con diferente condición de abandono en la cantera Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá. *Universitas Scientiarum* **12**:25-45.
- Begon, M., J.L. Harper., and C.R. Townsend. 1999. La influencia de la depredación y la perturbación en la estructura de la comunidad. Pages 857-856 in Begon, M., J.L. Harper., and

- C.R. Townsend, editors. *Ecología individuos, poblaciones y comunidades*. Ediciones omega, Barcelona.
- Bridge, G. 2004. Contested terrain: Mining and the Environment. *Annual review of Environment and Resources* **29**:205-259.
- Cambell, P., et al. 2002. Modified Whittaker plots as an assessment and monitoring tool for vegetation in lowland tropical rainforest. *Environmental Monitoring and Assessment* **76**:19-41.
- Cooke, J., and M. Johnson. 2002. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. *Environmental review* **10**:41-71.
- Dominguez-Haydar, Y., and I. Armbrecht. 2011. Response of ants and their seed removal in rehabilitation areas and forests at El Cerrejón coal mine in Colombia. *Restoration Ecology* **19**:178-184.
- Finol, H. 1976. Estudio fitosociológico de las unidades 2 y 3 de la Reserva Forestal de Carapo, Estado de Barinas. *Acta Botánica Venezuelica* **10**:15-103.
- Franco-Roselli, P., J. Betancur., and J.L. Fernández-Alonso. 1997. Diversidad florística en dos bosques subandinos del sur de Colombia. *Caldasia* **19**:205-234.
- García, L., Barros, F., and J. Lemos. 2009. Fructification phenology as an important tool in the recovery of iron mining áreas in Minas Gerais, Brazil. *Journal Biology* **69**:887-893.
- Gerhard, W., and F. Birgit. 2001. Predictability of early stages of primary succession in post-mining landscapes of lower Lusatia, Germany. *Applied Vegetation Science* **4**:5-18
- Gould, S. F. 2012. Comparison of post-mining rehabilitation with reference ecosystems in Monsoonal eucalypt woodlands, northern Australia. *Restoration Ecology* **20**:250-259.
- Guariguata, M., and G. Kattan. 2002. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Ediciones LUR, Costa Rica.
- Hodačová, D., and K. Prach. 2003. Spoil heaps from brown coal mining: technical reclamation vs. spontaneous re-vegetation. *Restoration Ecology* **11**:385–391.
- Holl, K. D. 2002. Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA. *Journal of Applied Ecology* **39**:960-970.

- Jefferson, L. V. 2004. Implications of plant density on the resulting community structure of mine site land. *Restoration Ecology*, **12**:429-438.
- Londoño, H. C., J. C. Montoya., O. Ordoñez and J. J. Restrepo. 2009. Características de las mineralizaciones vetiformes en el distrito minero Bagre-Nechí, Antioquía. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, **26**:29-38.
- Ludwig, J.A., and J. F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Wiley, New York, NY, USA.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Mateucci, S., and A. Colma. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C.
- Mineros S.A. 2010. *Memorias de sostenibilidad* (available from <http://www.mineros.com.co/pdf/MemoriaSostenibilidad2010.pdf>) accessed 23 September 2012.
- Mori, S and B, Boom. 1983. Ecological importance of Myrtaceae in an Eastern Brazilian wet forest. *Biotropica* **15**:68-70.
- Norman, M., J. M. Koch., C. D. Grant., T. M. Morald., and S. C. Ward. 2006. Vegetation succession after bauxite mining in Western Australia. *Restoration Ecology* **14**:278-288.
- Parrota, J., and O. Knowles. 2001. Restoring tropical forest on lands mined for bauxite: examples from the Brazilian Amazon. *Ecological Engineering* **17**:219-239.
- Parrota, J., O. Knowles, and J. Wunderle. 1997. Development of floristic diversity in 10 years old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forestry Ecology and Management* **99**:21-42.
- Prach, K., and R. Hobbs. 2008. Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. *Restoration Ecology* **16**:363-366.
- Rangel, J., y Velásquez, A. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. Pages 59–87. In: *Colombia Diversidad Biótica II*. Editorial Guadalupe, Bogotá, Colombia.

- Seefeldt, S. S., J.S. Conn., M. Zhang., and P.N. Kaspri. 2010. Vegetation changes in conservation reserve program lands in interior Alaska. *Agriculture, Ecosystem and Environment* **135**:119-126.
- Srivastava, M. M., S. P. Joshi., R. K. Manhas and L. Singh. 2005. Biodiversity study in natural forests abandoned mine and ecorestored mine habitats of Mussoorie hills. *Bulletin of the National Institute of Ecology* **16**:59-68.
- Stohlgren, T, J., M, B, Falkner., and L, D, Schell.1995. A modified-Whittaker nested vegetation sampling method. *Vegetation* **117**:113-121.
- Thornton, I. 1996 Impacts of mining on the environment: some local, regional and global issues. *Applied Geochemistry* **11**:355-361.
- Tischew, S., and A. Kirmer. 2007. Implementation of Basic Studies in the Ecological Restoration of Surface-Mined Land. *Restoration Ecology* **15**:321-325.
- Tripathi, N., and R. Shekhar. 2008. Ecological restoration of mined-out áreas of dry tropical environment, India. *Environmental Monitoring and Assessment* **143**: 325-337.
- Younger, P. L., and C. Wolkersdorfer. 2004. Mining impacts on the fresh water environment: technical and managerial guidelines for catchment scale management. *Mine Water and Environment* **23**:2-80.
- Villa, J.A., and C. Tobón. 2012. Modeling hydrologic dynamics of a created wetland, Colombia. *Ecological Engineering* **40**:173-182.
- Villareal, H., M. Álvarez., S. Córdoba., F. Escobar., G. Fagua., F. Gast., H. Mendoza., M. Ospina., and A. M. Umañal. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigaciones de recursos biológicos Von Humboldt, Bogotá. 236 pp.

## **2. MARCO TEORICO AMPLIADO**

### **2.1 La minería**

Los orígenes de la minería se remontan al paleolítico hace 450,000 años, cuando el ser humano usaba fragmentos trabajados de rocas y minerales como herramientas o armas. Desde entonces la minería ha venido desarrollándose y tomando cada vez más importancia para la civilización, convirtiéndose en una actividad fundamental para la humanidad (Thornton, 1996; Andrés, 2009). Para el término minería, existen diversas definiciones, que tienen en cuenta más o menos componentes. Según el Ministerio de Minas y Energías (2003) la minería es: Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Que consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Sin embargo, es una actividad que genera grandes impactos sobre el paisaje y fuertes degradaciones ambientales (Andrés, 2009), hasta el punto que una zona intervenida por la minería puede durar cientos o miles de años en regenerarse naturalmente (Bradshaw, 1997).

#### ***2.1.1 Situación Global-Nacional de la minería***

A nivel mundial la industria minera ha tenido un crecimiento en las últimas décadas, sin embargo ha tenido como obstáculo la dificultad de generar ganancias, debido a la escasez que se presenta de algunos minerales, que han sido explotados durante siglos. Además se destaca la desigualdad en las reservas mineras que poseen los países (Miranda et al, 2003). Por otro lado, en las últimas décadas se han visto favorecidos los problemas que genera la minería, pues ha surgido una preocupación ambiental en la sociedad, que promueve en la industria un interés por el desempeño social y ambiental, generando iniciativas para la solución de los problemas ocasionados (Mudd, 2009).

A nivel nacional Colombia ha puesto en marcha una política minera, enmarcada en el “Plan de desarrollo minero, visión 2019”. El cual busca incrementar la minería, atraer inversión extranjera y convertir a Colombia en un país minero (UPME, 2006). Lo que se ve reflejado en un incremento de los títulos mineros, aproximadamente el 4% del país (45.669 km<sup>2</sup>) con títulos mineros (Fierro, J. 2011).

#### ***2.1.2 Tipos de minería***

Las explotaciones mineras se clasifican en dos grandes grupos: de superficie y subterráneas. Existiendo casos intermedios que combinan técnicas de ambos grupos. Y un pequeño tercer grupo lo genera la minería marina, aluvial o de

dragado, en la que se remueve el lecho del río o el mar para obtener el mineral de interés (IGME, 2004). Por otro lado desde el punto de vista normativo se puede encontrar la minería legal y la informal o ilegal (Ministerio de Minas y Energías, 2003).

### **2.1.3 Contexto histórico**

En el nordeste de Antioquia, en la región conocida como el Bajo Cauca, se encuentran los municipios con mayor tradición minera en el país, que inclusive nacieron gracias a esta actividad: Zaragosa, Segovia, Caucaasia, Nechí y El Bagre, son ejemplos de este suceso. Sin embargo, la minería en esta región se viene desarrollando desde antes de la llegada de los españoles, cuando los indígenas extraían oro de manera artesanal. Con la llegada de los españoles al territorio en 1580, estas técnicas cambiaron hasta llegar en la actualidad al uso de Dragas eléctricas para extraer el mineral (West, 1972 y Mineros S.A. 2004).

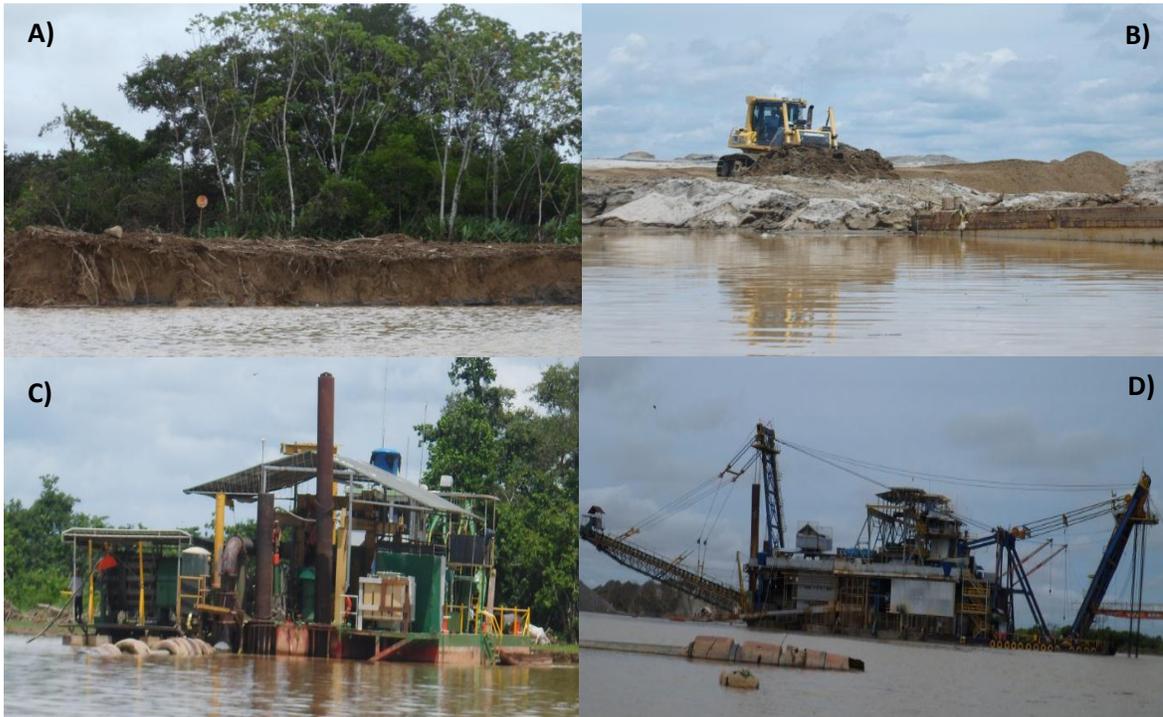
### **2.1.4 Caso Mineros S.A.**

En la actualidad, mineros S.A. es la mayor compañía extractora de oro del país. Que en el 2011 produjo 3,6 toneladas de oro en sus operaciones subterráneas y aluviales en el río Nechí (Mineros S.A. 2012). La historia de la empresa comienza a principios del siglo XX con los primeros campamentos de la Pato mines Colombia Ltda. De propiedad canadiense, a partir de este momento la empresa cambio varias veces de dueño y de nombre, hasta llegar en el 2004 ha constituir la actual compañía. La mayor parte de las operaciones son de tipo aluvial, en la que se emplean dos fases: exploración y explotación. En la primera, a través de perforaciones se realiza un cálculo de la reserva del mineral. En la segunda fase, cuando ya se define el área a explotar, se procede a realizar un descapote del terreno y a realizar las adecuaciones para poder iniciar la explotación, en esta fase trabajan articuladamente principalmente 3 máquinas; las retroexcavadoras anfibia, las dragas de succión y las dragas de cuchara (Mineros S.A. 2004). Sin embargo, durante el proceso se generan grandes cantidades de sobrecarga (materiales que recubren el mineral) como ejemplo se tienen las dragas de succión que en el año 2008 alcanzaron a remover 38 millones de m<sup>3</sup> de material. Para mitigar este impacto existen dentro de los programas de gestión ambiental, el programa de manejo de sedimentos acompañado del programa de revegetalización de las áreas intervenidas, de gran importancia para la recuperación de los ecosistemas (Mineros S.A. 2010). Ver figura 1.

Otros impactos ambientales del proceso según INGEOMINAS (1985) son:

- Variación de cauces y caudales de los ríos.
- Destrucción de la cobertura vegetal.
- Contaminación por mercurio de las aguas.
- Generación de zonas desérticas o

de difícil colonización para la vegetación. - Emisión atmosférica de vapores de mercurio. - Disminución y pérdida de especies de fauna y flora acuática y terrestre.



**Figura 1.** Diferentes momentos del proceso de explotación. Figura A) Fase de descapote y remoción de la cobertura vegetal. Figura B) Reconstrucción morfológica del terreno con retroexcavadora anfibia. Figura C) Dragas de succión, que extrae los 10 primeros metros del lecho del río. Figura D) Dragas de cuchara, es con la que se extrae el oro entre los 10 y 30 metros de profundidad.

## 2.2 Teoría del disturbio

Los seres humanos somos responsables de incrementar los disturbios en la naturaleza por medio de actividades como la minería o la agricultura, lo que permiten impulsar el proceso de la sucesión en los ecosistemas (Walker y Moral, 2003). Además de generar cambios en la composición, diversidad y estructura (vertical y horizontal) de la comunidad (Pickett y Whitte, 1985). E inclusive algunos autores ven el disturbio como una fuerza regeneradora en los ecosistemas, que permite la germinación de semillas al generar claros (Vargas, 2008). Sin embargo, ¿Qué es disturbio? Al intentar definir el concepto de disturbio, se encuentran diferentes definiciones, una de ellas es la propuesta por Forman y Godron (1986) citados en Barrera y Valdés, (2007) definen el disturbio como un evento que causa un cambio significativo del patrón normal de un sistema ecológico.

Por otro lado enmarcado en el concepto del disturbio, se ha desarrollado la hipótesis del intermedio, la cual relaciona la intensidad del disturbio con la

diversidad, afirmando que con disturbios intermedios la diversidad va a ser más alta (Connell, 1978).

### **2.2.1 Clasificación de los disturbios**

Los disturbios pueden ser clasificados de acuerdo al origen en: Naturales (un ejemplo los huracanes) y Antrópicos como la minería. De acuerdo al tamaño en: grandes (mayores a 10 ha) medianos (1 a 10 ha) y pequeños (menores de 1 ha). También pueden ser clasificados dependiendo a la intensidad o daño que generan en el ecosistema en: graves o severos, medianos y leves (Barrera y Valdés, 2007). Y pueden ser clasificados de acuerdo a una dimensión temporal, que incluye dos aspectos: la frecuencia, es decir cada cuanto ocurre un disturbio, se clasifican en: Raros, frecuentes y en un punto intermedio los recurrentes. El segundo aspecto es la predictibilidad que hace referencia a la periodicidad de ocurrencia del disturbio (Vargas, 2008).

## **2.3 Teoría de la sucesión vegetal**

La sucesión vegetal es uno de los principales conceptos de la ecología, que ha sido trabajado por muchos autores desde finales del siglo XIX (Clements, 1916; Gleason, 1926; Margalef, 1968; Connell y Slatyer, 1977 y Tilman, 1988). Se define como el proceso por el cual las especies se reemplazan unas a otras a través del tiempo en un área determinada (Glenn, Peet y Veblen, 1992).

### **2.3.1 Modelos y Tipos de sucesión vegetal**

Existen dos modelos: El primero planteado por Clements es determinístico, es decir se sabe el trayecto que puede tener el ecosistema. Contrario al el segundo modelo planteado por Gleason en 1926, que es estocástico, es decir el azar determina la sucesión y no se sabe con certeza la proyección del ecosistema. Sin embargo existe modelos intermedios entre estos dos (Walker, 2005). En los tipos de sucesión se tiene: 1. Sucesión primaria: No existe un banco de semillas por lo tanto no se tiene un legado genético previo, las minas a cielo abierto son el mejor ejemplo de este tipo de sucesión. 2. Sucesión secundaria: El sitio presenta un banco de semillas, que en comparación con la primaria es mucho más rápida (Barrera, Contreras, Garzón y Moreno, 2010).

### **2.3.2 La sucesión vegetal en bosques tropicales**

Guariguata y Kattan (2002) proponen el siguiente modelo conceptual de los cambios que ocurren durante la sucesión en bosques tropicales: A) entre 1 y 5 años se da una colonización inicial, en la que dominan hierbas, helechos y gramíneas. B) Pasando a un bosque joven, que dura entre 5 y 20 años, y dominan pioneras de corta vida. C) Desde los 20 a los 100 años se convierte en un bosque

maduro con pioneras de larga vida. D) Por último a partir de los 100 hasta los 400 años se genera un bosque primario con dominancia de especies tolerantes a la sombra.

### **2.3.3 La sucesión vegetal en áreas mineras**

A nivel mundial existen una gran variedad de estudios que abordan las experiencias de restauración en áreas degradadas por diferentes tipos de minería e incluyen a la vegetación y como la principal variable o indicador en el proceso de restauración (Parrota, Knowles y Wunderle, 1997; Holl, 2002; Jefferson, 2004; Tischew y Kirmer, 2007; Garcia, Barros y Lemos, 2009 y Gould, 2012). Para el caso particular de la minería aluvial de oro, estudios que aborden las experiencias de restauración en estas áreas disturbadas son escasos. Sin embargo, sobresale el trabajo de Díaz y Elcoro (2009) que realizan un inventario de las plantas colonizadoras en áreas afectadas por la minería aluvial de oro en el estado de Bolívar, Venezuela.

A nivel nacional estudios específicos sobre la sucesión vegetal en áreas degradadas por la minería aluvial del oro en El Bagre, son escasos, se encuentran: 1. El desarrollado por Aguilar y Venegas (2009) que suministra información sobre la sucesión vegetal en diques que fueron abandonados luego de la minería aluvial, dándole importancia a los pulsos de inundación del río para poder recuperar condiciones naturales. 2. Por otro lado Alvarado (1995) realiza un seguimiento a la siembra y a la adaptación de algunas especies de plantas, en los escombros que resultan de la minería aluvial de oro, mostrando la posibilidad de generar cobertura vegetal luego de la explotación. 3. INGEOMINAS (1985), analiza el efecto ocasionado por la minería aurífera en la zona de Zaragoza – El Bagre – Cuturu, determinando los principales impactos de este tipo de actividad. 2. El estudio de impacto ambiental por minería aurífera en el Bajo Cauca y Nordeste antioqueño, aporta información sobre los aspectos biológicos y físicos de la región (CIA, 1988). 3) Recientemente Corantioquia ha realizado un inventario de la vegetación silvestre (Toro, 2009)

### **2.4 La restauración ecológica**

La restauración ecológica es el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que ha sido dañado, degradado o destruido por causa de los diferentes disturbios antrópicos y naturales (SER, 2004). Sin embargo, cuando el ecosistema no puede restablecerse hasta el punto previo del disturbio, el proceso puede tomar los caminos de: 1) La *rehabilitación*: En la cual la estructura y funcionalidad del ecosistema degradado puede mantenerse y autorregularse, pero no llegará a ser la misma que la del ecosistema pre-disturbio (Brown y Lugo,

1994). 2) La *recuperación*: Que se enfoca en recuperar la productividad del sistema junto con algunos atributos perdidos, sin buscar necesariamente la conservación y generalmente el sistema final no es autosostenible y es diferente al pre-disturbio (Barrera et al, 2010).

#### **2.4.1 Importancia de la restauración ecológica**

Las altas tasas de deforestación y fragmentación de los ecosistemas tropicales, ha generado que los proyectos de restauración ecológica en los países tropicales tomen cada vez más fuerza. Con el propósito de minimizar la pérdida de biodiversidad y garantizar los servicios ambientales que prestan los ecosistemas (Ribeiro et al, 2011). Además ante el boom minero que enfrenta Colombia, la restauración surge como una opción para mitigar y ayudar a compensar los problemas ambientales que genera la minería.

#### **2.4.2 Estrategias de restauración ecológica.**

En los proyectos o planes de restauración, las estrategias para restaurar los ecosistemas disturbados van depender del tipo de disturbio y de los objetivos que se plantean al inicio del proceso (Barrera y Valdés, 2007). De acuerdo con lo anterior Hobbs y Norton (1996) mencionan que los objetivos en la restauración son básicamente de dos tipos: 1) Aquellos basados en incrementar el valor natural de los sitios disturbados y 2) los que intentan mejorar las funciones y servicios que prestan los ecosistemas, por ejemplo el control de la erosión. Para alcanzar estos objetivos es necesario acelerar la sucesión vegetal del área a restaurar (Barrera, Contreras, Garzón, y Moreno, 2010). Lo que se logra a través de técnicas de recuperación, las cuales Prach y Hobbs (2008) las resumen en 3 enfoques principales para restaurar los sitios disturbados: 1) Depende completamente de la sucesión espontánea. 2) Adopta exclusivamente medidas técnicas. 3) Es la combinación de los 2 enfoques anteriores, manipulando la sucesión espontánea para alcanzar un objetivo.

En el caso de la sucesión espontánea, los estudios la recomiendan para disturbios que no sean severos, en lugares pequeños, que no tengan unas condiciones bióticas-abióticas extremas, preferiblemente sitios rodeados de vegetación nativa. Entre las principales ventajas de la sucesión espontánea están los bajos costos y poca intervención que se requiere en el proceso (Bradshaw, 2000; Shono, Cadaweng, y Durst, 2007 y Prach y Hobbs 2008). Existen ejemplos de ecosistemas muy degradados luego de un fuerte disturbio, como la minería a gran escala, que pueden regenerarse espontáneamente en periodos de largo-tiempo (Tischew y Kirmer, 2007).

Por otro lado, cuando las condiciones son muy adversas, la sucesión espontánea tarda mucho tiempo, por lo se recurre a las técnicas de restauración, mecánicas o con ingeniería (Lamb y Gilmour, 2003). Para áreas degradadas por la minería la mejor técnica de restauración ha sido la plantación de árboles, pues cambian el microclima, estabilizan el suelo y proveen un potencial comercial y estético (Tripathi y Shekhar, 2008). Adicionalmente las técnicas de restauración son más rápidas pero requieren de una mayor inversión. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los ecosistemas que crean las técnicas de restauración son uniformes, con baja diversidad estructural y funcional en comparación con los sitios desarrollados con sucesión espontánea (Dugan et al, 2003 y Prach y Hobbs 2008).

## **2.5 Ecología de bosques tropicales**

Las selvas húmedas también conocidas como bosques tropicales son ecosistemas dinámicos influenciados ampliamente por los procesos ambientales (Guariguata y Kattan, 2002). Albergan más de la mitad del número de especies conocidas a nivel mundial. Y Brindan una gran cantidad de recursos naturales y beneficios a las sociedades humanas. Sin embargo, se han visto sometidos a un intenso proceso de deforestación y otras presiones antrópicas como la minería o la agricultura, que ha degradado a nivel mundial estos ecosistemas (Martínez y García, 2007).

Sin embargo, para los bosques tropicales hay una falta de información sobre la biología de las especies, las dinámicas de poblaciones, fenología, rangos de crecimiento y el éxito reproductivo de las especies nativas. Lo que podría dar como resultado cientos de especies presentes en los bosques naturales, con potencial para la restauración de áreas degradadas por la minería (Parrota y Knowles 2001)

### **2.5.1 Estructura vegetal**

El término estructura ha sido usado en ecología para referirse a la forma como están organizadas las comunidades. Existe la estructura vertical, que representa la distribución de los elementos de una comunidad en el eje vertical y una estructura horizontal que se refiere a la forma como se distribuyen los elementos de la comunidad en el terreno (Valverde et al, 2005).

### **2.5.2 Composición florística**

La composición representa el conjunto de especies que forma una comunidad. Tanto la composición y la estructura están determinadas por los factores físico, químicos, biogeográficos y antrópicos (Valverde et al, 2005).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Caracterizar la vegetación vascular a nivel de estructura y composición en un fragmento de bosque natural y tres zonas de diferentes edades, en proceso de recuperación, posterior a la minería aluvial, en el noreste de Antioquía.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Definir la estructura y composición de la vegetación vascular en un fragmento de bosque natural y tres áreas en proceso de recuperación de diferentes edades.
2. Comparar la composición y estructura de la vegetación vascular de un fragmento de bosque natural y tres zonas en proceso de recuperación muestreadas.

### **4. METODOLOGÍA AMPLIADA**

#### **4.1 Parcelas Modificadas tipo Whittaker (PMW).**

Las Parcelas Modificadas tipo Whittaker fueron propuestas por Stohlgren et al, (1995). Basadas en el método de muestreo inicialmente propuesto por Whittaker en Shmida (1984). Desde entonces las PMW a nivel mundial han sido usadas en diferentes lugares, entre ellos: Alaska (Seefeldt et al, 2010), Iran (Ghorbani et al, 2011), en monitoreo de proyectos de restauración en el Parque Nacional Coconino en el Norte de Arizona, USA (Korb, Covington y Fulé, 2003). En el caso del trópico las PMW han dado una aproximación a la diversidad de la vegetación de la selva amazónica, en la región del bajo Urubamba, Perú (Comiskey, 2001). Para el caso concreto de Colombia no se registra la utilización de este tipo de parcelas (Villareal et al, 2006).

Por otro lado, frente a otros métodos de muestreo las PMW tiene la ventaja de ser apropiadas para los programas de monitoreo y valoración de la vegetación, pues son fáciles de establecer, son de bajo costo, cuantifican y detectan tendencias o patrones en la riqueza de especies y detectan especies raras (Cambell, 2002).

#### **4.2 Instalación de la PMW en campo**

Previo a la instalación de las parcelas, se realizó un reconocimiento de la zona de estudio, con el fin de seleccionar las áreas de muestreo. Seleccionando, conjuntamente con los operadores de la mina 4 sitios de muestreo (Sabalito, Caño la 3, Zona 505 y Draga 5) de acuerdo a los criterios definidos; la edad de los sitios y las posibilidades de acceso (Figura 1).

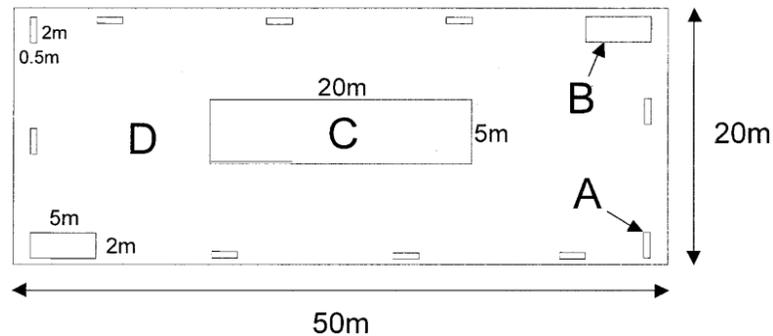
Posteriormente en cada zona estudiada se ubicaron 3 PMW. Para un total de 12 PMW en todo el estudio. Para una mayor precisión en la toma de datos las parcelas de 2\*0,5 se cambiaron por la técnica de unidades muestrales puntuales (Matteucci & Colma 1982) haciendo uso de un cuadrante de PVC de 1 m<sup>2</sup> con cuadrículas de 0.1m<sup>2</sup>. Adicionalmente, en la propuesta inicial de Stohlgren et al, (1995) se muestrean los hábitos: árboles, arbustos y hierbas. Sin embargo, para abarcar un mayor número de especies se incluyeron en el muestreo algunas trepadoras (Lianas) estas formas de vida según Carrillo-Fajardo, et al (2007).

Al instalar en campo este tipo de parcelas fue necesario de: estacas – 400m de cuerda – un cuadrante de 1m<sup>2</sup> – GPS y 3 asistentes de campo. El proceso para instalar las parcelas en campo fue el siguiente: 1) Se marcó el cuadrante más grande (Subparcela D) 50m\*20m dentro de este se miden todos los individuos con CAP  $\geq$  31.5cm, tomando las coordenadas de cada esquina (Anexo 1). 2) Se instaló la parcela de 20m\*5m en la que se midieron todos los individuos con CAP  $\geq$  15.8 cm (Subparcela C). 3) Se ubicaron en dos esquinas las parcelas de 5m\*2m en la que se midieron los individuos con CAP  $\geq$  3.2 cm (Subparcelas B). 4) Se midió la cobertura y altura de las herbáceas con las cuadrículas de 1 m<sup>2</sup> (Subparcelas A), ubicando 10 veces la cuadrícula alrededor de la subparcelas D. Ver figuras 2 y 3. De acuerdo al tamaño de la subparcela se obtuvieron diferencias en el número de especies registradas (Anexo 5).



**Figura 1.** Áreas de estudio seleccionadas. A) Draga 5: Inició el proceso de restauración en el 2011. B) Zona 505: Actividades de restauración iniciadas en el 2002. C) Caño la 3: Zona con 29 años de regeneración natural, posterior a la minería aluvial. D) Sabalito: Bosque natural

Dentro de cada PMW se registraron datos de fecha, localidad, coordenadas, altitud, y se identificaron las especies de árboles, arbustos y hierbas. En los casos en que no se pudo identificar la especie en campo, se recolectaron 2 muestras botánicas de cada una, posteriormente las muestras fueron identificadas por especialistas en el Herbario de la Universidad de Antioquia.



**Figura 2.** Diagrama de las parcelas modificadas de Whittaker. Tomado de Cambell, 2002.



**Figura 3.** Vista de las Parcelas Modificada tipo Whittaker (PMW). En: Imagen de la izquierda Sabalito, imagen de la derecha Zona 505.

### 4.3 Medición de los parámetros

En campo los 3 parámetros que se midieron fueron: La altura, el DAP y la cobertura. Los cuales se explican a continuación:

#### 4.3.1 La altura

Es una medida útil para conocer la estratificación de la comunidad, en el presente estudio se tomaron los estratos propuestos por Rangel y Velázquez, (1997): Arbóreo superior > 25 m; arbóreo inferior 12-25 m; arbolitos 5-12 m; arbustivo 1,5-

5 m; herbáceo 0,3-1,5 m y rasante < 0,3 m. Se midió la altura de los estratos rasantes, herbáceos y arbustivos por medio de cinta métrica y la medición de los



estratos superiores se realizó a través de un cálculo visual, ver figura 4.

**Figura 4.** Medición de la altura en campo.

Se calculó su distribución en cada zona creando intervalos de clase a través de la ecuación planteada por Rangel y Velásquez, 1997:

$$C = (X_{\text{máx.}} - X_{\text{mín.}}) / m$$

Donde C= amplitud del intervalo; X= Parámetro a analizar; m=  $1 + 3.3 \log N$ ; N= N° de individuos.

#### **4.3.2 El DAP**

El Diámetro a la altura del Pecho, es una medida directamente relacionada con el cálculo del área basal; que sirve para conocer los índices de valor de importancia (IVI), de predominio fisionómico (IPF) e índice de valor de importancia para las familias (IVF) (Rangel y Velásquez, 1997). El DAP se midió en individuos con un  $DAP \geq 1$  cm. En los árboles la medición se realizó a 1.3 m, midiendo con una cinta métrica el CAP (Circunferencia a la Altura del Pecho) en centímetros, ver figura 5. Y se transformó posteriormente a DAP con la fórmula:

$$DAP = CAP / \pi.$$

Para las plantas ramificadas por debajo de la altura del pecho se tomó el CAP de cada ramificación y se calculó el DAP total (DAP t), según lo propuesto por Franco-Roselli et al (1997), con la fórmula:

$$DAP\ t = (4At / \pi)^{1/2}$$

Donde el área total (At) es:

$$At = \sum A_i; A_i = \pi (DAP)^2; A_i = \text{Área de cada brote.}$$

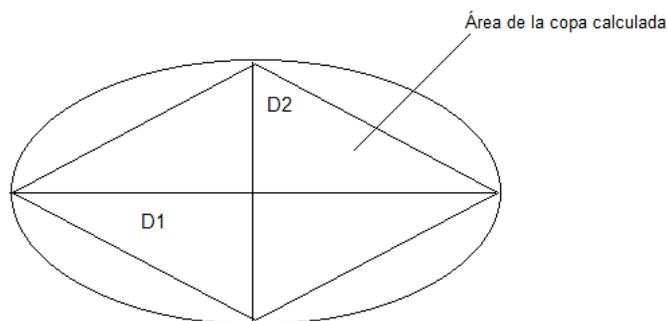
Para las clases diamétricas se asumieron los rangos de acuerdo a los diámetros que proponen las PMW para realizar las subparcelas, obteniendo las siguientes clases diamétricas: 1-4,9 cm; 5-9,9 cm y  $\geq 10$  cm.



**Figura 5.** Medición del CAP en campo.

#### **4.3.3 La cobertura**

Esta medida contribuye a determinar la dominancia o formas de vida, ayuda a caracterizar la estructura de la comunidad, y puede ser usada para calcular índices de dominancia (Matteucci y Colman, 1982). En campo se obtuvo por el cálculo directo en metros cuadrados del área que proyectó sobre el suelo la copa de cada individuo de los estratos altos y por medición directa con cinta métrica, en los estratos bajos. Se tomaron dos medidas Diámetro mayor (D1) y Diámetro menor (D2) (Rangel y Velázquez, 1997). Ver figura 5.



**Figura 5.** Método para calcular la cobertura de la copa según Rangel y Velázquez (1997).

#### **4.4 Estimación de la composición florística**

Con las especies registradas en cada parcela se realizó un listado de las especies encontradas en cada área de estudio. Comparando entre las áreas estudiadas el número total de especies, familias y géneros en cada zona (Anexo 2, 3 y 4). Al igual que la distribución de las especies de acuerdo a los estratos. Por último, se registro el tipo de hábito, y algunas características ecológicas para las especies con mayor porcentaje de cobertura en los diferentes estratos (Anexo 8) lo anterior a través de una revisión bibliográfica, en la que fue de gran importancia la pagina web: <http://tropicos.org/> y algunos bases de datos de especies invasoras como <http://www.cabi.org/ISC/>. Adicionalmente, se realizó una revisión para las principales familias que dominaron cada una de las áreas de estudio (Anexo 9).

Para comparar la similitud florística entre las zonas, se calcularon los índices de similitud de; Jaccard y Bray-Curtis, a través del programa estadístico Past. El Índice de Jaccard: refleja la relación entre el número de especies compartidas con el número total de especies exclusivas de las zonas y compara la similitud florística cualitativa (Villareal, et al, 2006). 2) Índice de Bray-Curtis, compara la similitud florística cuantitativa, teniendo en cuenta la abundancia de las especies, anexo 6. (Ramírez, 2006).

#### **4.5 Cálculo de los índices de diversidad**

Para cada zona estudia se estimaron los índices de diversidad de Shannon, Simpson. El índice de equidad de Shannon, es un índice proporcional que asume que todas las especies son colectadas al azar y se encuentran representadas en la muestra, generalmente su valor varia entre 1.5 y 3.5. Por otro lado, el índice de diversidad de Simpson, es un índice de dominancia que hace referencia a la posibilidad de extraer individuos de la misma especie en una muestra (Ramírez, 2006).

#### **4.6 Cálculo del IVI e IVF.**

En cada zona para cada individuo con DAP  $\geq 1$  cm se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) el Índice de Valor de importancia para Familias (IVF).

1) Para calcular el IVI primero se calculó la densidad (DeR), dominancia (DoR) y frecuencia relativa (FR) relativa y posteriormente se sumaron estos tres parámetros (Finol, 1976). Donde:

\* DeR = número de individuos de la especie / Número total de individuos x 100.

\* DoR = área basal de la especie / área basal total x 100.

\* FR= número de veces en que se repite una especie/ número total de submuestras x 100.

2) Con el fin de conocer la importancia ecológica de las familias en cada bosque se calculó el IVF como la sumatoria de densidad, dominancia y riqueza relativa (RR) (Mori y Boom, 1983). En el que:

RR= Especies por familia/n° total de especies x 100.

3) Para diferenciar las especies dominantes de acuerdo al estrato (Arbustivo, arbolito, arbóreo inferior y superior), se calculó el IPF, como la sumatoria de la dominancia, cobertura (CR) y densidad relativa (Rangel y Velázquez, 1997):

\* CR= Cobertura de la especie/cobertura total de la especie que conforma el estrato x 100.

#### **4.7 Análisis de Componentes Principales**

Es una de las técnicas de ordenación de la estadística. En la que se reduce la dimensionalidad, en dos ejes o componentes principales y otro número de componentes que no se ven en la gráfica, los cuales almacenan varianzas menores (Ramírez, 1999). En el presente estudio se utilizó el programa estadístico Past. Con las coberturas relativas de cada una de las especies se realizó el ACP. Otras variables a las que se le aplicó este análisis fue a la altura y DAP promedio de las especies (Anexos 11 y 12).

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, L. (2007) Plantas útiles de la Cuenca del Orinoco. BP Exploration Company, Bogotá.
- Aguilar, E., y Venegas, H. (2009) Estudio de la dinámica de la sucesión vegetal como herramienta para la formulación de modelos de rehabilitación en áreas afectadas por la minería aluvial. *Redesma*, marzo, 1-6.
- Alfonso, R. y Murillo, J. (2000) Pteridófitos de Colombia III. Los Pteridófitos de la región de Araracuara (Amazonia Colombia). *Biota Colombiana*, 1 (2), 217-223.
- Andrés, P. (2009) Minería y planificación del territorio: un juego de escalas. En Barrera, C.J., Contreras, R.S., Ochoa, C.A., Perilla, C.S., Garzón, Y.N., y Camacho, R. (Eds.), *Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto*. (pp. 57-70). Bogotá: Escuela de restauración ecológica.
- Alvarado, B. (1995) *Experiencia de manejo y adaptación de especies vegetales en áreas degradadas por minería de oro*. Ministerio del medio ambiente, Medellín.
- Barrera, J., Contreras, S., Garzón, N., y Moreno, A. (2010) *Manual para la restauración Ecológica de los ecosistemas disturbados del distrito capital*. Secretaría distrital de Ambiente (SDA) y Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), Bogotá.
- Barrera, J., y Valdés, C. (2007) Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*, 12 (2), 11-24.
- Bradshaw, A. (1997) Restoration of mined lands – using natural processes. *Ecological Engineering*. 8, 255 – 269.
- Bradshaw, A. (2000) The use of natural processes in reclamation-advantages and difficulties. *Landscape and urban planning*, 51, 89-100.
- Brown, S. y Lugo, A. (1994) Rehabilitation of tropical lands: A key to sustaining development. *Restoration Ecology*, 2(2), 97 – 111.
- Cambell, P. et al. (2002) Modified Whittaker plots as an assessment and monitoring tool for vegetation in lowland tropical rainforest. *Environmental Monitoring and Assessment*, 76, 19-41.
- Carrillo, M., Rivera, O. y Sánchez, R. (2007). Caracterización florística y estructural del bosque seco tropical del cerro tasajero, San José de Cúcuta (Norte de Santander Colombia). *Actual biol*, 29 (86), 55-73.
- CIA (Centro de Investigaciones Ambientales), (1988) *Estudio de Impacto ambiental por Minería Aurífera en el Bajo Cauca y Nordeste Antioqueño*. Universidad de Antioquia, Medellín
- Clements, F. E. (1916) Plant succession. Carnegie Inst. of Washington, Publ. 242.
- Chavez, S. (2010) *Paspalum conjugatum* P.J. Bergius. (Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/paspalum-conjugatum/fichas/ficha.htm>) consultado el 5 de noviembre de 2012.
- Codilla, L. y Metillo, E. (2011) Distribution of the invasive plant species *Chromolaena odorata* L. in the Zamboanga Peninsula, Philippines. *IPCBE*, 15, 25-30.

- Comiskey, et al. (2001) The vegetation communities of the Lower Urubamba region, Peru. En: Alonso, A., Dallmeier, F., y Campbell, P. (Eds). Urubamba: The biodiversity of Peruvian rainforest. SI/MAB Biodiversity Program. Washington, D.C.
- Connell, J. (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1302–1310.
- Connell, J., y Slatyer, R. (1977) Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, 111, 1119-1144.
- Cumana, L. (2010) Clave para especies de *Ludwigia* L. (Onagraceae) de la región nor-oriental e insular de Venezuela depositadas en el herbario IRBR. *Acta Bot. Ven.* 33 (2) 299-327.
- Díaz, W.A., y Elcoro, S. (2009) Plantas colonizadoras en áreas perturbadas por la minería en el estado, Bolívar. *Acta botánica de Venezuela*, 32 (2), 453-466.
- Domínguez F., Lozoya. X y Simon, J. (2006) Tissue culture regeneration of a medicinal plant from Mexico: *Piper auritum* Kunth. *HortScience*, 14 (1), 207-209.
- Dugan, P., Durst, P., Ganz, C., y McKenzie, P. (2003) Advancing assisted natural regeneration (ANR) in Asia and the Pacific. Bangkok: FAO.
- Espitia, M. et al. (2010) Ganancia genética esperada en la selección de Acacia (*Acacia mangium* Willd) en Córdoba Colombia. *Revista U.D.C.A*, 13 (2), 99-107.
- Fierro, J. (2011) *La minería en Colombia: amenazas sociales y económicas*. Documento no publicado. Bogotá: Escuela de Restauración Ecológica.
- Finol, H. (1976) Estudio fitosociológico de las unidades 2 y 3 de la Reserva Forestal de Carapo, Estado de Barinas. *Acta Botánica Venezuelica*. 10 (1-4): 15-103.
- Francis, J. (S.F) *Casearia decandra* Jacq. Tostado (Disponible en: <http://www.fs.fed.us/global/iitf/pdf/shrubs/Casearia%20decandra.pdf>) consultado el 5 de noviembre de 2012.
- Franco-Roselli, P., Betancur, J., y Fernández-Alonso, J.L. (1997) Diversidad florística en dos bosques subandinos del sur de Colombia. *Caldasia*. 19 (1-2), 205-234.
- García, L., Barros, F., and J. Lemos. (2009) Fructification phenology as an important tool in the recovery of iron mining áreas in Minas Gerais, Brazil. *Journal Biology*, 69, 887-893.
- Ghorbani, J. Taya, A., Shokri, M., y Naseri, H. (2011) Comparison of Whittaker and Modified-Whittaker plots to estimate species richness in semi-arid grassland and shrubland. *Desert*, 16, 17-22.
- Gleason, H. (1926) The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 53, 7-26
- Glenn, D. Peet. R. y Veblen, T. (1992) *Plant succession theory and prediction*. Chapman & Hall, Gran Bretaña.
- Gould, S. F. (2012) Comparison of post-mining rehabilitation with reference ecosystems in Monsoonal eucalypt woodlands, northern Australia. *Restoration Ecology*, 20, 250-259.

- Guariguata, M., y Kattan, G. (Eds.) (2002) Ecología y conservación de bosques neotropicales. Ediciones LUR, Costa Rica.
- Hanan, A. y Mondragon, J. (2009). Rubiaceae *Borreria latifolia* (Aubl.) K. Schum (Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/rubiaceae/borreria-latifolia/fichas/ficha.htm>) consultado el 5 de noviembre de 2012
- Hobbs, R. J. y Norton, D.A. (1996) Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 4, 93–110.
- Holl, K. D. (2002) Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA. *Journal of applied ecology*, 39, 960-970.
- Hoyos, J. (1994) Guía de árboles de Venezuela. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle.
- INGEOMINAS, (1985) *Análisis de los efectos ocasionados por las explotaciones auríferas en la zona de Zaragoza-El Bagre-Cuturu, departamento de Antioquia*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional del centro de Antioquia.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (2004) Tipos de explotaciones mineras. En IGME *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. (pp. 13-21). España: estudios y proyectos mineros S.A.
- Jefferson, L. V. (2004) Implications of plant density on the resulting community structure of mine site land. *Restoration Ecology*, 12, 429-438.
- Korb, J., Covington, W., y Fulé, P. (2003) Sampling techniques influence understory plant trajectories after restoration: an example from ponderosa pine restoration. *Restoration Ecology*, 11 (4), 504-515.
- Lamb, D., y Gilmour, D. (2003) Rehabilitation and restoration of degraded forest. WWF y IUCN, Suiza.
- Langeland, K. y Craddock, K. (1998) Identification and biology of non-native plants in Florida's natural areas. University of Florida, Gainesville.
- Mahecha. G. y Echeverri. R. (1983) Árboles del Valle del Cauca. Litografía Arco. Bogotá.
- Margalef, R. (1968) *Perspectives in Ecological Theory*. University of Chicago, Chicago
- Martínez, M., y García, X. (2007) Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la sociedad botánica de México*, 80, 69-84.
- Mateucci, S., y Colma, A. (1982) *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C.
- Mendoza, H. y Ramírez, B. (2000) Plantas con flores de la planada. Guía ilustrada de familias y géneros. IIAVH, WWF y FES, Bogotá.
- Mineros S.A. (2004) Mineros S.A. 30 años 1974-2004. Colina, Medellín.

- Mineros S.A. (2012) Mineros S.A. busca aumentar su producción de oro con inversiones (Disponible en: <http://www.mineros.com.co/es/noticias/historico-de-noticias/97-busca-aumentar-produccion>) Consultado el 2 de octubre de 2012.
- Ministerio de Minas y Energía. (2003) *Glosario técnico minero*. Bogotá.
- Miranda, M., et al, (2003) *Mininig and critical ecosystems mapping the risk*. World Resources Institute, Washington.
- Mondragón, J. (2009) Verbenaceae Lantana camara L. (Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/verbenaceae/lantana-camara/fichas/ficha.htm>) Consultado el 5 de noviembre de 2012.
- Mudd, G. (2009) *The Sustainability of Mining in Australia: Key Production Trends and Their Environmental Implications for the Future*. Monash University: Department of civil engineering.
- Ocampo, J. et al. (2007) Diversity of Colombian passifloraceae: biogeography and updated list for conservation. *Biota colombiana*, 8 (1), 1-45
- Paynter, Q. (2005) Evaluating the impact of a biological control agent *Carmenta mimosa* on the woody wetland weed *Mimosa pigra* in Australia. *Journal of Applied Ecology*, 42, 1054-1062.
- Parrota, J. Knowles, O. y Wunderle, J. (1997) Development of floristic diversity in 10 years old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forestry Ecology and Management*, 99, 21-42.
- Parrota, J. y Knowles, O. (2001) Restoring tropical forest on lands mined for bauxite: examples from the Brazilian Amazon. *Ecological Engineering*, 17, 219-239.
- Pickett, S. y Whitte, P. (1985) *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic press Inc, San Diego.
- Prach, K. y Hobbs, R. (2008) Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. *Restoration ecology*, 16, 363-366.
- Puertas, M. et al. (2009) Capacidad antioxidante in vitro de fracciones de hojas de Piper peltatum. *Revista cubana de plantas medicinales*, 14 (2), 11.
- Rangel, J., y Velásquez, A. (1997) *Métodos de estudio de la vegetación*. En: Colombia Diversidad Biótica II. Editorial Guadalupe. Santafé de Bogotá D.C. Colombia. Pp: 59 – 87.
- Ramírez, A. (1999) *Ecología aplicada: Diseño análisis estadístico*. Fundación universitaria Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Ramírez, A. (2006) *Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Ribeiro, R., et al. (2011) Large-Scale ecological restoratio of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest ecological and managment*, 261, 1605-1613.
- Sánchez, V. Bueno, G. y Pérez, R. (2002) *Evaluación agronómica de especies nativas con potencial forrajero en el departamento del Guaviare*. Ministerio de Agricultura y Dessarrollo Rural de Colombia, Bogotá.

- Seefeldt, S., Conn, J., Zhang, M., y Kaspari, P. (2010) Vegetation changes in conservation reserve program lands in interior Alaska. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 135, 119-126.
- Shmida, A. (1984) Whittaker's plant diversity sampling method. *Israel J. Bot.* 33, 41–46.
- Shono, K. Cadaweng, E. y Durst, P. (2007) Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forest land, *Restoration ecology*, 15, 620-626.
- Society for Ecological Restoration (SER), (2004) *Principios de SER internacional sobre la restauración ecológica*. Tucson.
- Stohlgren, T., et al. (1995) A modified-Whittaker nested vegetation sampling method. *Vegetation*, 117, 113-121.
- Thornton, I. (1996) Impacts of mining on the environment: some local, regional and global issues. *Applied geochemistry*, 11, 355-361.
- Tilman, D. (1988) *Dynamics and structure of plant communities*. Princeton University Press.
- Tischew, S., y Kirmer, A. (2007) Implementation of Basic Studies in the Ecological Restoration of Surface-Mined Land. *Restoration ecology*, 15, 321-325.
- Toro, J. (2009) *Estado del conocimiento de la flora silvestre en la jurisdicción de CORANTIOQUIA*. CORANTIOQUIA, Medellín.
- Tripathi, N., y Shekhar, R. (2008) Ecological restoration of mined-out áreas of dry tropical environment, India. *Environmental monitoring and assessment*, 143 (3), 325 – 337.
- UPME, (2006) *Colombia país minero, plan nacional para el desarrollo minero, visión al año 2019.*: Ministerio de minas, Bogotá.
- Yamashita, N. Ohta, S. y Hardjono, A. (2008). Soil changes induced by *Acacia mangium* plantation establishment: Comparison with secondary forest and *Imperata cylindrica* grassland soils in South Sumatra, Indonesia. *Ecology management*, 254, 362-370.
- Valverde et al, (2005) *Ecología y medio ambiente*. Pearson, México.
- Vargas, J. (2008) *Los disturbios como dinamizadores de los ecosistemas*. En: Barrera, J., Aguilar, M., y Rondón, D. Experiencias de restauración ecológicas en Colombia “entre la sucesión y los disturbio”. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Vargas, W. (2002) Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales. Universidad de Caldas, Manizales.
- Villareal, et al. (2006) *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Instituto de Investigaciones de recursos biológicos Von Humboldt, Bogotá. 236 pp.
- Walker, L. (2005) Margalef y la sucesión. *Ecosistemas*, 14 (1), 66-78.
- Zomlefer, W. (1994) *Guía de las familias de plantas con flor*. University of North Carolina, Zaragoza (España).

## 6. ANEXOS

**Anexo 1.** Coordenadas geográficas y elevación de cada una de las parcelas en las áreas de estudio.

	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
<b>Sabalito</b>	1362041,49	922807,071	1362125,92	922491,793	1362545,36	922432,726
	1362020,07	922750,452	1362121,56	922468,626	1362535,54	922425,909
	1362044,34	922753,28	1362164,81	922453,84	1362562,34	922383,188
	1362052,56	922800,656	1362175,69	922470,371	1362568,77	922391,929
<b>Altura msnm</b>	46		49		50	

	Parcela 4		Parcela 5		Parcela 6	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
<b>Caño la 3</b>	1331938,72	917504,118	1331781,41	917615,831	1331158,28	917063,244
	1332010,76	917501,262	1331764,43	917601,788	1331173,39	917017,254
	1331987,8	917479,202	1331807,51	917575,867	1331161,39	917012,226
	1331987,79	917482,204	1331792,55	917551,823	1331165,39	917014,235
<b>Altura msnm</b>	80		70		66	

	Parcela 7		Parcela 8		Parcela 9	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
<b>Zona 505</b>	1341276,30	922312,49	1341638,72	922215,43	1341505,34	922031,121
	1341273,11	922333,24	1341665,81	922180,50	1341526,73	922026,589
	1341321,34	922338,28	1341678,6	922189,80	1341519,54	921993,293
	1341318,05	922322,55	1341643,23	922229,31	1341492,84	921976,239
<b>Altura msnm</b>	68		65		52	

	Parcela 10		Parcela 11		Parcela 12	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
<b>Draga 5</b>	1355521,25	919992,59	1355415,14	920007,911	1355386,94	920202,713
	1355499,68	919969,39	1355360,31	919966,423	1355407,04	920200,007
	1355490,09	919943,36	1355402,71	919959,908	1355394,19	920148,235
	1355511,20	919941,56	1355418,27	920008,345	1355373,22	920153,776
<b>Altura msnm</b>	46		50		49	

**Anexo 2.** Familias y especies encontradas por zona. Con su nombre común y hábito de crecimiento.

Familia/Especie	Nombre vulgar	Hábito	Origen*	Sabalito	Caño la 3	Zona 505	Draga 5
AMARANTHACEAE							
<i>Cyathula achyranthoides</i> (Kunth) Moq.	Pega pega	Hierba	N			X	
ANACARDIACEAE							
<i>Ochoterena colombiana</i> F.A. Barkley		Arbusto	N			X	
<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	Árbol	N	X	X	X	
<i>Spondias radlkoferi</i> Donn. Sm.	Jobo roño	Árbol	N	X	X		
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.		Árbol	N	X			
ANNONACEAE							
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart	Cedro	Arbol	N		X		
APOCYNACEAE							
<i>Mandevilla sp</i> Lindl.		Liana	N				X
ARACEAE							
<i>Monstera adansonii</i> Schott.	Balazo	Hierba	N	X	X	X	
<i>Monstera sp.</i>	Balazo	Hierba	N	X			
<i>Syngonium podophyllum</i> Schott		Hierba	N	X			
ARALIACEAE							
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin	Patagallina	Árbol	N		X		
ASTERACEAE							
<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.	Rosa vieja	Arbusto	N			X	
BIGNONIACEAE							
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	Chingalé	Arbusto	N	X			
<i>Jacaranda hesperia</i> Dugand	Chingalé	Arbusto	N	X			
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) A. DC.	Roble	Arbusto	N			X	
BIXACEAE							
<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud.	Papayote	Arbusto	N	X			
BOMBACACEAE							
<i>Pseudobombax septenatum</i> (Jacq.) Dugand	Ceiba verde	Árbol	N		X		
BORAGINACEAE							
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Mamón	Árbol	N	X	X		
<i>Cordia bogotensis</i> Benth.	Solera/Molinillo	Árbol	N		X	X	
BURSERACEAE							
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Indio encuero	Árbol	N	X	X		
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze		Árbol	N		X		
CANNABACEAE							
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Barraco	Árbol	N	X			

Familia/Especie	Nombre vulgar	Hábito	Origen	Sabalito	Caño la 3	Zona 505	Draga 5
CLUSIACEAE							
<i>Clusia lineata</i> (Benth.) Planch. & Triana		Arbusto	N		X		
COMBRETACEAE							
<i>Terminalia catappa</i> L.	Almendro	Árbol	N		X		
COSTACEAE							
<i>Costus sp</i> L.		Hierba	N			X	
CUCURBITACEAE							
<i>Momordica charantia</i> L.	Balsamina	Hierba	N			X	
CYPERACEAE							
<i>Cyperus ferax</i> Rich.		Hierba	E				X
<i>Cyperus luzulae</i> (L.) Rottb. Ex Retz.	Botón blanco	Hierba	N			X	X
<i>Cyperus odoratus</i> L.	Pasto estrella	Hierba	N		X	X	
<i>Cyperus simplex</i> Kunth		Hierba	N				X
<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl.		Hierba	N				X
<i>Oxycaryum cubense</i> (Poepp. & Kunth) Palla	Cortadera	Hierba	N		X	X	X
<i>Scleria melaleuca</i> Rchb. Ex Schltl. & Cham.	Cortadera	Hierba	N			X	
DILLENACEAE							
<i>Davilla kunthii</i> A. St.-Hil.	Chumico	Liana	N		X		
EUPHORBIACEAE							
<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.	Azulito	Árbol	N	X	X		
<i>Alchornea costaricensis</i> Pax & K. Hoffm.		Árbol	N		X		
<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	Vara blanca	Árbol	N	X			
<i>Euphorbia dioeca</i> Kunth.		Hierba	N				X
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Ñipi ñipi	Arbusto	N			X	
FABACEAE							
<i>Acacia mangium</i> Willd.	Acacia	Árbol	E			X	X
<i>Albizia carbonaria</i> Britton	Tamarindo	Árbol	N	X			
<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.		Árbol	N		X		
<i>Cassia grandis</i> L. f.		Árbol	N		X		
<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	Cadillo	Hierba	N			X	
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	Cadillo	Hierba	N			X	
<i>Dipteryx 44ámara44á</i> Benth.	Choíba	Árbol	N		X	X	
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Orejero	Árbol	N		X	X	
<i>Erythrina fusca</i> Lour.	Canta gallo	Árbol	N			X	
<i>Erythrina rubrinervia</i> Kunth.	Canta gallo	Árbol	N	X	X		
<i>Lonchocarpus macrophyllus</i> Kunth.	Dormilón	Árbol	N	X			
<i>Machaerium sp.</i>		Árbol	N			X	
<i>Mimosa pigra</i> L.	Zarza	Arbusto	I			X	X
<i>Mimosa pudica</i> L.	Zarza	Hierba	E			X	X

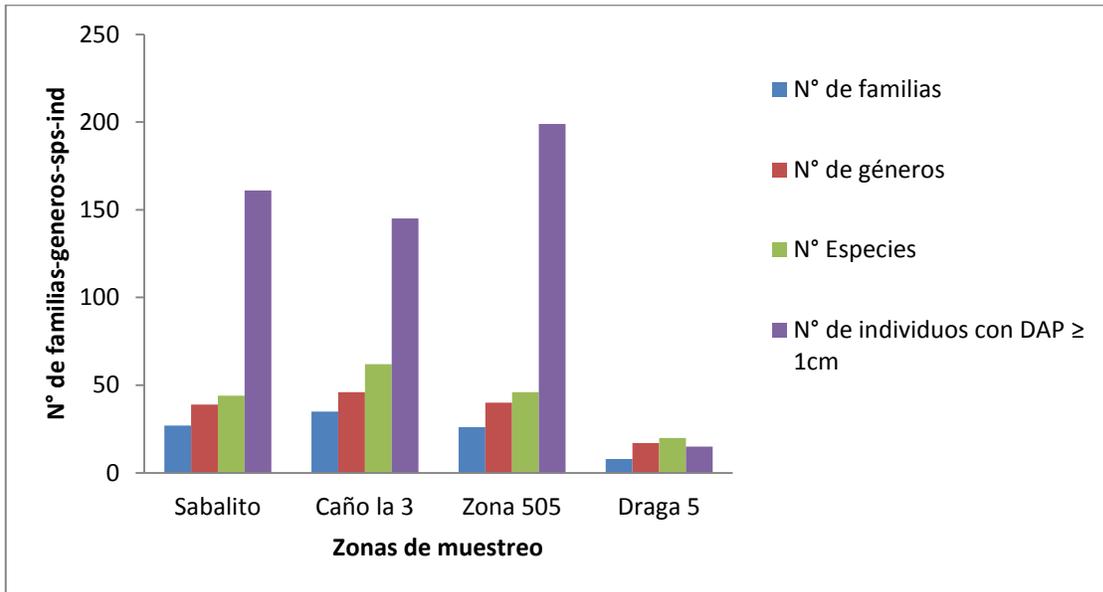
Familia/Especie	Nombre vulgar	Hábito	Origen	Sabalito	Caño la 3	Zona 505	Draga 5
<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Campano	Árbol	N		X	X	X
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake.	Tambor frijolito	Árbol	N	X		X	X
<i>Senna bacillaris</i> (L. f.) H.S. Irwin & Barneby	Comboto	Árbol	N	X			
HYPERICACEAE							
<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Lacre	Árbol	N	X			
LAURACEAE							
<i>Cinnamomum triplinerve</i> (Ruiz & Pav.) Kosterm.		Árbol	N		X		
MALPIGHIACEAE							
<i>Bunchosia hartwegiana</i> Benth.		Árbol	N		X		
MALVACEAE							
<i>Abutilon</i> sp.	Pega pega	Hierba	N			X	
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba bruja	Árbol	N	X			
<i>Corchorus hirtus</i> L.		Hierba	N				X
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guacimo	Árbol	N	X			
<i>Luehea seemannii</i> Triana & Planch.	Malagano	Árbol	N	X			
MARANTACEAE							
<i>Calathea lutea</i> Schult.	Bijao faldo	Hierba	N	X			
<i>Calathea</i> sp	Bijao	Hierba	N	X			
MELASTOMATACEAE							
<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don.	Nigito	Arbusto	N	X			
<i>Clidemia octona</i> (Bonpl.) L.O. Williams.	Nigito	Arbusto	N	X			
<i>Miconia lonchophylla</i> Naudin.	Nigito	Árbol	N		X		
<i>Miconia serrulata</i> (DC.) Naudin.	Cancobo	Arbusto	N		X	X	
MELIACEAE							
<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	Árbol	N	X			
<i>Trichilia pallida</i> Sw.	Laurel hediondo	Arbusto	N		X		
MORACEAE							
<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg.	Árbol del pan	Árbol	N	X			
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.		Árbol	N		X		
<i>Ficus dendrocida</i> Kunth.	Súan	Árbol	N		X		
<i>Ficus donnell-smithii</i> Standl.	Higeron	Árbol	N		X		
<i>Ficus insipida</i> Willd.	Higeron	Árbol	N		X	X	
<i>Ficus nymphaeifolia</i> Mill.		Árbol	N		X		
<i>Ficus obtusifolia</i> Kunth.		Árbol	N		X		
<i>Ficus schippii</i> Standl.	Cope/Higo	Árbol	N		X		
<i>Ficus</i> sp.		Árbol	N		X		
<i>Ficus tonduzii</i> Standl.	Higeron	Árbol	N	X			
MYRTACEAE							

Familia/Especie	Nombre vulgar	Hábito	Origen	Sabalito	Caño la 3	Zona 505	Draga 5
<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba de monte	Arbusto	N			X	
NYGTAGINACEAE							
<i>Guapira costaricana</i> (Standl.) Woodson.		Árbol	N		X	X	
OCHNACEAE							
<i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pav.) Planch.	Paco/Pedro tomín	Árbol	N		X	X	
ONAGRACEAE							
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven.		Hierba	N			X	X
OSMUNDACEAE							
<i>Osmunda cinnamomea</i> L.	Helecho canela	Hierba	N	X	X		
PASSIFLORACEAE							
<i>Passiflora quadrangularis</i> L.		Liana	N		X	X	
<i>Passiflora vitifolia</i> Kunth.	Patilla de culebra	Liana	N	X			
PHYLLANTHACEAE							
<i>Margaritaria nobilis</i> L. F.		Árbol	N	X			
PIPERACEAE							
<i>Piper auritum</i> Kunth.	Santa María	Hierba	N		X	X	
<i>Piper peltatum</i> L.	Santa María	Hierba	N		X	X	
<i>Piper tuberculatum</i> Jacq.	Cordoncillo	Arbusto	N			X	
POACEAE							
<i>Andropogon bicornis</i> L.	Cola de zorro	Hierba	I				X
<i>Echinochloa colonum</i> (L.) Link.	Cola de babilla	Hierba	N	X	X		
<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitchc.	Pasto aleman	Hierba	N		X	X	X
<i>Homolepis glutinosa</i> (Sw.) Zuloaga & Soderstr.	Cola de babilla	Hierba	N				X
<i>Panicum polygonatum</i> Schrad.	Gramalotillo	Hierba	N		X	X	
<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius.	Mindaca	Hierba	N			X	X
<i>Sporobolus cubensis</i> Hitchc.		Hierba	N				X
POLYPODIACEAE							
<i>Microgramma persicariifolia</i> (Schrad.) C. Presl.	Helecho	Hierba	N	X	X		
<i>Microgramma reptans</i> (Cav.) A.R. Sm.	Helecho	Hierba	N		X		
<i>Niphidium crassifolium</i> (L.) Lellinger.	Helecho	Hierba	N	X	X		
PTERIDACEAE							
<i>Adiantum tetraphyllum</i> Humb. & Bonpl. Ex Willd.	Helecho	Hierba	N	X	X		
RUBIACEAE							
<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K. Schum.		Arbusto	N			X	
<i>Palicourea croceoides</i> Desv. Ex Ham.		Arbusto	E		X		
<i>Pentagonia macrophylla</i> Benth.		Arbusto	N	X			
<i>Picramnia latifolia</i> Tul.		Arbusto	N	X			
<i>Psychotria buchtienii</i> (H.J.P. Winkl.) Standl.		Arbusto	N			X	

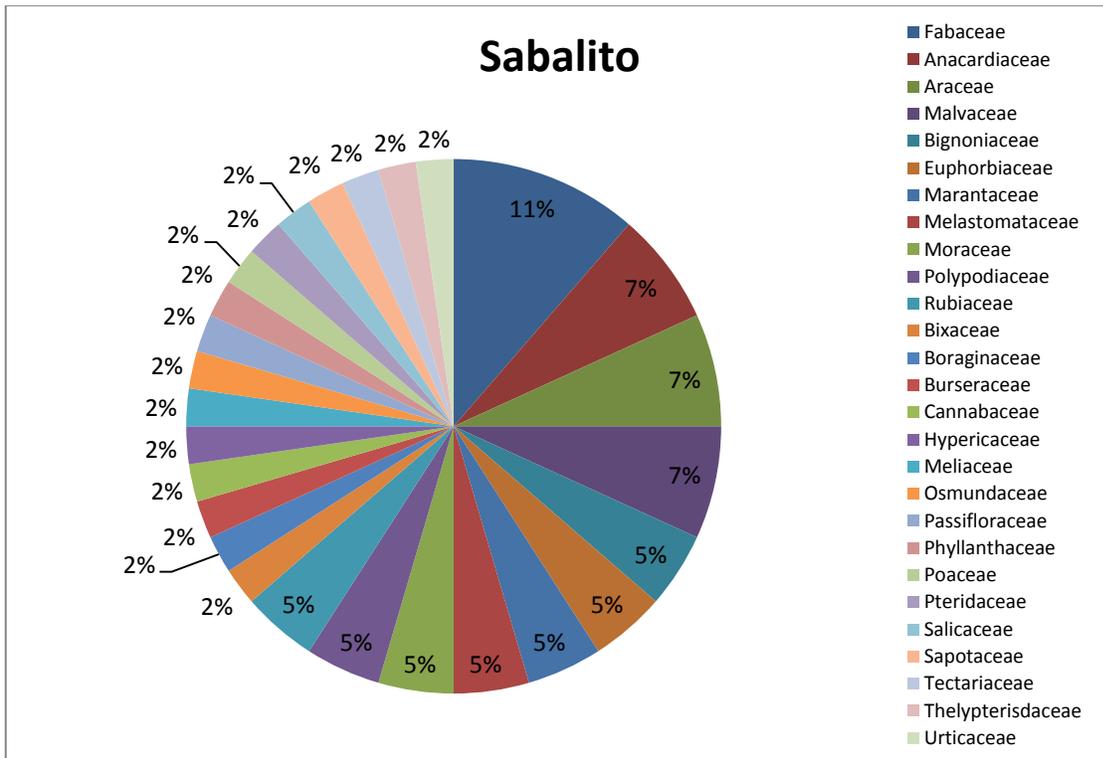
Familia/Especie	Nombre vulgar	Hábito	Origen	Sabalito	Caño la 3	Zona 505	Draga 5
<i>Spermacoce latifolia</i> Aubl.		Hierba	N				X
RUTACEAE							
<i>Fagara pterota</i> L.	Uña de gato	Arbusto	N			X	
<i>Citrus sp.</i>	Limón	Arbusto	N		X		
SALICACEAE							
<i>Casearia arguta</i> Kunth.	Azulito	Arbusto	N	X	X	X	
<i>Tetrathylacium johansenii</i> Standl.		Árbol	N		X		
SAPINDACEAE							
<i>Serjania membranacea</i> Splitg.	Pepinillo de bola	Liana	N		X		
SAPOTACEAE							
<i>Pouteria cf torta</i> (Mart.) Radlk.	Zapotillo	Árbol	N	X			
SELAGINELLACEAE							
<i>Selaginella flagellata</i> Spring.		Hierba	N		X		
SIPARUNACEAE							
<i>Siparuna sessiliflora</i> (Kunth) A. DC.		Arbusto	N		X		
SOLANACEAE							
<i>Solanum hirtum</i> Vahl.		Arbusto	N		X		
TECTARIACEAE							
<i>Tectaria draconoptera</i> (D.C. Eaton) Copel.	Helecho	Hierba	N	X		X	
THELYPTERIDACEAE							
<i>Thelypteris arborescens</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) C.V. Morton	Helecho	Hierba	N	X			
URTICACEAE							
<i>Cecropia peltata</i> L.	Guarumo/Yarumo	Árbol	N	X	X	X	
VERBENACEAE							
<i>Lantana camara</i> L.	Frutillo	Arbusto	E		X		
<i>Lantana trifolia</i> L.		Arbusto	N		X		

\*Origen: Nativa (N), Exótica (E), Invasora (I).

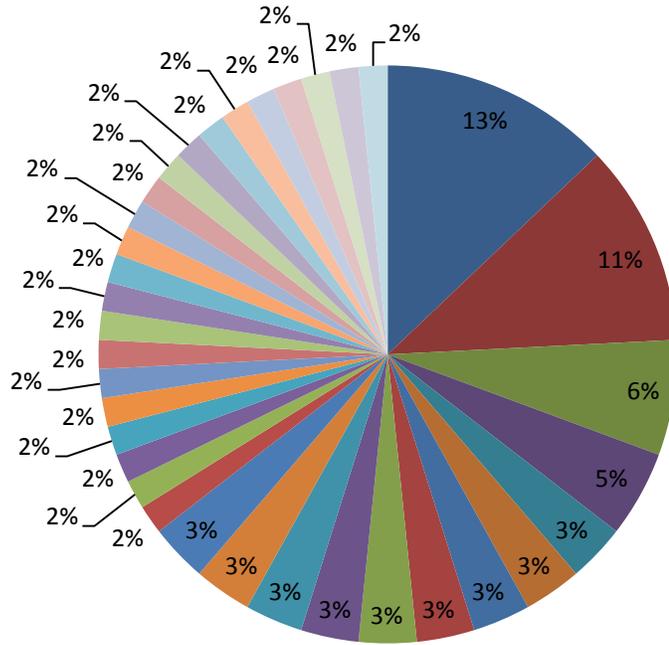
**Anexo 3.** Riqueza florística en cada una de las áreas de estudio.



**Anexo 4.** Distribución de los porcentajes para las familias en cada una de las áreas estudiadas

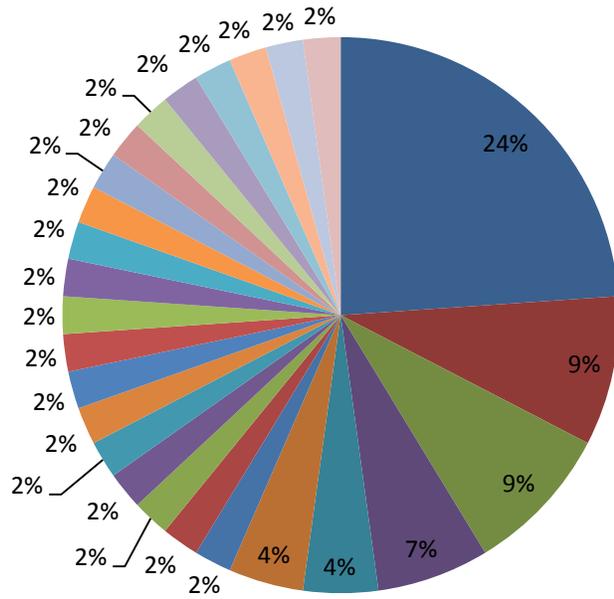


### Caño la 3

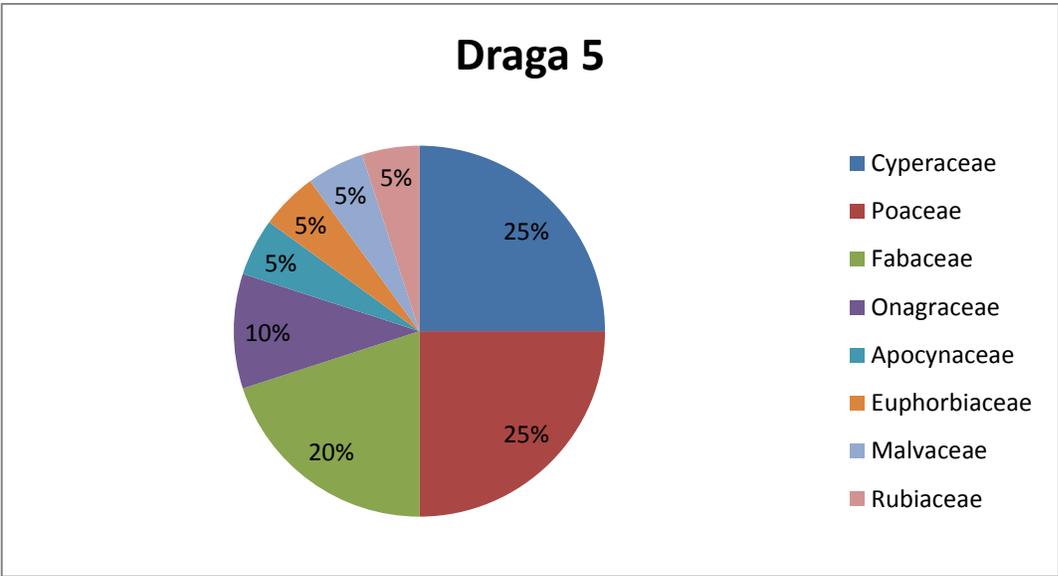


- Moraceae
- Fabaceae
- Poaceae
- Polypodiaceae
- Anacardiaceae
- Boraginaceae
- Burseraceae
- Cyperaceae
- Euphorbiaceae
- Melastomataceae
- Piperaceae
- Salicaceae
- Verbenaceae
- Annonaceae
- Araceae
- Araliaceae
- Bombacaceae
- Clusiaceae
- Combretaceae
- Dilleniaceae
- Lauraceae
- Malpighiaceae
- Meliaceae
- Nyctaginaceae
- Ochnaceae
- Osmundaceae
- Passifloraceae
- Pteridaceae
- Rubiaceae
- Rutaceae
- Sapindaceae
- Selaginellaceae
- Siparunaceae
- Solanaceae
- Urticaceae

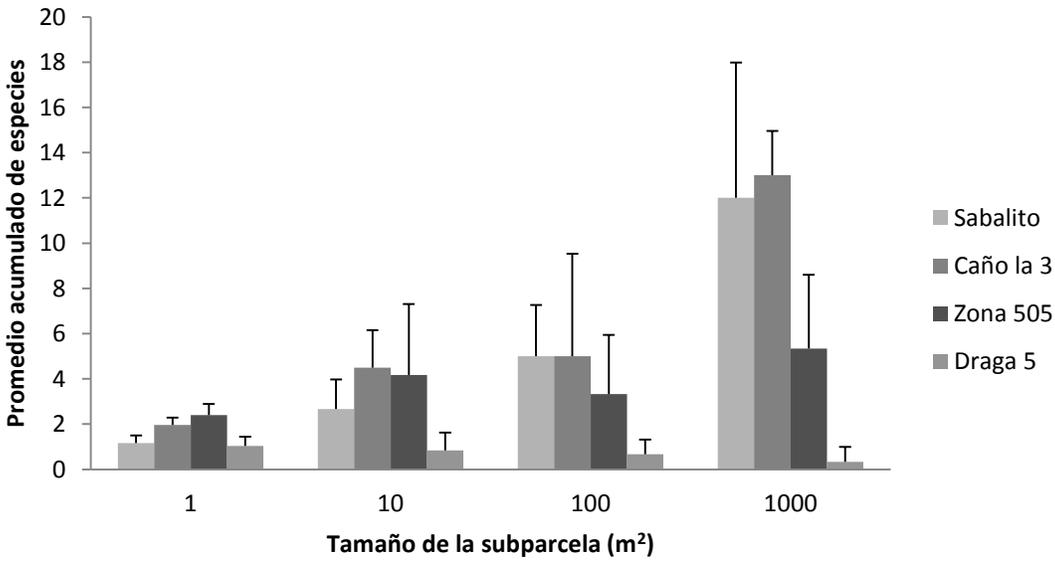
### Zona 505



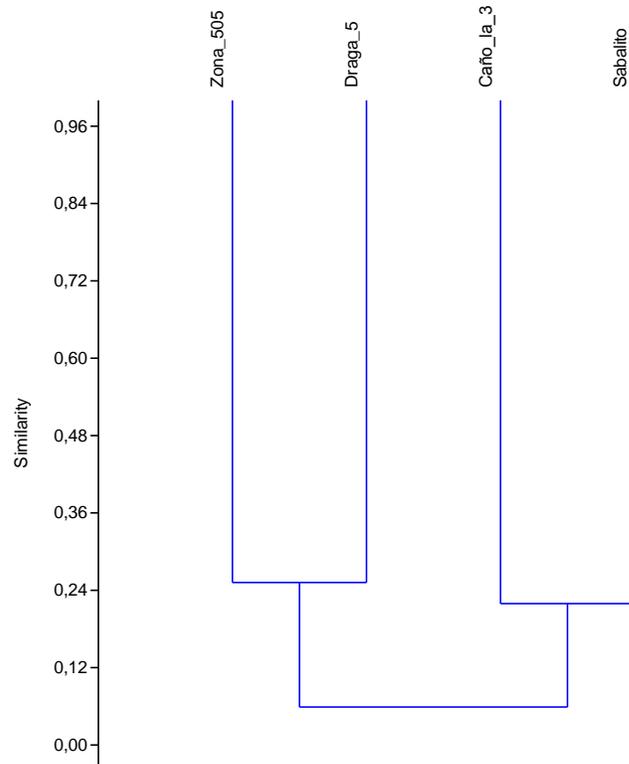
- Fabaceae
- Cyperaceae
- Poaceae
- Piperaceae
- Anacardiaceae
- Rubiaceae
- Amaranthaceae
- Araceae
- Asteraceae
- Bignoniaceae
- Boraginaceae
- Costaceae
- Cucurbitaceae
- Euphorbiaceae
- Malvaceae
- Melastomataceae
- Moraceae
- Myrtaceae
- Nyctaginaceae
- Ochnaceae
- Onagraceae
- Passifloraceae
- Rutaceae
- Salicaceae
- Tectariaceae
- Urticaceae



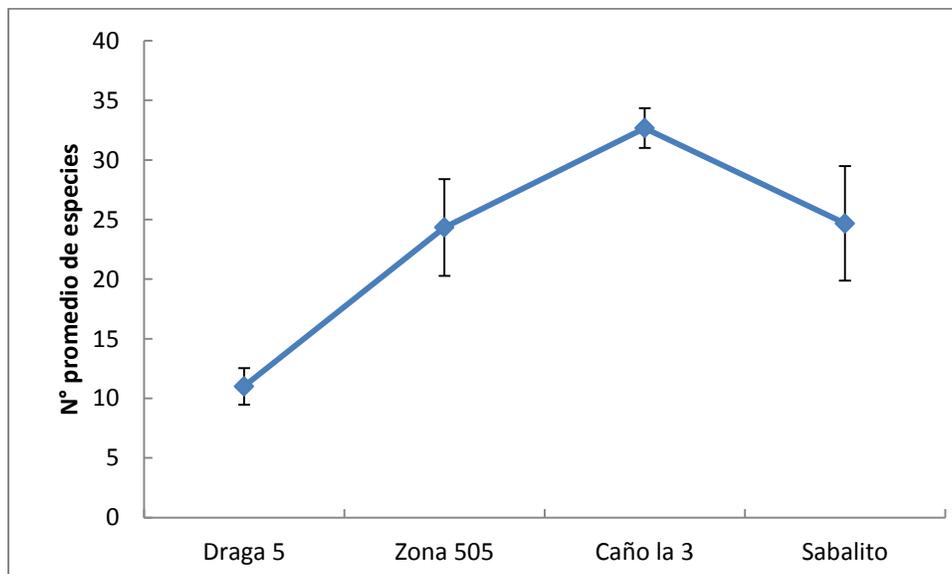
**Anexo 5.** Número de especies registradas por área de subparcela en las PMW en cada zona de estudio.



**Anexo 6.** Similitud entre las zonas según el índice de Bray-Curtis. Según los valores de cobertura relativa de las especies.



**Anexo 7.** Riqueza (promedio  $\pm$  error estandar) en cada una de la áreas muestreadas.



**Anexo 8.** Características de las principales especies que dominaron por su porcentaje de cobertura, los diferentes estratos en las áreas de estudio.

Especie	Características
<b><i>Acacia mangium</i> Willd.</b>	Es una especie nativa del noreste de Australia, del este de Indonesia, de las islas Molucas y Papua-Nueva Guinea. Presenta hojas compuestas al inicio de la germinación. Posteriormente, las hojas pasan a ser filodios simples de bordes entero, de color verde intenso. Flores en inflorescencia en forma de espiga color blanco. Y sus frutos son vainas angostas. Crece en cualquier tipo de suelo, de madera semidura, resistente y es muy usada en la actividad forestal para la producción de papel y la construcción (Espitia et al, 2010). La especie tiene una alta capacidad para la fijación de Nitrógeno, gracias a la simbiosis con bacterias que forman nódulos. Sin embargo, la acumulación de su biomasa puede llevar a la acidificación del suelo, afectando la disponibilidad de otros nutrientes (Yamashita, Ohta y Hardjono, 2008).
<b><i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.</b>	Arbusto con hojas simples, alternas, de elípticas a ovadas, base obtusa o subcordada. Inflorescencias en espigas axilares. Fruto en cápsula de 1.5 mm de longitud. Esta especies crece en suelos desde pobres y acidos hasta fértiles y en climas variados hasta los 2000 msnm. Es común en áreas degradadas, bosques aclarados, matorrales, potreros, márgenes de caminos y asociada a corrientes de agua (Sánchez, Bueno y Pérez, 2002).
<b><i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K. Schum.</b>	Hierba con hojas elípticas lanceoladas, opuestas. Flores blancas y pequeñas aglomeradas en las axilas de las hojas. Fruto globoso de hasta 3 mm. Se encuentra en lugares húmedos y pantanosos (Hanan y Mondragón, 2009). Aparece como invasora en algunas bases de datos, por ejemplo en el Compendio de Especies Invasoras (ISC) por sus siglas en ingles.
<b><i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.</b>	La característica que sobresale de esta especie es su corteza lisa y desprendible en placas. Hojas imparipinadas, alternas, helicoidales. Fruto en drupa ovoide. Crece en bosque de galerías (Acero, 2007).
<b><i>Casearia arguta</i> Kunth.</b>	Arbusto de hojas simples y alternas con el margen aserrado, de forma oblongo elíptica. Flores verdoso-blancusca de aroma dulce. Frutos en bellotas dehiscentes ovaladas de color café verdoso. Crece en suelos bien drenados, en alturas de hasta 1200 msnm. Moderadamente intolerante a la sombra. Crece en zonas perturbadas, en claros de bosque, en el sotobosque y en lugares muy pedregosos (Francis, S.F).
<b><i>Calathea lutea</i> Schult.</b>	Es una hierba gregaria, con hoja oblonga de 75x30 cm, envés blancuzco y nervio amarillento. Flores dispuestas en espata que alcanzan hasata 45 cm. Se le encuentra en la orilla de caños dominando el sotobosque (Acero, 2007).
<b><i>Cecropia peltata</i> L.</b>	Árbol de tronco recto, con el tiempo produce raíces zancudas o contrafuertes, corteza lisa gris clara, con cicatrices circulares debido a las estipulas caídas. Hojas peltadas, redondeadas, coriáceas (Hoyos, 1994). Especie pionera, de rápido crecimiento, típica de bosques secundarios y claros de bosque. Presenta simbiosis con hormigas que viven en su tronco, ideal para la reforestación (Vargas, 2002).

Especie	Características
<b><i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz &amp; Pav.) Planch.</b>	Árbol nativo de América Tropical. Hojas simples, espiraladas, con margen dentado. Flores en panículas terminales muy ramificadas, de color amarillo. Frutos en capsula elipsoide café, con semillas aladas dispersadas por el viento. La madera es utilizada para la construcción de canoas y como leña de buena calidad (Cardona, David y Hoyos, 2010).
<b><i>Chromolaena odorata</i> (Ruiz &amp; Pav.) Planch.</b>	Arbusto perenne nativo de Centro y Sur América, de rápido crecimiento. Introducido en regiones tropicales de Asia y África, donde se ha convertido en invasora. Flores en racimos blancos con potencial apícola (Codilla y Metillo, 2011).
<b><i>Cordia alliodora</i> (Ruiz &amp; Pav.) Oken</b>	Árbol de hojas simples, alternas, con margen entero y pubescencias cortas. Flores en panículas terminales, con 5 pétalos y filamentos blancos. Frutos elipsoides, con una semilla. Especie utilizada para la construcción y el sombrío (Cardona, David y Hoyos, 2010). Especie maderable, plantada como sombrío (Mahecha y Echeverri, 1983). Especies heliofita, típica de bosques secundarios, crece en suelos variados, aparece desde el nivel del mar hasta los 1900 msnm. Fácilmente dispersada por el viento (Gómez, 2010).
<b><i>Euphorbia dioeca</i> Kunth</b>	Hierba de vida corta. Hojas opuestas de hasta 8 mm de largo, asimétricas, con el margen aserrado y con pelos. Tallos tendidos sobre el suelo. Flores en inflorescencias llamadas ciatio de color verde o rojizo. Presenta latex blanco. Y se encuentra en lugares con pedregosidad y posteriores a un disturbio (Hanan, y Mondragon, 2009).
<b><i>Ficus donell-smithii</i> Standl.</b>	Árbol con fuste de hasta 60 cm de diametro. Follaje verde oscuro lustroso de textura delgada. Hojas simples alternas, helicoidales. Frutos en sicono globoso de 9 mm (Acero, 2007).
<b><i>Ficus insipida</i> Willd.</b>	Árbol nativo de América Tropical, de hojas simples, alternas, de margen entero. Con contrafuertes grandes, corteza clara y lisa, follaje que al madurar se vuelve amarillento con nervios amarillos muy notorios. Exudado blanco abundante y estipula terminal hasta de 12 cm. Crece por debajo de los 1500 msnm (Vargas, 2002). La madera es utilizada en la elaboración de chapas y estacones (Cardona, David y Hoyos, 2010). Sus frutos y semillas son consumidos y dispersados por los murcielagos. Y crece en los bosque de galeria, en suelos bien drenados (Acero, 2007).
<b><i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl.</b>	Según el "Invasive Species Compendium" es una hierba anual perenne con numerosos tallos largos de 2 mm de diámetro. Hojas numerosas, planas, formando un penacho denso en la base, sin nervadura central evidente. Es una especie considerada como invasora en países de Asia, África y algunos de América. Crece bien en suelos inundados, húmedos o con buena retención de agua. Se encuentra en alturas de hasta 1500 msnm.
<b><i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.</b>	Especie secundaria, pionera, heliófita. Es un árbol ampliamente distribuido en América Tropical. Con hojas simples, dísticas, de margen aserrada, oblongas a ovadas. Flores pequeñas, en cimas axilares y amarillas. Fruto capsular a globoso e indehisciente. Se encuentra por debajo de los 1200 msnm (Vargas, 2002). Crece en bordes de bosque de galerías. Se adapta a condiciones secas y húmedas. Como también a un amplio rango de suelos. Es una especie característica de sitios perturbados, importante en la sucesión avanzada de la selva (Acero, 2007).

Especie	Características
<b><i>Lantana camara</i> L.</b>	Arbusto presente en regiones semi-áridas y tropicales. Tallo con 4 ángulos usualmente con espinas, con o sin pelos. Hojas opuestas, lámina ovada, con margen aserrado. Corola de color naranja o rojo. Fruto agrupado color negro. Crece en zonas abandonadas, bordes de caminos. Especie de uso apícola y ornamental (Mondragón, 2009).
<b><i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven</b>	Hierbas helófitas erectas de hojas alternas, angostas de hasta 14.5 cm de largo. Con peciolo corto. Inflorescencia en las axilas de las hojas superiores. Flores con 4 pétalos amarillos. Fruto en cápsula cilíndrica. Habita en lugares húmedos (Cumana, 2010).
<b><i>Microgramma persicariifolia</i> (Schrad.) C. Presl.</b>	Epífita de tierras bajas presente en paisajes aluviales. Con rizoma largamente rastrero, con escamas de formas lanceoladas, peltadas (Alfonso y Murillo, 2000).
<b><i>Mimosa pigra</i> L.</b>	Arbusto invasor, nativo de centro América, de rápido crecimiento. Hojas bipinnadas, sensibles al tacto, con un raquis central espinoso de 20 a 25 cm de largo con 16 pares de pinnas de 5 cm de largo, cada una dividida en pares de folíolos de 3 a 8 mm de largo. Flores color rosa y frutos en legumbres café. La especie es dispersada principalmente por el agua y el ser humano. Crece en humedales y lugares secos. Se encuentra en USA, Sur este de Asia y Australia (Langeland y Craddock, 1998). Invade planicies aluviales y genera una reducción de la biodiversidad, compitiendo con las especies nativas. Como una forma de control se han hecho experimentos con especies nativas en Australia, otras alternativas para su erradicación son los químicos y la erradicación manual (Paynter, 2005).
<b><i>Monstera adansonii</i> Schott.</b>	Hierba caracterizada porque al madurar tiene agujeros. Presenta una estrategia de crecimiento rápido y una plasticidad morfológica. Presente en bosques secundarios (Tropicos.org).
<b><i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius</b>	Pasto común en los trópicos que se comporta como maleza. Caracterizado por tener estolones largos, inflorescencia pareada y delgada, espiguilla redonda y con cilios largos. Vainas glabras en la base pero pubescentes en la parte apical y la lámina va de 7 a 23 cm de largo. Crece en bosques y áreas disturbadas, común en áreas abiertas y húmedas. Crece en suelos variados con preferencia a los húmedos. Usada principalmente para el forrajeo del ganado (Chavez, 2010).
<b><i>Passiflora vitifolia</i></b>	Enredadera que alcanza hasta los 8 m de longitud. Hojas alternas divididas parcialmente en 3 lóbulos, con el lóbulo central más largo de 7 a 14 cm. Flores solitarias axilares de color rojo muy llamativas. Frutos ovoides de 5 a 8 cm (Ocampo et al, 2007).
<b><i>Piper auritum</i> Kunth.</b>	Arbusto nativo del trópico y mesamérica. Tallo grueso y erecto con nudos. Hojas grandes aromáticas, pecioladas alternas, glabras, con nervaduras membranosas y largas. Inflorescencias en espigas axilares. Frutos en drupa de 1 mm de longitud. Crece en zonas boscosas y húmedas. Se encuentra en alturas de hasta 1300 msnm. Crece mejor en terrenos con sombra o semi-sombra. Y requiere de un suelo húmedo. Por último, presenta un potencial en la medicina (Domínguez, Lozoya y Simon, 2006).

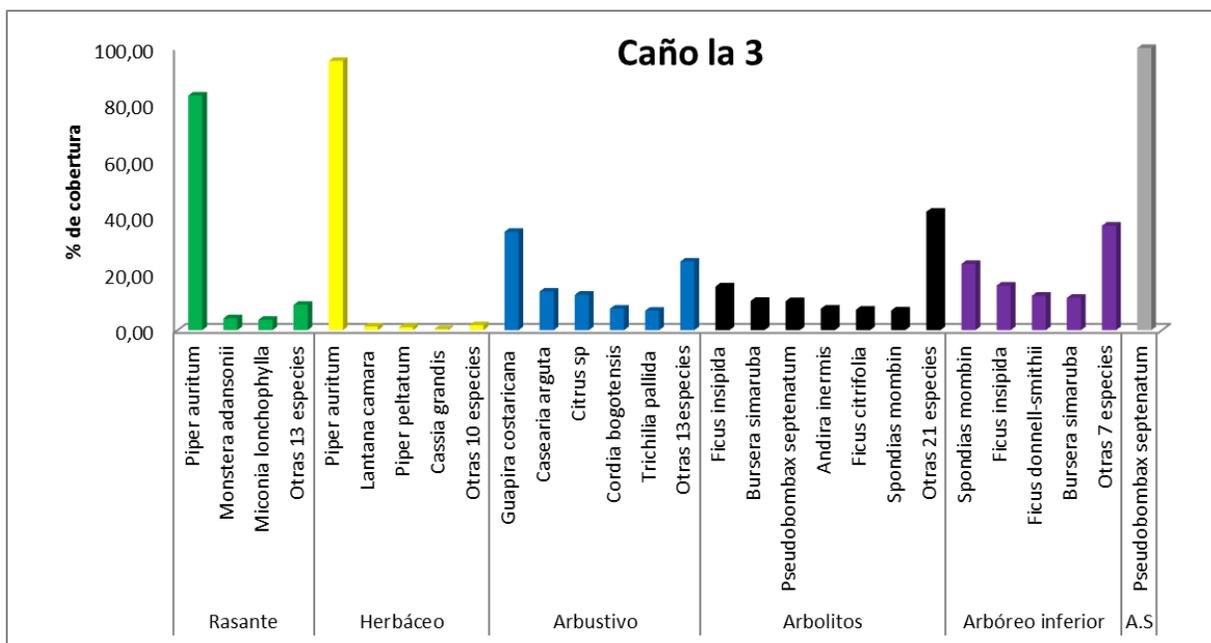
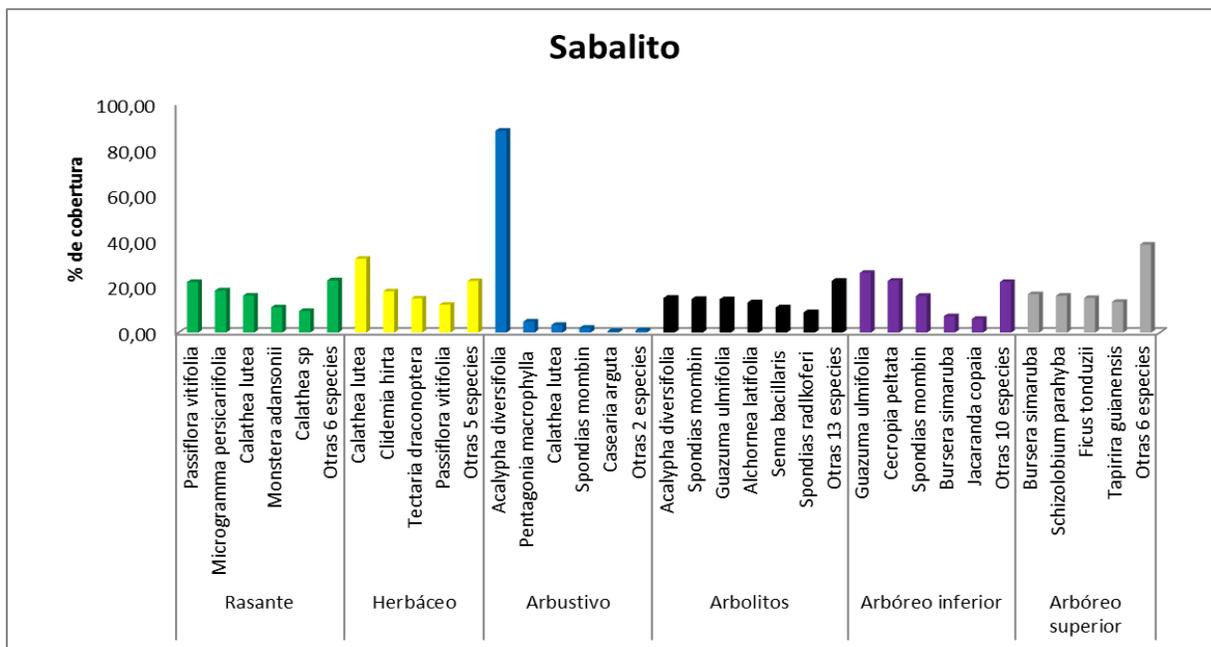
Especie	Características
<b><i>Piper peltatum</i> L.</b>	Arbusto de hojas alternas, peciolo largo de hasta 21 cm. Hojas grandes de hasta 32 cm de longitud. Inflorescencia axilar en forma de pedúnculo, flores de color blanco cremoso. Fruto pequeño de forma baciforme. Crece en zonas parcialmente cubiertas en forma de maleza. Con un gran potencial en la medicina (Puertas et al, 2009)
<b><i>Pseudobombax septenatum</i> (Jacq.) Dugand.</b>	Árbol nativo de América tropical. Corteza de color verde y con ramificaciones verticiladas. Hojas palmado-compestas, alternas, con 5-7 folios, de borde entero, glabros y de color verde brillante. Flores en cimas terminales, pétalos blancos y filamentos blancos con anteras cafés. Fruto en capsula. Es una especie ornamental, cuya madera sirve para la construcción de techos y estacones (Cardona, David y Hoyos, 2010). Especies de rápido crecimiento a libre exposición, se desarrolla entre 0 y 1500 msnm. Resistente a la sequía, tolera suelos pobres y con nivel freático alto. Adicionalmente, sus semillas son dispersadas por el viento a grandes distancias (Gómez, 2010).
<b><i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.</b>	Árbol nativo de América tropical. Con la corteza fisurada y una copa aparasolada. Hojas compuestas, bipinnadas, alternas. Flores en cabezuelas terminales con filamentos blancos. Frutos en legumbre aplanada, de color verde con 15 – 20 semillas. La madera es usada en construcción y leña, las hojas sirven de forraje, además por su copa se utiliza para sombrío (Cardona, David y Hoyos, 2010). Sus semillas germinan abundantemente y se adaptan a suelos muy variados. Se desarrolla bien en zonas áridas, tolera el trasplante de raíz desnuda y tolera podas drásticas. Por lo que en procesos de reforestación ha tenido éxito (Mahecha y Echeverri, 1983).
<b><i>Schizolobium parahyba</i> (Vell) S.F. Blake.</b>	Especie caducifolia, pionera de rápido crecimiento, colonizadora de áreas perturbadas. Se adapta bien en suelos ácidos, pobres en nutrientes. Se encuentra hasta los 1600 msnm. Sus semillas son dispersadas por el viento (Gómez, 2010).
<b><i>Spondias mombin</i> L.</b>	Árbol de hojas pinnadas, aromáticas, con nervios secundarios secundarios translúcidos conectados a un nervio marginal conector. Flores con 10 estambres. Los frutos comestibles al madurar toman una coloración amarilla y alcanzan los 4-5 cm de longitud (Vargas, 2002). La madera es liviana útil para la construcción, usada para el sombrío y cercas vivas (Acero, 2007).
<b><i>Trichilia pallida</i> Sw.</b>	Árbol que crece por debajo de los 1700 msnm. Con las siguientes características: corteza clara, sus hojas tienen de 3 a 7 folios opuestos u subopuestos, glabros o con pelos dispersos. Inflorescencias de hasta 15 cm, con flores verdosas o amarillentas. Frutos más o menos ovoide de 1.8 cm de longitud, con superficie verrugosa (Vargas, 2002).

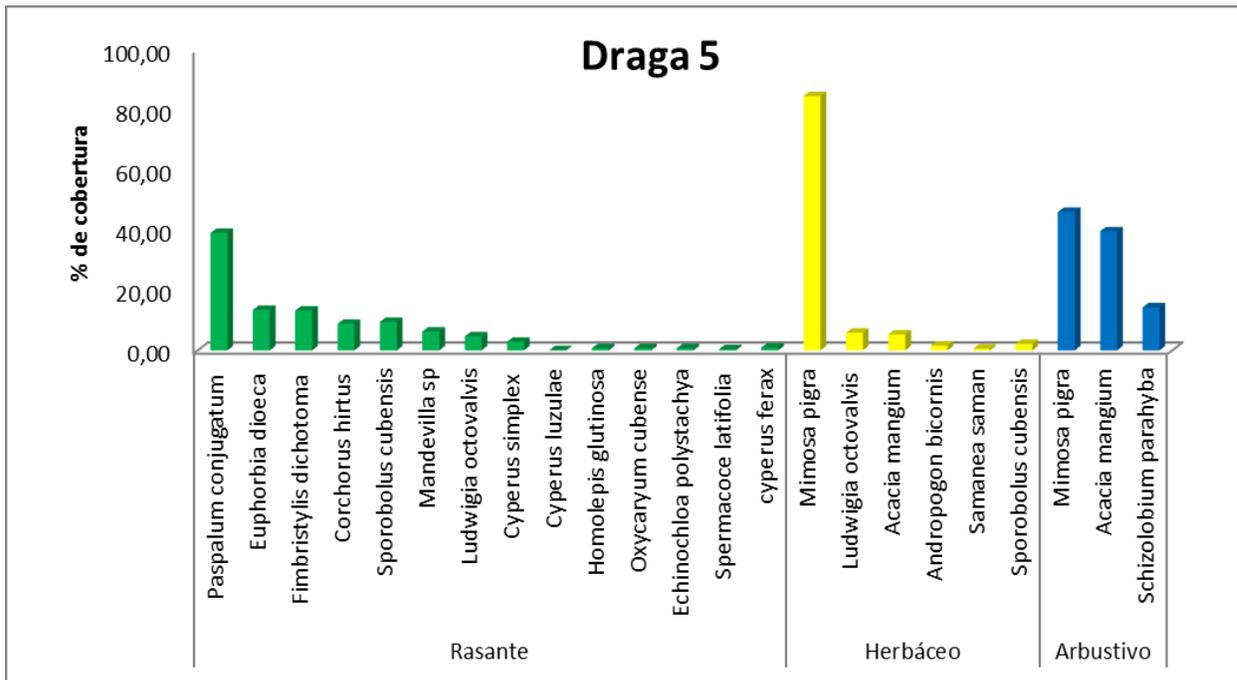
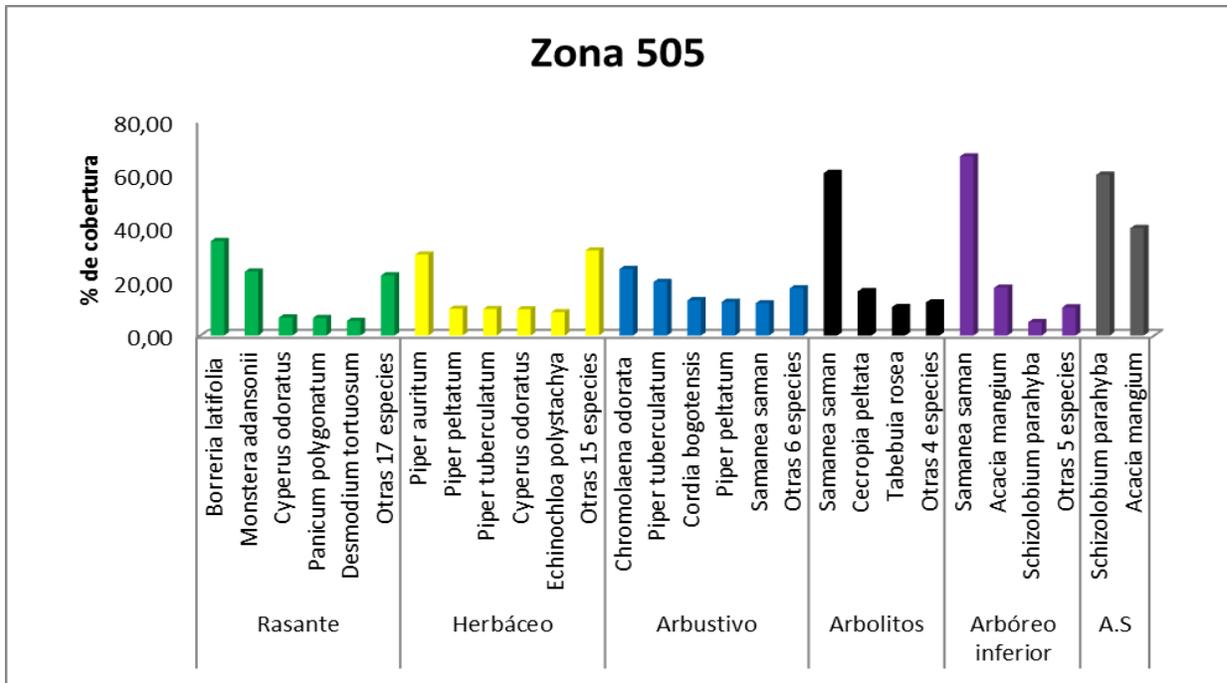
**Anexo 9.** Características ecológicas de las familias presentes en las diferentes zonas estudiadas. Información tomada de Zomlefer, 1994.

<b>Familia</b>	<b>Distribución y Tamaño</b>	<b>Hábitos de crecimiento y características</b>	<b>Flores y frutos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Anacardiaceae</b>	Familia compuesta por cerca de 80 géneros y 600 especies. Distribuida principalmente en el trópico, en algunas regiones subtropicales y templadas.	Árboles y arbustos con corteza resinosa. Hojas compuestas trifoliadas o pinnadas.	Flores pequeñas actinomorfas, hermafroditas y frecuentemente unisexuales. El fruto generalmente en drupa.	Las flores son entomófilas, por lo que insectos son atraídos a pequeñas flores.
<b>Araceae</b>	Familia con cerca de 104 géneros y 2.500 especies. Distribución principalmente pantropical.	Plantas herbáceas perennes. Hojas basales con pecíolo envainante.	Flores pequeñas que se agrupan en un eje carnoso (espádice). Los fruto en baya.	Crece generalmente en áreas húmedas.
<b>Boraginaceae</b>	Familia compuesta por alrededor de 100 géneros y 2.000 especies. De distribución cosmopolita.	Principalmente hierbas. En menor cantidad árboles y arbustos.	Flores generalmente hermafroditas, vistosa, casi siempre con discos nectaríferos. Fruto en drupa carnosa o dividido en 4 segmentos.	Los insectos son los principales polinizadores. También algunos murciélagos y aves.
<b>Cyperaceae</b>	Familia con cerca de 146 géneros y 5.135 especies. General en áreas subárticas y templadas	Plantas herbáceas perennes y rizomatosas. Con hojas simples, enteras, alternas, paralelinervias.	Las flores son diminutas, rodeadas por una bráctea. Fruto en aquenio, lenticular o a veces cilíndrico.	Tallo solido de sección triangular. Crece en suelos estériles o zonas húmedas. Polinización por el viento.
<b>Fabaceae</b>	Familia compuesta por 630 géneros y cerca de 18.000 especies. Tiene una distribución cosmopolita	Herbáceas, arbustos o árboles. Hojas alternas, estipuladas, compuestas con margen entero.	Flores generalmente hermafroditas, vistosas con disco nectarífero. Fruto en legumbre dehiscente.	Raíces con nódulos de bacterias fijadoras de nitrógeno.
<b>Malvaceae</b>	Familia con cerca de 95 géneros y más de 1.000 especies.	Arbustos o hierbas con savia mucilaginoso y pubescencia de pelos estrellados o brácteas.	Flores vistosas, con numerosos estambres monadelfos y granos de polen grandes. Fruto en cápsula con semillas a menudo pubescente.	Los insectos y algunos colibríes son atraídos por néctar segregado y las flores conspicuas. Frecuente en lugares alterados.

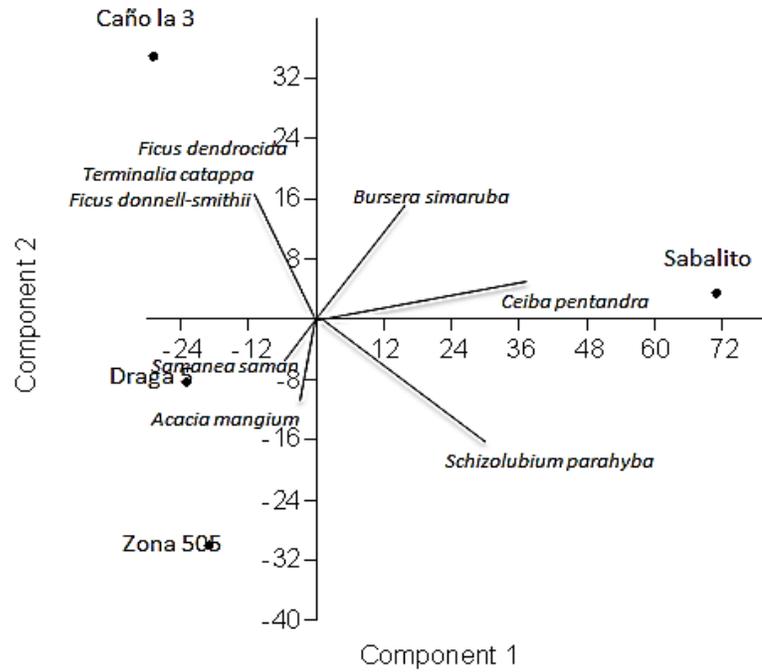
<b>Familia</b>	<b>Distribución y Tamaño</b>	<b>Hábitos de crecimiento y características</b>	<b>Flores y frutos</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Moraceae</b>	Familia con 40 géneros y cerca 1.000 de especies. Distribuida en regiones tropicales y subtropicales.	Árboles y arbustos frecuentemente con exudado abundante y lechoso. Hojas simples, alternas con estípula.	Flores pequeñas unisexuales, en amentos o racimos axilares. Y frutos generalmente en drupa.	Frutos consumidos por aves y mamíferos.
<b>Onagraceae</b>	Familia compuesta por cerca de 18 géneros y más de 650 especies. Distribuidas en regiones templadas y subtropicales.	Arbustos o hierbas perennes ocasionalmente árboles. Con hojas simples u opuestas, enteras, serradas o lobuladas.	Flores tetrámeras generalmente hermafroditas. Con disco nectarífero. Fruto normalmente en cápsula.	Flores entomófilas. A veces polinizadas por pájaros.
<b>Poaceae</b>	Familia compuesta por más o menos 800 géneros y 10.000 especies. Con distribución cosmopolita.	Herbáceas con tallo cilíndrico, entrenudos huecos. Hojas lineares biseriadas.	Flores pequeñas e incospicuas. Frutos en grano.	El viento es el principal agente polinizador.
<b>Piperaceae</b>	Familia compuesta por aproximadamente 8 géneros y cerca de 2000 especies. Con distribución pantropical	Hierbas y arbustos aromáticos. Hojas simples, enteras, generalmente alternas.	Flores reducidas rodeada de una bráctea peltada. Fruto por lo general en un pequeña drupa.	Tiene un amplio rango de adaptación a los diferentes ambientes.
<b>Polypodiaceae</b>	Familia con cerca de 63 géneros y casi 1.000 especies. Con distribución cosmopolita.	Helechos herbáceos perennes	No Aplica.	Soros desnudos, circulares o elípticos.
<b>Rubiaceae</b>	Familia compuesta por cerca de 450 géneros y 6.500 especies. La mayoría de regiones tropicales y subtropicales	Árboles, arbustos, hierbas o enredaderas leñosas. Con hojas simples, opuestas, decusadas.	Flores perfectas en inflorescencias, raramente solitarias. Frutos en cápsula, baya o drupa.	El colorido de las flores atrae fácilmente a los insectos. Los frutos son consumidos por aves.

**Anexo 10.** Especies dominantes de acuerdo al porcentaje de cobertura, presentes en cada uno de los estratos de las zonas de estudio.





**Anexo 11.** Diagrama del Análisis de Componentes Principales para la variable de altura. Que agrupa el 90,1% de la varianza de los datos.



**Anexo 12.** Diagrama del Análisis de Componentes Principales para la variable DAP. Que agrupa el 96,82% de la varianza de los datos.

