

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras i

**RECUPERACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR LA MINERÍA MEDIANTE
PROPUESTAS AGROFORESTALES, VEREDA EL JAUNO, MUNICIPIO DE
PUERTO GUZMÁN, PUTUMAYO**

MANUEL HOYDEN GONZALEZ OSSA I.A.F

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN AGROFORESTERÍA TROPICAL
SAN JUAN DE PASTO**

2018

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras ii

**RECUPERACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR LA MINERÍA MEDIANTE
PROPUESTAS AGROFORESTALES, VEREDA EL JAUNO, MUNICIPIO DE
PUERTO GUZMÁN, PUTUMAYO**

MANUEL HOYDEN GONZALEZ OSSA I.AF.

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TÍTULO DE MAGISTER EN AGROFORESTERÍA TROPICAL**

ASESOR:

DOCTOR JESÚS ANTONIO CASTILLO FRANCO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

MAESTRÍA EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

SAN JUAN DE PASTO

2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1° de acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras iv

NOTA DE ACEPTACIÓN

Héctor Ramiro Ordoñez IA. Ph.D.

Jurado delegado

William Ballesteros Possu IA. Ph.D.

Jurado

Jairo Mosquera Guerrero. IA. Ph.D.

Jurado

Jesús Castillo Franco. IA. Ph.D.

Presidente

San Juan de Pasto, Octubre de 2018

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus sinceros agradecimientos a:

A los amores de mi vida, motores de mi esfuerzo y dedicación, Iván, David, Maher y mi querida y amada esposa Edy.

A mi asesor, maestro y amigo Ph.D Jesus Castillo, por compartir conmigo su gran sabiduría y guiarme por los caminos de la ciencia.

Al Ph.D Jairo Mosquera, jurado y por su compromiso y apoyo incondicional en la profundización del apasionante tema del suelo y sus interrelaciones e incentivar la investigación.

A mis jurados de tesis Ph.D Hector Ordoñez, Ph.D William Ballesteros, por sus valiosos aportes, respetuosas sugerencias y apreciadas felicitaciones.

A toda mi familia Marisol, Dora, Tatiana y Manuel; a mi Rosa celestial y Ramiro del Cielo, amigos, compañeros y quienes de una u otra forma apoyaron la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

En medio de mis múltiples análisis existenciales he llegado a la conclusión indiscutible de que Dios está de mi lado, que cada vez que avanzo y recojo un triunfo en mi vida él está presente, que me bendice cada día y que por más de que la ciencia me trate de persuadir respecto a su existencia, siempre encuentro una razón más fuerte que la anterior para convencerme de su existencia, aferrarme a él y darle gracias por todas sus bendiciones.

Los frutos de esta investigación se los brindo como consulta a todos los mineros, que durante más de 10 años que los conozco han brindado su voluntad, apoyo y creen en los procesos de cambio positivo, pero que desafortunadamente la institucionalidad desconoce y genera expectativas que después no cumplen.

RESUMEN

Actualmente la minería aurífera aluvial sin formalización, así como la ilegal, se desarrolla en la mayor parte del área inundable y terrazas asociadas al río Caquetá en el municipio del Puerto Guzmán, Putumayo.

Se han identificado algunos efectos e impactos ambientales en el tiempo inmediato como la deforestación, pérdida de la cobertura vegetal, incomunicación entre los corredores biológicos, disminución y migración de especies nativas, erosión del suelo, pérdida de la calidad de agua superficial, siembra de especies no adecuadas para la recuperación de suelos, entre otras.

Se propone con el presente trabajo brindar una alternativa de solución real para la restauración ambiental de manera integral, planificada y organizada estructuralmente, partiendo del ajuste del modelo conceptual de restauración (RE) planteado por la Universidad Nacional de Colombia, con la inclusión de sistemas agroforestales como fundamento en la recuperación del suelo alterado por la actividad minera y este a su vez como eje de interacción con los demás recursos naturales para la restauración de las relaciones ecosistémicas en un menor tiempo que la recuperación natural como lo propone y ejerce la autoridad ambiental regional.

La aplicación del modelo conceptual de la UNAL y su ajuste con la inclusión de los sistemas agroforestales logran demostrar el cambio de paradigma común y generalizado que las áreas alteradas por la minería se rehabilitan en un largo plazo (restauración natural) y se deben considerar como áreas estériles y no productivas para cultivos.

Entre los principales resultados se destacan:

- Los factores determinantes del modelo asociados al recurso suelo, se convierten en indicadores de la restauración ecosistémica.

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras viii

- Evaluar el potencial de restauración de un ecosistema amazónico de manera concreta y efectiva a partir de los cambios positivos en el suelo, cuando es modificado de un estado alterado por la sola implementación de los SAF y a partir de ahí, calificar la viabilidad en términos de porcentaje o probabilidades, considerando los aportes en la interrelación con los demás factores ambientales.
- Al ajustar el modelo conceptual de restauración de la UNAL con la inclusión de Sistemas Agroforestales, se obtiene una reducción significativa en el tiempo de recuperación del suelos y por ende el aumento del potencial de restauración ecológico

ABSTRACT

Currently, alluvial gold mining without formalization, as well as illegal mining, takes place in most of the floodplain and terraces associated with the Caquetá River in the municipality of Puerto Guzmán, Putumayo.

Some environmental effects and impacts have been identified in the immediate time such as deforestation, loss of vegetation cover, isolation between biological corridors, decrease and migration of native species, soil erosion, loss of surface water quality, planting of species not suitable for soil recovery, among others.

It is proposed with the present work to provide an alternative of real solution for environmental restoration in a comprehensive, planned and organized structurally, starting from the adjustment of the conceptual model of restoration (RE) proposed by the National University of Colombia, with the inclusion of agroforestry systems as a foundation in the recovery of soil altered by mining activity and this in turn as the axis of interaction with other natural resources for the restoration of ecosystem relations in a shorter time than natural recovery as proposed and exercised by the regional environmental authority.

The application of the UNAL conceptual model and its adjustment to the inclusion of agroforestry systems is able to demonstrate the common and generalized paradigm shift that areas altered by mining are rehabilitated in the long term (natural restoration) and should be considered as sterile and non-productive for crops.

Among the main results are:

- The determinant factors of the model associated with the soil resource become indicators of ecosystem restoration.

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras x

- Evaluate the restoration potential of an Amazonian ecosystem in a concrete and effective way based on positive changes in the soil, when it is modified from an altered state by the mere implementation of the SAF and from there, qualify the viability in terms of percentage or probabilities, considering the contributions in the interrelation with the other environmental factors.
- By adjusting the conceptual model of restoration of the UNAL with the inclusion of Agroforestry Systems, a significant reduction is obtained in the time of recovery of the soils and therefore the increase of the potential of ecological restoration.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN..... | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| CONTENIDO | xi |
| LISTA DE TABLAS..... | xiv |
| LISTA DE FIGURAS | xv |
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| MARCO TEÓRICO..... | 18 |
| LA MINERÍA EN PUTUMAYO..... | 18 |
| MODELO DE RESTAURACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | 19 |
| SISTEMAS AGROFORESTALES..... | 25 |
| El Suelo y los Servicios Ecosistémicos | 26 |
| Enzimas del suelo y Liberación de CO2..... | 27 |
| ANTECEDENTES | 29 |
| Generalidades de la <i>Leucaena Esculenta</i> | 33 |
| Generalidades de la <i>Gliciridia sepium</i> | 34 |
| Generalidades de la <i>Ochroma pyramidale</i> | 35 |
| METODOLOGÍA | 36 |
| LOCALIZACIÓN | 36 |
| SUELOS REGIONALES..... | 38 |
| Suelos y Medios de Crecimiento | 38 |
| CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 44 |

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras xii

| | |
|---|----|
| Flora | 44 |
| Distribución general de la vegetación en las unidades geomorfológicas | 50 |
| Fauna | 51 |
| Dinámica Social | 53 |
| DISEÑO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES | 55 |
| Banco de Proteína | 55 |
| Cercas Vivas | 55 |
| Huertos Caseros | 56 |
| Diseño Experimental para Recuperación de Suelo | 63 |
| PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO | 64 |
| Determinación de la actividad microbiana a través de evolución de CO ₂ a los 8, 16 y 32 días de incubación | 69 |
| Evaluación de la agregación en suelos por el efecto de algunas leguminosas nativas seleccionadas | 71 |
| Dinámica de la formación de agregados | 72 |
| ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 74 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 75 |
| AJUSTE DEL MODELO CONCEPTUAL DE LA UNAL | 75 |
| RESULTADOS EN LABORATORIO | 84 |
| Características diferenciadoras del suelo | 85 |
| Características físicas y químicas de los suelos de las franjas agroforestales en dos épocas del año | 86 |
| La importancia de la MO y la dinámica de los microorganismos | 91 |
| La actividad microbiológica a través de la evolución del CO ₂ en suelos bajo sistemas agroforestales | 92 |

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras xiii

| | |
|--|-----|
| Evaluación de la agregación en suelos por el efecto de algunas leguminosas nativas. | 95 |
| Mineralogía de los suelos | 98 |
| Micro morfología y mineralogía..... | 101 |
| Dinámica de la formación de agregados Observaciones cualitativas | 102 |
| Cuantificación de la agregación en seco..... | 104 |
| Estabilidad de la agregación | 106 |
| CONCLUSIONES | 112 |
| RECOMENDACIONES | 113 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 114 |

LISTA DE TABLAS.

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Diseño Experimental para Recuperación de Suelo | 63 |
| Tabla 2. Unidades experimentales: distribución de las variables y tratamientos. | 65 |
| Tabla 3. Análisis y preparación del suelo antes del experimento de evolución de CO ₂ | 67 |
| Tabla 4. Calificación comparativa (inicial y final) del Potencial de Restauración en los ecosistemas evaluados..... | 84 |
| Tabla 5. Concentración de carbono y nitrógeno de las hojas de las leguminosas seleccionadas | 92 |
| Tabla 6. Morfología y dinámica cualitativa de los agregados..... | 102 |
| Tabla 7. En esta tabla se observa el porcentaje de agregación en seco para cada una de las diferentes muestras | 105 |
| Tabla 8. Interpretación del grado de descomposición de los agregados. | 107 |
| Tabla 9. En esta tabla los valores obtenidos en la estabilidad de los agregados para cada una de las muestras antes y después del experimento de evolución de CO ₂ | 107 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág |
|---|------------|
| Figura 1. Pasos básicos de la Restauración Ambiental..... | 24 |
| Figura 2. Proceso de Restauración Ecológica, Humboldt 2015..... | 31 |
| Figura 3. Localización | 37 |
| Figura 4. Suelos Oxic Dystrudepts – Diques | 40 |
| Figura 5. Suelos Fluvaquentic Endoaquepts – Cananguchales o Basines | 42 |
| Figura 6. Suelos Fluventic Dystrudepts | 43 |
| Figura 7. Perfil longitudinal promedio de las fajas de muestreo. | 44 |
| Figura 8. Cobertura vegetal típica de los diques en la planicie de inundación. | 45 |
| Figura 9. Cobertura vegetal típica de canaguchales..... | 48 |
| Figura 10. Cobertura vegetal típica de Piedemonte. | 49 |
| Figura 11. Número de especies e individuos con diámetros mayores a 10 cm para cada unidad geomorfológica en la planicie aluvial. | 50 |
| Figura 12. Esquema horizontal y vertical de una faja de muestreo a lo ancho de la planicie aluvial del río Caquetá, vereda Jauno. | 51 |
| Figura 13. Cambio en el Potencial de Restauración para un ecosistema evaluado en los años 0 y 5, con sistemas agroforestales para restauración y sin aplicación de los modelos. | 82 |
| Figura 14. Diseños de Sistemas Agroforestales Implementados en la Mina El Refugio, Vereda El Jauno, Municipio de Puerto Guzmán..... | 84 |
| Figura 14. Comparación del porcentaje de arcilla vs CICT vs MO por sitios y por época del año, en datos originales Noviembre y Abril | 90 |
| Figura 15. Micro morfología del suelo (secciones delgadas de suelo) con Leucaena esculenta; 4= agregados redondeados 5= Poros; 6= Agregados subredondeados; 7= Canales de Raíces..... | 93 |

INTRODUCCIÓN

Las empresas (naturales y jurídicas) que efectúan la minería Legal en Colombia, están obligadas a prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales generados en su actividad productiva; acciones extractivas asociadas a un Plan de Manejo Ambiental y un Plan de Restauración y Abandono (Plan de Trabajo y Obras), herramientas que son fiscalizadas por la Autoridad Ambiental y Minera, respectivamente (MinMinas, 2001).

Con la política estatal donde uno de los motores de desarrollo nacional, es la actividad minera, se generaron impactos sociales y ambientales en todo el territorio nacional, dando impulsos positivos y negativos a la actividad; de manera positiva, debido a la inversión se generó organización institucional del sector y de manera negativa, aparece un efecto no planificado a partir del año 2010, donde los índices de la informalidad minera se disparan y las acciones institucionales no logran controlar el fenómeno, que aunada a la necesidad económica de los habitantes ven como una alternativa interesante y de corto plazo para suplir sus déficits económicos (Contraloría de la República, 2013).

Según lo establece el Plan Nacional de Restauración (Minambiente, 2010), una de las principales causas de transformación y degradación de los ecosistemas naturales de Colombia ha sido, entre otras, la minería a cielo abierto, y de ésta, la minería aurífera aluvial ha sido considerada como una de las causas frecuentes de afectación ambiental en las cuencas hidrográficas de nuestro país.

Corpoamazonia en su informe minero (2017) reporta que la minería aurífera ha generado deterioro de más de 20.000 hectáreas en el Departamento del Putumayo, de las cuales cerca de 812 hectáreas corresponden a actividades mineras realizadas en la llanura de inundación de los

ríos Jauno, Mandur, Caimán y Caquetá en el Municipio de Puerto Guzmán, de ellas, se estima que 659 hectáreas han sido explotadas en un periodo no superior a los cinco últimos años por mineros informales.

Se han identificado por este estudio en las mismas zonas y a lo largo del ejercicio, efectos negativos como erosión, compactación del suelo, cambio del uso, incomunicación biológica entre terrazas de inundación, disminución progresiva de vegetación, migración de especies faunísticas, cambios en dietas alimenticias y costumbres de animales como de comunidades.

Así mismo se identificó que hoy, la acción institucional se limita a acciones militares en contra de los no titulados en minería y en dejar los sitios alterados a la suerte de una sucesión natural a largo plazo.

Con estos antecedentes mineros y ambientales, se propone a través de la implementación de los Sistemas Agroforestales -SAF como ajuste fundamental dentro del modelo conceptual de restauración ecológica presentado por la Universidad Nacional de Colombia, promover la recuperación del suelo alterado por la actividad minera y así incidir de manera directa y eficaz en la generación en un corto plazo de la fertilidad del mismo, iniciando con condiciones necesarias para el progreso de la cobertura vegetal y seguidamente con el desarrollo y restauración de las relaciones ecosistémicas ambientales en la vereda El Jauno del Municipio de Puerto Guzmán, Departamento del Putumayo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1.LA MINERÍA EN PUTUMAYO

Según el censo Minero del Departamento del Putumayo (Censo Minero Nacional), existe 509 unidades productoras, en el Departamento del Putumayo existe una informalidad de la Minería cerca del 95%; En el Municipio de Puerto Guzmán existen cerca de 179 unidades productoras mineras, de las cuales 163 son para extracción aurífera y solo 17 han iniciado procesos de formalización y titulación (Minminas, 2014).

El efecto ambiental de las actividades informales e ilegales en el Municipio de Puerto Guzmán, ha ocasionado la alteración de cerca de 20.000 ha de bosques y zonas aluviales; Entre las consecuencias del proceso de explotación por más de siete décadas, se han identificado problemas asociados a la incomunicación de corredores biológicos, disminución de la cobertura vegetal, cambios en dietas alimenticias de animales como de comunidades humanas; involucrando modificación de sus usos y costumbres ancestrales (comunidades afrodescendientes y comunidades indígenas del pueblo Inga), sobre la cual surge el presente trabajo como propuesta alternativa y mejorada de lo realizado a nivel nacional.

Según lo establece en el Código Minero y su glosario técnico, se tiene clasificada la minería en el Departamento del Putumayo como *Minería Informal* (conformada por unidades de explotación de tamaño variable, explotadas por personas en proceso de legalización y pertenecientes a organizaciones constituidas), *Ilegal* (las cuales al considerarse que aún no son amparadas por un título y registro minero de propiedad nacional), de pequeña minería y con

sistema de explotación, a cielo abierto, sobre los aluviones auríferos del Río El Jauno y Río Caquetá, en el municipio de Puerto Guzmán.(Corpoamazonia, 2017).

1.2.MODELO DE RESTAURACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

La metodología abordada por la Universidad Nacional para calcular el Potencial de Restauración (PR) para un ecosistema degradado por minería aurífera aluvial, toma los factores obtenidos a partir de la simplificación del potencial de restauración propuesto por Gil y Ceballos (2011) e incluye elementos provenientes de la conjunción de los modelos de Bradshaw (1984), National Research Council –NRC- (1992) y el Adaptable (Christensen et al., 1996), obteniendo así su fórmula final.

$$RE = f(Ge, Hi, Pe, Fs, TCH) + MA$$

Dónde: RE= Restauración de áreas degradadas en el área de estudio, Ge= Geomorfología, Hi=Hidráulica, Pe= Peces, FS= Fauna silvestre, TCH= Tipos de comunidades humanas, MA= Medidas de manejo adicionales.

La matriz de evaluación de la universidad Nacional, reúne en su proceso desde el inicio de su formulación hasta su sintetización final, los diferentes componente ambientales los cuales incluye: la oferta ambiental (OA) está conformada por siete (7) variables: Ciclo Hidrológico (CH), que indica la disponibilidad del ciclo hidrológico para un evento de restauración ecológica; geomorfología (GE), basada en las unidades geomorfológicas funcionales en la planicie de inundación luego de la intervención minera; hidráulica (HI), que se relaciona con el tiempo de residencia, velocidad del agua y suministro de sedimentos; suelos (SU), que incluye las

principales propiedades del suelo o sustrato relacionadas con el bajo inundable; clima (CL), indicando principalmente las variaciones y disponibilidad de la temperatura, humedad y precipitación; geología (GL), a partir de las posibles variaciones del material parental en los ecosistemas comparados; y fisicoquímica del agua (FQ), que indica las variables físicas y químicas del agua que ofrecen las condiciones necesarias para el desarrollo y colonización por parte de las comunidades hidrobiológicas y de la biota.

Por su parte, las seis (6) variables que conforman la matriz de evaluación para el potencial biótico (PB) fueron: peces (Pe), que indica la capacidad biológica que tienen las comunidades de peces frente a un proceso de restauración; fauna silvestre (FS), basado en la presencia y recurrencia de los cuatro grupos faunísticos principales en los ecosistemas; flora (Fl), que indica principalmente la presencia de vegetación en diferentes estados sucesionales, tanto en el área evaluada como en su entorno, así como la disponibilidad de propágulos para un proceso de restauración ecológica; zooplancton (Zo), indica la presencia de organismos animales que forman parte del plancton; fitoplancton (Fi), presencia y disponibilidad de organismos vegetales que forman parte del plancton; y las macrófitas (Ma), que se refiere a la capacidad biológica que tienen las plantas acuáticas para iniciar un proceso de restauración.

Para el componente del potencial sociodinámico (PSD), las 11 variables consideradas fueron: política y gobernabilidad (EI), que incluye los cuatro elementos propuestos por Neira (1999) para el entorno institucional; tipos de comunidades humanas (TCH), que indica la presencia o no de negritudes, indígenas o campesinos en el ecosistema a evaluar; grado de organización (GO), basado en el nivel de organización de las comunidades que habitan ambos ecosistemas; actividades antrópicas (AN), cuya calificación se basa en las principales actividades antrópicas que pueden desarrollar las comunidades en cada ecosistema; estrategia adaptativa (EA), o cultura

asociada al manejo de los terrazas de inundación o ecosistemas, sus prácticas y adaptabilidad a las inundaciones; nivel educativo (NE), que incluye el grado de escolaridad de las comunidades que habitan los ecosistemas como una respuesta a su manejo; normatividad ambiental (NA), indicando la existencia o no de políticas que aportan a la restauración ecológica regional y nacional; tenencia de la tierra (TT), que brinda información acerca de la propiedad de los ecosistemas evaluados; uso del suelo (US), tomando como referencia los principales usos definidos por FAO (2009); demografía e infraestructura (DI), que indica el aporte a un eventual proceso de restauración de los habitantes de la región, su distribución y densidad habitacional; y los mineros como empresas potenciales (EM), tomado como la presencia de empresas mineras legalmente constituidas, y cuya aplicación de un PMA beneficia la restauración del ecosistema evaluado.

Las variables categorizadas como Factores limitantes (FL), son aquellos que se hallan en cantidad, concentración, frecuencia o accesibilidad inferiores o superiores (al máximo de tolerancia) a las requeridas para el desarrollo del ecosistema (MAVDT, 2010a). Si bien los limitantes se califican de forma similar a los demás factores, es preciso aclarar que su naturaleza es negativa, y por tanto mientras más sea su magnitud en la calificación, mayor afectación o disminución de los potenciales (componentes) biótica, física o social, según sea el caso.

Las variables limitantes evaluadas fueron: escasez de nutrientes (EN), que afecta la OA, referida básicamente a la ausencia de nutrientes provenientes de tres fuentes evaluadas en cada ecosistema, su calificación afecta la oferta ambiental; eutrofización de ecosistemas (EU), que indica el acelerado enriquecimiento de nutrientes, tanto de aguas como de los sustratos donde se asientan los terrazas de inundación, su calificación afecta la oferta ambiental; escasez de propágulos (DPR), dada por la pérdida del banco de semillas in situ de vegetación típica, así

como por la disminución de las poblaciones de fauna dispersora, su calificación afecta el potencial biótico, y disminución en la cultura anfibia (DCA), debido no sólo a la disminución de la cultura en la región, sino también a los cambios en los usos del suelo y sus consecuentes prácticas culturales en las comunidades, su calificación afecta el potencial sociodinámico.

Finalmente los factores tensionantes (FT), definidos por UNAL (2010) como aquellos que impiden, limitan o desvían la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios naturales y antrópicos. Al igual que los limitantes, su naturaleza es negativa, por cuanto su calificación puede disminuir la calificación de los potenciales biótico, físico y social.

Los factores tensionantes para la oferta ambiental tenidos en cuenta: los contaminantes tóxicos (CTO), basados en los niveles de referencia en aguas para la región y el país (CORPOAMAZONIA y NEOTROPICOS, 2000; DNP-FAO, 2003; Estudios y Asesorías Ambientales, 2005; Marrugo et al., 2007; Marrugo et al., 2008; Olivero et al., 1995; Olivero et al., 2004), e indican la toxicidad para la biota dada su bioacumulación y biomagnificación; desconexión hidráulica (DH), referido al proceso de alteración o inclusión de barreras a la dinámica natural del río, de la entrada o salida de agua, sólidos y propágulos a la planicie aluvial; ausencia de sustrato mineral y orgánico (ASM), considerado tensionante, teniendo como base el ecosistema de referencia y sus condiciones edáficas; tiempo de residencia del agua (TRA), factor restrictivo para el establecimiento de propágulos, nutrientes y sedimentos en la planicie de inundación, bien sea cuando el tiempo de residencia del agua está por encima o por debajo del promedio; sobrecarga de sedimentos (SS), que indica la cantidad por encima del promedio de carga sólida que transporta el río y cuyas razones principales son la degradación en su área de captación y el considerable incremento de la minería en la región.

Los factores tensionantes para el potencial biótico se consideran: especies exóticas invasoras (EX), que indica la presencia de especies de la biota introducidas, las cuales desplazan por su proceso reproductivo a las especies nativas; bioacumulación y bioamplificación (BB), referida principalmente a la toxicidad por químicos, sin descartar el uso (Hg) en la cadena trófica de ecosistemas de terrazas de inundación, dado que no se reportan estudios de contaminantes que puedan tener bioacumulación y bioamplificación; sobreexplotación de la biota (SB), basado especialmente en la ictiofauna y en el recurso forestal, considerando que la primera hace parte de la dieta alimenticia y constituye una fuente de ingreso para los habitantes de la región, y la segunda, satisface materiales para viviendas e igualmente es una importante fuente de ingresos; sistema pulsátil (SP), vuelto tensionantes para con los procesos biológicos de la vegetación, la fauna y en especial para la ictiofauna, una vez se altera el sistema o conformación geomorfológica de la planicie, con obras como diques, jarillones y barreras que alteran los niveles naturales del agua.

Para el caso del potencial sociodinámico, solo se identificó un tensionante: desconocimiento de las terrazas de inundación (DHu), que indica la subvaloración y falta de percepción de los terrazas de inundación tropicales de forma generalizada, trayendo consigo la falta de elementos para su uso y manejo, redundando en el deterioro de los recursos asociados a los terrazas de inundación y la pérdida irreparable de sus componentes funcionales.

Se determina que la restauración de terrazas de inundación tropicales supone una alta incertidumbre en sus trayectorias futuras, por tanto es necesario establecer un procedimiento adaptativo, dinámico de manejo y control, que permita virar en cualquier momento de forma efectiva hacia el ecosistema deseado (Gallego, 2008).

De cara a elaborar el modelo conceptual para establecer las relaciones entre los resultados de las actividades extractivas y su repercusión en las características funcionales y estructurales de ecosistemas degradados, facilitando identificar la trama de relaciones entre el aprovechamiento de los recursos naturales y las señales que emanan de los ecosistemas alterados. Esta aproximación será útil también para establecer qué bienes y servicios del ecosistema pueden ser utilizados y en qué medida, así como para determinar la vía de su recuperación, rehabilitación o restauración (Gallego, 2008).

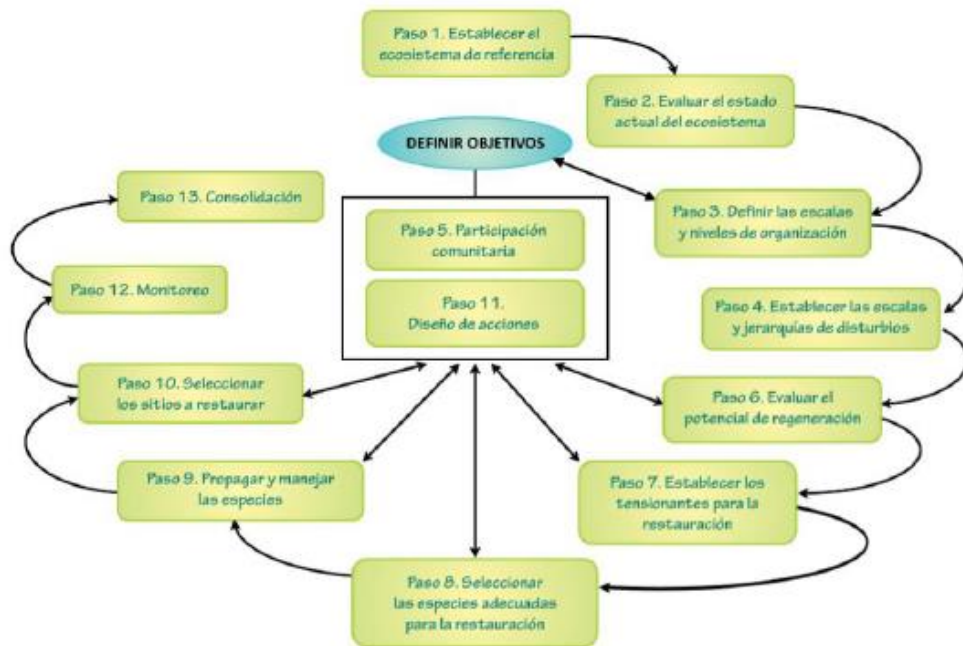


Figura 1. Pasos básicos de la Restauración Ambiental.

En síntesis, lo anterior fundamenta la presente propuesta de la modificación del modelo conceptual propuesto por la Universidad Nacional de Colombia e inclusión de los Sistemas Agroforestales como Medida Adicional, para luego de su implementación en una proyecto piloto demostrar la efectividad e incidencia de los SAF en la restauración ecológica.

1.3.SISTEMAS AGROFORESTALES

Los sistemas agroforestales (SAF) como herramientas de gestión de planificación del territorio por permitir la mejora de la producción por unidad de superficie, al mismo tiempo que fomentan la biodiversidad y la estabilidad de los sistemas frente al cambio climático. Los sistemas agroforestales son sistemas ideales para ser implementados en zonas con restricciones ecológicas y bajo potencial de producción agrícola, especialmente en zonas de montaña, suelos pobres y/o alterados (Ideam, 2011).

Estudios muestran que el rendimiento y la calidad del suelo pueden aumentarse significativamente cuando se incorporan o adoptan prácticas agroforestales. La implementación de sistemas como rompe vientos protegen a los cultivos, a los animales y a los recursos naturales. El ganado protegido con árboles ha mostrado aumento en peso hasta un 10% y requieren hasta un 50% menos de alimentación. La producción de leche puede aumentarse entre 8% y 20%. El porcentaje de sobrevivencia de recién nacidos también puede aumentarse significativamente. En áreas con sistemas agroforestales pueden también evitarse desastres mayores causados por el cambio climático, en climas adversos, los SAF han ayudado a aumentar la producción de los cultivos hasta un 25% y la producción de silvopastoriles hasta un 80% (FAO 2013).

Las prácticas agroforestales pueden asociarse a otras prácticas para crear sistemas amortiguadores de conservación. Éstos sistemas ayudan a controlar la escorrentía, pérdida de suelo y contaminantes que provienen en aguas de lluvia. Las raíces de los árboles y de arbustos a lo largo de los cuerpos de agua y zanjas, filtran contaminantes en las aguas y de escorrentía que traen sedimentos, nutrientes y contaminantes químicos y biológicos antes de que lleguen a

cuerpos de agua. Esto ayuda a mantener las aguas limpias para uso recreativo, doméstico, y para organismos acuáticos y otras especies de vida silvestre (PNUD, 2016).

Cuando las prácticas de Agroforestería se integran intencionalmente en sistemas de conservación, el resultado de ésta integración puede mejorar las condiciones del suelo, agua, aire, plantas, animales y los recursos humanos en las fincas. El reto está en establecer las prácticas en lugares seleccionados de la finca y de las cuencas hidrográficas para maximizar los beneficios. Las prácticas agroforestales utilizadas en solo 5% de la finca pueden contribuir sobre un 50% a la biodiversidad. Prácticas agroforestales mejoran los hábitats terrestres y acuáticos para la vida silvestre. Árboles y arbustos sembrados cerca de cultivos o jardines, albergan aves e insectos beneficiosos que se alimentan de otros organismos dañinos. Poblaciones de especies de vida silvestre de gran valor, aumentan con la presencia de árboles y arbustos en áreas agrícolas. Éste aumento en población provee oportunidades para la recreación como cacería y observación de aves. La biodiversidad que ofrecen los árboles y los arbustos ayuda además a mejorar el paisaje y la estética (IDEAM, 2011).

1.3.1. El Suelo y los Servicios Ecosistémicos

Los diferentes servicios ecosistémicos que proporciona el suelo son: Producción de alimentos y biomasa, los ciclos biogeoquímicos, Almacenamiento o fijación de carbono, Almacenamiento y filtración de agua, Regulador del aire, Soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas. Reserva de biodiversidad, Depósito del patrimonio geológico y arqueológico, Entorno físico y cultural para la humanidad. El suelo sirve de base a las actividades humanas y es asimismo, un elemento del paisaje y del patrimonio cultural. (Burbano, 2016).

1.3.2. Enzimas del suelo y Liberación de CO₂

Las enzimas son proteínas especializadas que se combinan con un sustrato específico y actúan para catalizar una reacción bioquímica, en general la actividad enzimática en el suelo, es esencial para la transformación de la energía y el ciclo de los nutrientes (Henriquez *et al.*, 2014, Paul, 2015). Debido a su naturaleza proteica pueden ser afectadas por factores ambientales como son la temperatura y el pH (Coyne, 2000, Paul y Clark, 2007).

Son producidas por plantas, animales y microorganismos y pueden estar presentes en células muertas y restos celulares que son absorbidos por arcillas e incorporados en sustancias húmicas (Baležentienė y Klimas 2009).

Estas sustancias participan en la transformación de compuestos orgánicos complejos a sustancias asimilables por las plantas que catalizan las etapas limitantes en la mineralización de nutrientes (Henriquez *et al.*, 2014).

Es así que la medición de la actividad de ciertas enzimas se ha usado como índice de la actividad microbiológica total del suelo, al igual que otros parámetros como la respiración de la microflora edáfica a través del desprendimiento de CO₂ (Borie *et al.*, 1999; Zagal *et al.*, 2002).

La actividad enzimática en el suelo está asociada a factores bióticos y abióticos. Las enzimas pueden encontrarse intracelularmente en células vivas, muertas o en descomposición, pero también pueden formar temporalmente complejos enzima-sustrato o ser adsorbidas por arcillas, o estar asociadas con compuestos húmicos, o bien pasar a la solución del suelo (lisis celular, por ejemplo) pudiendo cambiar su ubicación en éste (Burns, 1982).

La relación de las enzimas del suelo con la fertilidad, se presenta durante la descomposición de la MO, en donde los nutrientes pasan a través de la población microbiana, y mediante sus

sistemas enzimáticos asociados, compuestos complejos son degradados a subunidades simples y asimilables por las plantas (Nannipieri y Landi, 2000; Zahir *et al.*, 2001). Es así que la actividad de enzimas asociadas a la síntesis y degradación de la MO ha sido correlacionada con el crecimiento de plantas y se ha interpretado como una relación directa de la población microbiana y de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Caldwell, 2005). Los microorganismos entonces, obtienen desde compuestos orgánicos, y gracias a las diferentes transformaciones enzimáticas el suministro energético necesario.

La oxidación microbiológica de compuestos orgánicos en condiciones aeróbicas está relacionada a la cadena transportadora de electrones (CTE) asociada a membranas, en la que el O_2 actúa como aceptor final de electrones y se reduce al combinarse con H^+ para formar una molécula de H_2O . Las deshidrogenasas forman parte de la CTE y son fundamentales en los sistemas enzimáticos de todos los microorganismos, cumpliendo un rol esencial en los estados iniciales de la oxidación de la MO del suelo, por transferencia de electrones o H^+ desde sustratos a aceptores (Carpa, 2009).

Varios tipos de deshidrogenasas están implicadas en la actividad deshidrogenasa total del suelo, catalizan la deshidrogenación de la MO con gran especificidad. Por lo tanto, un aumento en la actividad enzimática deshidrogenasa señala una fuerte mineralización del carbono conjuntamente con una gran disponibilidad de recursos energéticos para los procesos biológicos (Borie *et al.*, 1999).

Por otra parte, la actividad deshidrogenasa tiene una relación directa con la biomasa del suelo, sin embargo ello no implica que toda la biomasa participe en esta actividad, ya que depende fundamentalmente de la naturaleza de la microflora y, en alguna medida del hábitat en que ésta se desarrolle. La determinación de la actividad deshidrogenasa en los suelos está basada en el uso

de una sal soluble de tetrazolio (cloruro de 2, 3, 5 – trifenil tetrazolio o TTC) como aceptor artificial de electrones en ausencia de O₂, el cual es reducido a un compuesto de coloración roja denominado trifenil formazán (TFF) que puede ser determinado por colorimetría (Gajda y Martyniuk, 2005).

1.4.ANTECEDENTES

De acuerdo con el Plan Nacional de Restauración (MAVDT, 2010) una de las principales causas de transformación y degradación de los ecosistemas naturales de Colombia ha sido, entre otras, la minería a cielo abierto, en particular la minería aurífera aluvial es considerada por la Gobernación del Putumayo (Martínez, 2010), como una de las causas más frecuentes de afectación ambiental en las cuencas hidrográficas de nuestra región.

La minería a cielo abierto es un factor de riesgo que puede generar disturbios, además afecta o incide en los ecosistemas como son: vegetación, fauna, suelo y condiciones microclimáticas (Barrera, 2009). Para el caso del suelo en áreas dedicadas a la minería, en especial minería ilegal mecanizada se acelera la pérdida de la cobertura vegetal y los procesos erosivos, dado que el agua y el viento coayudan y generan cárcavas con facilidad en áreas que se ha excavado para facilitar el lavado de oro en canalones (Plan Minero Departamental, Gobernación del Putumayo, 2010).

Nicolau et al. (2009) basados en ensayos de Martin et al. (1998), sostienen que el restablecimiento del terreno es la base del éxito de cualquier proceso de restauración, dado que condiciona el desarrollo de suelos y vegetación, así como también determina la sedimentación y escorrentía hacia cauces naturales, restituyendo principalmente el impacto hidrológico causado

por la minería. La Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia – Corpoamazonia-, destaca la ausencia de prácticas mínimas de recuperación de zonas alteradas por minería en la mayoría de los municipios del Departamento donde se lleva esta actividad, por parte de mineros tradicionales y algunas empresas u organizaciones mineras, encontrando como resultado de la actividad minera panoramas de “topografía caótica”, con cavidades óptimas para la reproducción de vectores y transmisores de enfermedades (López, 2008).

La gran mayoría de los procesos de rehabilitación de áreas degradadas por minería en países tradicionalmente mineros (Nueva Zelanda, Sur África, Bolivia, Perú, España, Puerto Rico), se enfocan principalmente en operaciones morfológicas y de revegetalización (Barrera et al., 2008; Carrick y Krüger, 2006; Izquierdo et al., 2005; Ruiz y Mitchell, 2005; Contreras et al., 2005). No obstante, existen otras líneas de rehabilitación orientadas a las funciones paisajísticas, de ocio, educativas, artísticas y científicas, pero muy pocas o ninguna, al restablecimiento “integral” de funciones ecológicas (Álvarez, 2008).

La Universidad Nacional, (Vanegas 2014) realizó un estudio para generar un modelo conceptual de restauración para las condiciones climatológicas de Colombia, específicamente bajo las condiciones regionales del Municipio del Bagre en el Departamento de Antioquia, modelo replicado en diversos departamentos de la zona andina; lo cual debe ser evaluado debido a las diferencias territoriales de Colombia y su biodiversidad.

Este modelo propuesto por la UNAL al observarse brinda un 50% del éxito de la restauración a las medidas adicionales (MA), lo cual brinda un inicio de un camino pero no especifica la verdadera ruta de restauración integral como lo propone Álvarez (2008) y Cisneros (2011). Razón por la cual se evalúa lo propuesto y se ajusta a unas condiciones reales, medibles y satisfactorias conforme a las condiciones regionales. El IDEAM y Conservación Internacional,

generaron un proceso de restauración con sistemas agroforestales en alta montaña, ajustando las condiciones a las características climatológicas de la sabana Cundiboyacense. Situación que conlleva a buscar ajustes para la región amazónica.

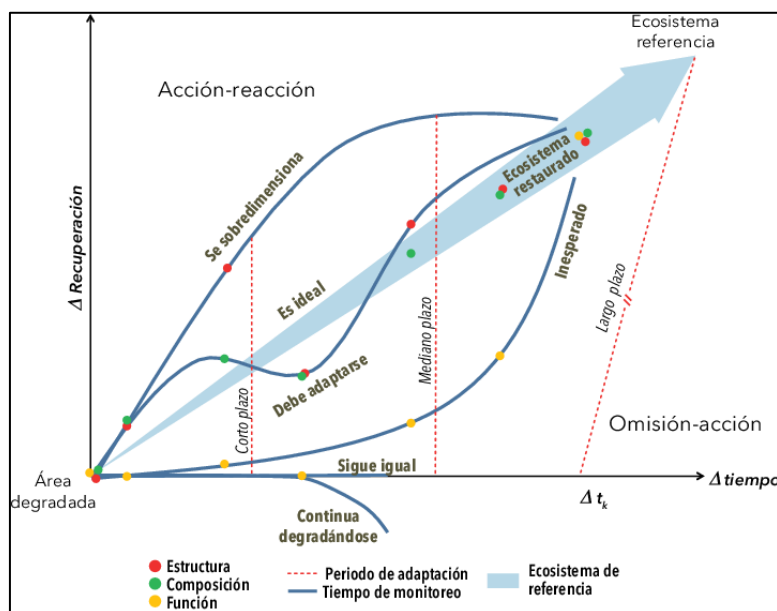


Figura 2. Proceso de Restauración Ecológica, Humboldt 2015.

Hoy, la institucionalidad dirige su atención a eliminar las acciones de la minería ilegal, como acción de las Fuerzas Militares y Autoridades Ambientales, pero el proceder es destrucción de maquinaria (Decreto 2235 de 2012) y los sitios alterados son abandonados a un proceso de regeneración natural, proceso que puede durar más de 50 años, como se observa en la vereda el Jauno, Municipio de Puerto Guzmán.

El factor tiempo dentro del proceso de restauración, es lo que se busca recortar con el esfuerzo de la comunidad y debe ser prioridad de la institucionalidad, toda vez que un terreno improductivo es una carga negativa dentro de las brechas sociales y económicas regionales; el cambio del tiempo de restauración y el mejoramiento de las condiciones ecosistémicas (IIAP, 2015).

El sitio seleccionado finalmente fue la Mina El Refugio, comprende un área total de 91 has+ 8.618 mts². El área alinderada se localiza en el Municipio de Puerto Guzmán, en la Vereda el Jauno, a 350 mts sobre la margen derecha del centro poblado de el Jauno y sobre la vía que conduce del Caserío de la Patria hacia el Casco Urbano de Puerto Guzmán, desviándose por la margen derecha sobre la Vía que conduce a la Batería Linda y corresponde al área de estudio.

Para contrarrestar el impacto negativo socio ambiental, que deja las labores mineras y su posterior abandono en la mina el REFUGIO, se establece el proyecto piloto y sus componentes agroforestales, realizando actividades de reforestación con especies restauradoras del suelo así como áreas de siembra cultivos frutales que contribuyen en la seguridad alimentaria del propietario, aparte de su contribución con el medio ambiente.

Si bien es un negocio de largo aliento con utilidades que solo se ven a los 5 años en adelante, impacta favorablemente a la restauración del área en especial en la reconfiguración del suelo en formación de PETS para su mejorar las condiciones de fertilidad e iniciar el desarrollo de la cobertura vegetal en un menor tiempo que la sucesión natural y que se retribuirá en beneficios económicos para las comunidades aledañas de los cultivos porque las une en su cuidado, proliferación de relaciones ecosistémicas de flora y fauna, contribuyendo de manera directa con la emisión de oxígeno y reteniendo y transformando el CO₂ en sus procesos iónicos y catiónicos.

Las especies seleccionadas para las el presente estudio corresponde a especies presentes en la región y que conforme a las pretensiones y coordinación participativa con la comunidad e instituciones se logró adelantar en aspectos de Seguridad Alimentaria con las especies: *Colocasia esculenta* – Bore, *Saccharum officinarum* – Caña, *Manihot esculenta* – Yuca, *Musa AAB Smmonds* – Plantano, *Ananas Comosus* – Piña, *Theobroma Cacao* – Cacao, *Persea Americana* – Aguacate, *Caesalpinia spinosa* – Guayaba, *Annona muricata L* – Guanabana y Variedad en

Citricos. Y de especies restauradoras de suelo, que aunque las comunidades desconocen sus aplicaciones en los procesos de restauración, son ampliamente difundidas y estudiadas a nivel mundial, estas son: *Leucaena Esculenta*, *Gliciridia sepium* y *Ochroma pyramidale*.

1.4.1. Generalidades de la *Leucaena Esculenta*

La *Lecucaena*, es originaria de la península de Yucatán (México) y se dispersó en forma natural hacia el sur hasta colonizar (no invadir) la mayor parte de Centroamérica. Es muy probable que este árbol hubiera continuado su migración hacia el Caribe y el interior de Colombia en un proceso natural pero mucho más lento que el impulsado por los intereses humanos. La especie *Leucaena Esculenta*, aunque no es originaria de la Amazonia, se estima que los Ganaderos provenientes del Tolima la introdujeron en el año 2000 al Caquetá para aumentar los sistemas silvopastoriles en la producción de carne y leche de los hatos ganaderos de esta región, de ahí se introduce al Departamento del Putumayo en los Municipios de Puerto Guzmán, Villagarzón y Mocoa. A nivel nacional los expertos del Instituto Alexander von Humboldt, durante la realización de los talleres regionales de Colombia (2017), ha expresado que “Esta especie (*leucaena*) se reportó como introducida y establecida en los departamentos de Valle del Cauca, Tolima, Meta y Santander, pero hasta el momento no se comporta como especie invasora sin observaciones de impactos negativos para las especies nativas.”(Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - Cipav, 2017).

1.4.2. Generalidades de la *Gliricidia sepium*

El Matarratón (*Gliricidia sepium*) es una especie con alto potencial de producción de biomasa para el consumo y elevado valor nutritivo que se presenta como una alternativa práctica y económica para incrementar la productividad animal y contribuir, de esta manera, a disminuir los costos de producción, (Clavero, 1996) citado por Marcial González et al. (2001). Una de las principales características de las leguminosas es la de fijar nitrógeno atmosférico en sus nódulos radicales para luego almacenarlos por medio de su metabolismo a su componente forrajero tales como tallos tiernos, hojas, peciolo y frutos en forma de proteína cruda (N x 6.25), cuyo contenido varía entre 10 a 35%. Su forraje contiene fibra larga, nitrógeno no proteico (NNP), proteína y grasa (Leng, 1988) citado por Ana González et al. (2001).

El Matarratón (*Gliricidia sepium*) es una leguminosa arbórea, perenne, nativa desde México hasta la parte norte de América del Sur, encontrándose ampliamente distribuido en las regiones tropicales del mundo, con multiplicidad de usos (Benavides et al., 1983) citado por Gómez et al. (1990). Se ha difundido en las áreas tropicales de América, África, Asia y Australia, naturalizándose en lugares húmedos y secos (CATIE, 1991). En Colombia es un árbol muy frecuente en diferentes zonas del país; es común encontrarlo en climas cálidos y medios. La planta crece desde el nivel del mar hasta 1500 m de altitud, con precipitaciones de 600 a 8000 mm/año, en suelos ácidos, salinos, arenosos y hasta infértiles. Sin embargo, no tolera niveles freáticos altos. Por su rusticidad y adaptabilidad a condiciones difíciles de suelo y clima, se está cultivando con mayor intensidad incrementando cada vez más las áreas de cultivo. (Gómez et al., 1990). Según Simón (1996) citado por Francisco et al. (1997) este arbusto tolera una gama amplia de suelos, desde arenas puras hasta vertisoles negros profundos, con un pH de 4 a 7; se ha

observado poca supervivencia en terrenos de mal drenaje interno y en suelos extremadamente ácidos y con alto contenido de aluminio.

1.4.3. Generalidades de la *Ochroma pyramidale*

Planta originaria de la América central. Se extiende desde el sureste de México, a través de Centroamérica, llegando a Colombia, Venezuela, Brasil, Ecuador, Per y Bolivia. Se le encuentra en las regiones de bosques lluviosos, entre 300 y 1,000 m de altitud. Recuperación de terrenos degradados. Esta planta se ha empleado para rehabilitar sitios donde hubo explotación minera, ampliamente difundida en Colombia, es utilizada también en costas y riveras por sus propiedades para la navegación.

La *Ochroma pyramidale*, es una especie forestal y maderera que posee gran demanda en el mercado internacional. Se cultiva de manera natural y por reforestación, en Ecuador, es uno de los recursos forestales y maderables de mayor aprovechamiento. La especie ha alcanzado un alto nivel de desarrollo, desde su reforestación hasta su posterior transformación. Hoy en día, la madera se usa para modelos, artesanías y juguetes. El balsa coloniza suelos arcillosos, margosos y limosos, e incluso el relleno de construcción recientemente depositado, pero no tolera los suelos de alta salinidad (Betancourt, 1968). Las características edafoclimáticas del Putumayo, hacen de este territorio, un espacio idóneo para la producción de esta especie (crecimiento, mejores características de su madera, posición ante los mercados). No obstante, todo este potencial lo ha liderado un limitado número de empresas reforestadoras, dejando a pequeños agricultores fuera de esta actividad (Espinoza, 2007)

2. METODOLOGÍA

2.1.LOCALIZACIÓN

El Municipio de Puerto Guzmán, ubicado en el departamento del Putumayo, cuenta con una extensión de 4565 kilómetros cuadrados, se ubica al noroccidente del departamento del Putumayo, con los siguientes límites: NORTE: Desde el nacimiento del río Jauno, en línea recta imaginaria hasta encontrar la desembocadura de la quebrada Sardinas en el río Caquetá. Río Caquetá aguas abajo hasta llegar al punto situado frente a la desembocadura del río Ortegua en el río Caquetá. ORIENTE: Desde el punto situado frente a la desembocadura del río Ortegua al río Caquetá, línea recta con dirección Sur Oeste hasta encontrar la confluencia de los ríos Mecaya y Yurilla. SUR: Desde Puerto Aquiles ubicado a orillas del río Yurilla, en línea recta imaginaria hasta el punto denominado Carrasquilla en el río Mecaya, luego sigue aguas arriba hasta la desembocadura del río Picudo Grande, de ahí aguas arriba hasta encontrar el río Caimán, luego del río Caimán sigue aguas arriba hasta el río Júpiter. OCCIDENTE: Con el Municipio de Mocoa, con una dirección de Occidente a oriente que sigue al río Caquetá en unos 200 Kilómetros de longitud.

Los principales indicadores del Municipio son: Población del Municipio, 32.338 Habitantes a Proyección 2017 – DANE; Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) compuesto 93.1 %; Extensión 4.565 K2, No. de inspecciones 9, Centros poblados 17, No. de veredas 184 , No. de cabildos 11. La zona de vida predominante en la región es el bosque húmedo tropical (bh-T), con una temperatura media superior a 24°C y un rango anual de precipitación entre 2.000 y 4.000 mm (Holdridge, 1982). El área de estudio contempla la comunidad de la vereda El Jauno, cuyos

habitantes desarrollan su actividad al interior del sistema hídrico del río El Jauno, en la que intervienen arroyos y caños anexos. Por lo anterior, se hace referencia a todos los pobladores de la vereda El Jauno y a los de algunos sectores de veredas vecinas, como Santa Lucía, San Pedro, Caimán entre otras, que dadas las relaciones sociales y culturales establecidas históricamente, son consideradas por ellos mismos como pertenecientes a la comunidad del Jauno (Corpoamazonia, 2010).

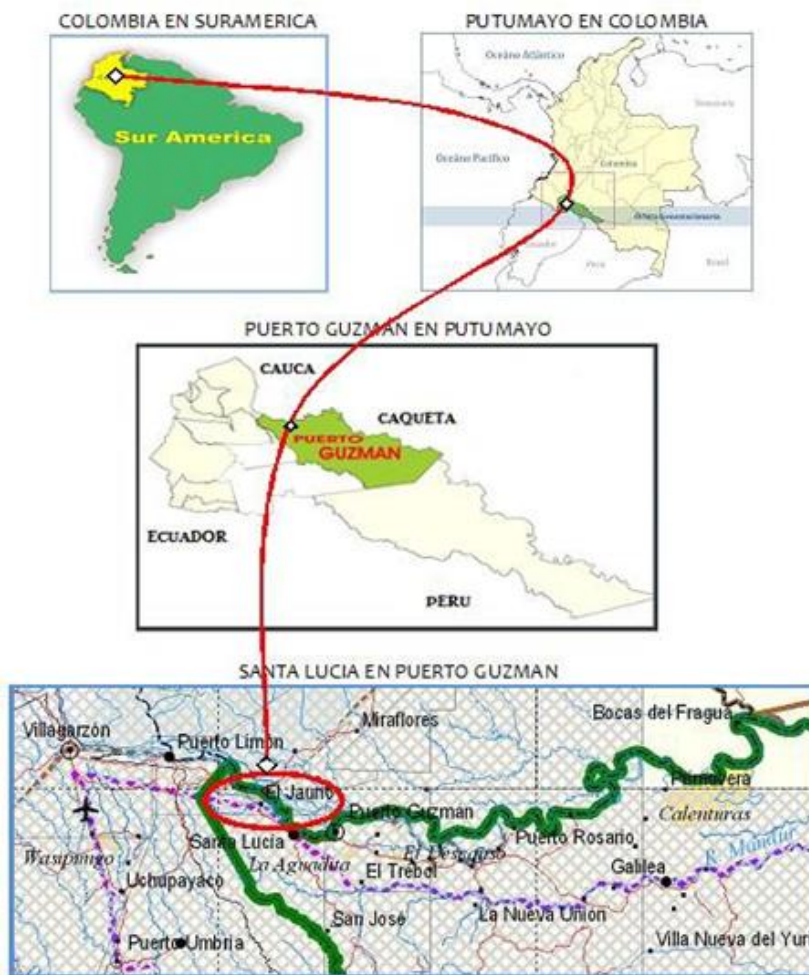


Figura 3. Localización

El trabajo se desarrolló en la Mina El Refugio, radicada bajo placa No OE2-10582 del Catastro Minero Nacional, cuya propiedad es del Sr. Luis Ángel Delgado, identificado con CC

No 15.565.231 de Mocoa. Esta área está definida por un (1) polígono donde se llevarán a cabo las obras y actividades del proyecto, en el que eventualmente pueden generarse los impactos ambientales directos de éste sobre el componente ambiental y social en análisis; comprende un área total de 91 has+ 8.618 m² (Gonzalez, 2016).

2.2.SUELOS REGIONALES

En general los suelos del Departamento del Putumayo, se caracterizan y se han clasificado como: Inceptisoles (58.98%), Ultisoles (14.81%), Andisoles (6.29%), Oxisoles (5.59%), Entisoles (4.50%) e Histosoles (2.23%) (IGAC, 2018).

2.2.1. Suelos y Medios de Crecimiento

La vereda el Jauno y el sitio de estudio, se identificó como una zona que presenta suelos que según la clasificación de la USDA es del orden de los INCEPTISOLES (IGAC, 2018).

A continuación se presentan los principales resultados de los suelos presentes, para poder realizar una relación e interacción ecosistémica y poder conocer la dinámica de la planicie de inundación.

2.2.1.1.Suelos Oxic Dystrudepts - Diques

Se localizan en las terrazas, aledaños a los abanicos aluviales, han evolucionado de aluviones antiguos de textura fina, son profundos, drenados, textura arcillosa y fuertemente ácidos.

Los perfiles muestran una secuencia de horizontes A – B, el Ap tiene un espesor promedio de 10 cm, color pardo amarillento, textura arcillosa y estructura en bloques subangulares finos,

moderadamente desarrollados. El horizonte Bw está conformado por varios subhorizontes de colores pardo amarillentos oscuros y pardos con estructuras de bloques subangulares finos, medio y gruesos, moderadamente desarrollados. Los resultados de laboratorio, indican que estos suelos son ácidos, la capacidad de cambio catiónico es media, las bases totales como también la saturación de bases es muy baja; se identificó que los contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Fosforo (P) son bajos en estos suelos, la saturación de Aluminio (Al) es muy alta, el contenido de Materia Orgánica del Suelo (M.O.S.) es media en la capa superficial, debido a los efectos de hojarasca y bajo en los horizontes profundos, siendo significativa para la Fertilidad y desarrollo efectivo de raíces de las plantas. Las propiedades físicas indican que estos suelos presentan texturas finas, con baja a moderada retención de humedad (12-25%), la densidad real es alta (2.7 – 2.8 gr/cc) y la aparente es baja (0.86 – 0.95 gr/cc), los valores de porosidad total son altos (45 -50%) dominada por los microporos. Este tipo de suelos de moderada evolución, presentan un epipedón ócrico y endopedón cámbico, saturación de bases menor del 50%, régimen de humedad Údico, y capacidad de intercambio catiónico entre 16 y 24 cm/mol/kg de arcilla. Las limitantes identificadas para la fertilidad del suelo son: Lluvias excesivas, alta acidez, alta saturación de aluminio y baja disponibilidad de nutrientes (IGAC, 2018).

De las 28 cajuelas, el 75% presentaron clases texturales entre arcillosas (Ar) y limo arcillosas (LAr), y el 25% restante se clasificaron como texturas francas (FA - FAr). Según Junk et al. (1989) y Neiff (1990), esta composición granulométrica se encuentra asociada a una alta carga de sedimentos finos depositados durante los pulsos hidro sedimentológicos (Figura 3).



Figura 4. Suelos Oxic Dystrudepts – Diques

a) Posición geomorfológica para dique. b) Suelo a 25 cm de profundidad.

2.2.1.2. Suelos Fluvaquentic Endoaquepts – Canaguchales o Basines

Estos suelos están localizados en los planos de inundación de los ríos Caquetá y Jauno, han evolucionado de depósitos aluviales finos, muy ácidos y baja fertilidad. Son conocidos como Basines y regionalmente se los denomina Canaguchales por la presencia de la palma Canangucha (*Mauritia flexuosa*). Los horizontes de estos suelos presentan una secuencia de horizontes A-B-C; donde el horizonte Ap es muy delgado de color pardo y gris, textura franca y estructura en bloques subangulares fino, débiles a moderados. El horizonte Bg está conformado por dos subhorizontes que presentan colores gris verdoso claro con moteos de color amarillo rojizo, textura arcillosa muy fina y estructura en bloques angulares finos y medios, moderadamente desarrollados. El horizonte Cg tiene color gris y textura arcillosa. El laboratorio indica que estos suelos, presentan reacción altamente acida, la capacidad de intercambio catiónico varía de media a alta, las bases totales como su saturación es baja, el Calcio (Ca) y Potasio (K) presentan contenidos medios en los 10 cm iniciales y bajo en las demás profundidades, el Fósforo (P) es

bajo, la M.O.S es alta en el primer horizonte producto de la descomposición vegetal y bajo en los demás, alta saturación de Aluminio (Al) y por consiguiente presenta una incidencia negativa en cuanto a fertilidad. La textura es fina, densidad real baja a media (2.1 – 2.6 gr/cc), la densidad aparente es muy baja en el primer horizonte (0.95 gr/cc) y baja en los demás (1.23 gr/cc), la densidad real es moderada (2.5 gr/cc). Estos suelos poco evolucionados tienen epipedón ócrico, endopedón cámbico, régimen humedad ácuico, concentraciones redox y cromas de 2 o menos, contenido de Carbono orgánico de 0.2%. Las limitantes para fertilidad identificadas son: escasa profundidad efectiva radicular, nivel freático muy alto, drenaje pobre, inundación frecuente y exceso de lluvias (IGAC, 2018).

Los Cananguchales o Basines, los materiales mostraron un predominio de texturas pesadas, esto es, para un 93% de las cajuelas se encontraron texturas arcillosas (Ar); el 7% restante corresponde a materiales franco arcillosos (FAR), textura que igualmente se encuentra supeditada por las propiedades derivadas de los coloides de tipo mineral. En esta unidad es mucho más marcada la acumulación de sedimentos finos provenientes de los pulsos hidrosedimentológicos de los ríos Caquetá y Jauno, teniendo en cuenta que por su posición en la llanura de inundación, el tiempo de residencia del agua y los sedimentos per se, es mayor la acumulación de arcillas que en las demás unidades según la caracterización realizada.

Respecto al contenido de humedad en los suelos del basín, es marcada la superioridad que tienen los suelos saturados, dado que cerca del 86% de las cajuelas evaluadas presentaron “agua libre” o láminas de agua por encima de la superficie del suelo o sustrato (Figura 4). Lo anterior es una condición propia en la cual se desarrollan los ecosistemas de terrazas de inundación en una planicie de inundación, situación que modela y determina las condiciones para las adaptaciones tanto de la flora y la fauna, como de las comunidades humanas que conviven en

estas zonas. Vale la pena aclarar que la mayor parte del área de la planicie de inundación, está ocupada y regida por este tipo de suelos o sustratos.



Figura 5. Suelos Fluvaquentic Endoaquepts – Cananguchales o Basines

a) Posición geomorfológica para basín. b) Suelo a 15 cm de profundidad.

2.2.1.3. Suelos Fluventic Dystrudepts – Piedemonte y Terrazas segundo Nivel

Estos suelos se localizan alrededor de los valles aluviales (Piedemonte) y son objeto de los cortes con las motobombas, son suelos originados por aluviones medios y finos. Son profundos, bien drenados, de textura moderadamente fina, muy ácidos y baja fertilidad. Presenta una secuencia de horizonte A-B-C. El horizonte A con un espesor de 10 cm, color pardo grisáceo muy oscuro, textura franco arcillosa y estructura en bloque subangulares fino y medios, débiles; el horizonte Bw está conformado por dos subhorizontes de color pardo amarillento y amarillo pardusco, texturas franco arcillo arenosas y arcillosas, estructura de bloques subangulares medios y gruesos, moderadamente desarrollados. El horizonte C aparece después de 1 mtr de profundidad de color pardusco con textura arcillosa y masiva. El laboratorio indica que la capacidad de intercambio catiónico es alta en el primer horizonte y medio en las demás capas, la

reacción acida es alta, las bases totales como saturación son bajas; los contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y presenta medio conyenido de Fosforo (P) va de medio a bajo, el contenido de M.O.S. es alto en la primera capa y bajo en las demás. Este tipo de suelo se caracteriza por contar con un epipedón ócrico, endopedón cámbico, régimen de unidad Údico, contenido de carbono mayor a 0.2% y baja saturación de bases (IGAC, 2018). Por su parte, los suelos de la unidad geomorfológica piedemonte fueron igualmente contrastantes, tanto en texturas como en contenido de humedad respecto al dique y el basín. La clase textural predominante fue la franca - arenosa (FA) para el 66% de las cajuelas, seguido por la areno – limosa para el 33% de las restantes. Dicha clases texturales implican buena capacidad de infiltración y permeabilidad en los suelos, situación común en suelos de ladera y que no se presenta en las demás unidades geomorfológicas. En términos del contenido de humedad, la totalidad de las cajuelas estuvieron en el rango “húmedo”, condición esperada para suelos de bosques tropicales de tierra firme (Figura 5). Esta condición de los suelos está estrechamente relacionada con los cambios en la composición florística observada en la unidad, si se considera que los ecosistemas fueron plenamente diferentes y complementarios a los del dique y basín.



Figura 6. Suelos Fluventic Dystrudepts

a) Posición geomorfológica de piedemonte. b) Suelo a 15 cm de profundidad.

2.3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.3.1. Flora

En el recurso flora específicamente, los ecosistemas fluviales no presentan una distribución homogénea para las unidades geomorfológicas, la presencia y frecuencia de una especie es un indicador de la receptividad del hábitat (Neiff et al., 2005). En los ecosistemas objeto de estudio, algunas de las especies encontradas se distribuyeron en un amplio rango de condiciones de hábitats, indicando una alta capacidad de adaptación de dichas especies (SAG, 2009).

La composición florística de las coberturas vegetales en las diferentes posiciones topográficas (Figura 7) y fajas muestreadas, permitió identificar las siguientes categorías de cobertura vegetal: bosque altamente intervenido, rastrojos altos, pasto arbolado denso y pasto arbolado ralo, entre ellas está inmersa la vegetación de inundación. En las categorías mencionadas se centró el inventario, haciendo énfasis en los árboles y arbustos con diámetros superiores a 2,5 cm.

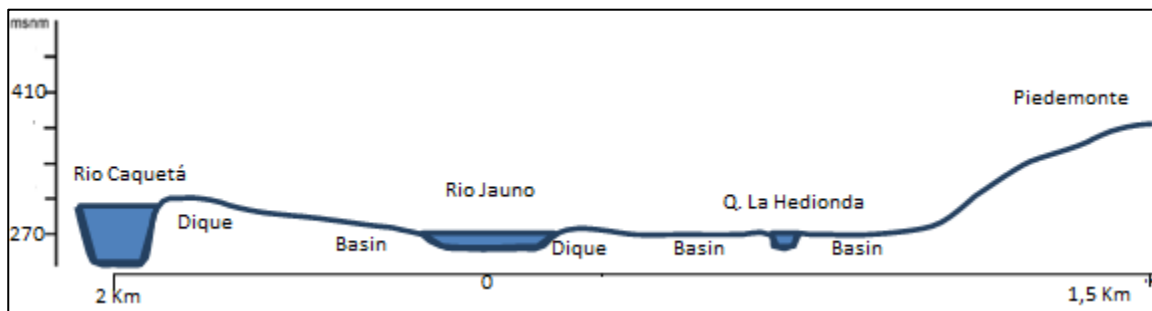


Figura 7. Perfil longitudinal promedio de las fajas de muestreo.

A continuación se presentan la composición florística en cada posición geomorfológica, tomando como referencia la caracterización hecha por SAG (2009) para tipificar la vegetación en el dique, basín y piedemonte de las fajas muestreadas.

2.3.1.1. Dique

Los diques principales ubicados en las orillas del río Jauno y algunos diques medios en los alrededores de humedales y caños, se caracterizan por presentar principalmente coberturas pioneras, de rápido crecimiento. En las fajas que fueron muestreadas en el estudio de referencia, la cobertura de pastizales ocupa el 73,3% del área, seguido por los bosques y rastrojos con el 13,3% cada uno. Esta posición exhibe una gran dinámica desde el punto de vista del uso del suelo, debido principalmente a que las inundaciones periódicas de poca duración permiten durante varios meses el establecimiento de cultivos, pastoreo de vacunos y el avance de relictos estadios iniciales como los rastrojos bajos. El Yarumo blanco (*Cecropia cf. tesmanii*) es la especie pionera y arbórea de más amplia distribución a lo largo del área, seguida por la gramínea gramalote (*Cortadeira sp.*) e Iraca (*Carludovica palmata*)



Figura 8. Cobertura vegetal típica de los diques en la planicie de inundación.

Los escasos relictos boscosos que aún permanecen en los diques del área de estudio, se caracterizan por presentar especies arbóreas y arbustivas de poco valor comercial, crecimiento moderado pero de gran importancia ecológica según el índice de valor de importancia. Es el caso del palo negro (*Oligantis discolor-Compositae*), guamo, (*Inga sp., Mimosaceae*), uarango (*Parkia multijuga Myristicaceae*) son las de mayor peso, debido principalmente a la cantidad de árboles reportados (abundancia) en los transectos de las fajas de muestreo, su alta dominancia relativa y su constante presencia a lo largo de los diques que aún conservan cobertura boscosa. En la caracterización de referencia se sustenta que la cobertura de rastrojos altos en los diques presentó una menor abundancia y riqueza comparada con la que exhiben los ubicados en el basín. Predomina el Yarumo blanco (*Cecropia cf. tesmanii*), especie con particularidades ecológicas comunes que demuestran la capacidad de adaptación y su importante función ecológica observada, a saber: (i) tolerantes a grandes intensidades lumínicas, lo que implica que poseen una alta saturación fotosintética aprovechando al máximo la luz disponible, (ii) toleran condiciones de suelo saturado (inundados) y de drenajes excesivos (diques arenosos) y (iii), se conoce estudios que el Yarumo blanco es un bioremediador de zonas contaminadas con Mercurio en procesos auríferos. Para el caso de los pastizales que se hayan en este nivel, las especies más representativas con crecimiento arbóreo fueron respectivamente el canaleta (*Jacaranda copaia-Bignoniaceae*), morochillo (*Miconia sp., Melastomataceae*) y el caracolí (*Ostheophloeum platyspermum-Myristicaceae*) básicamente por la mayor cantidad de individuos que tipifican en gran parte el perfil vertical de estas coberturas.

2.3.1.2. Basín o Cananguchal

Es la unidad geomorfológica con mayor diversidad de especies en los estratos inferiores (regeneración), presentando además la mayor proporción en área boscosa entre las diferentes posiciones topográficas, elementos que están fuertemente influenciados por el uso actual del suelo en estas zonas bajas, considerando que no son aptas para ganadería y ni para el establecimiento de cultivos por su permanente inundación. En las fajas de muestreo, se encontró un 58,3% de pastizales, 29,1% de bosques y 12,5% de rastrojos. Las especies arbóreas más representativas en las coberturas boscosas del basín, fueron el estopo (*Vasivaea podocarpa*), el cativo (*Prioria copaifera*) y el siete cueros (*Machaerium capote*) por presentar mayores frecuencias y dominancias relativas según el IVI. Los remanentes de vegetación arbustiva o de rastrojos observados en el basín, presentaron según el número de especies y los índices de diversidad alfa que referencia el estudio, una mayor riqueza de especies y abundancia de individuos, comparados con los ubicados en diques. En estos sitios inundados, se percibe una mayor representatividad de ecosistemas de planicie de inundación, con el predominio de una de las especies más frecuentes como es la palma canangucha (*Euterpe precatoria*), especie que alcanza a configurar formaciones llamadas “canaguchales”, tolerante a las condiciones de inundación, incluso por varios años. Los pastizales arbolados densos y ralos por su parte, son coberturas frecuentemente intervenidas para el desarrollo de actividades agropecuarias. Tienen una distribución a lo largo y ancho de la planicie aluvial y ellos sobresalen las especies canutillo (*Hymenachne amplexicaulis*), caminador (*Sorghum halepense*) y (*Cortadeira* sp.), siendo predominantes las especies de tipo rastrero o herbáceo (regeneración).



Figura 9. Cobertura vegetal típica de canaguales.

De otro lado, las especies con crecimiento arbóreo más representativas fueron el estopo (*Vasivaea podocarpa*), el sietecueros (*Machaerium capote*) y el Yarumo blanco (*Cecropia cf. tesmanii*) por su abundancia, frecuencia o dominancia relativa principalmente. Cerca del 55% de las especies identificadas en los pastizales se catalogan como pioneras y están presentes en todas las unidades geomorfológicas, situación que resalta la adaptabilidad de estas especies a las diferentes condiciones presentadas en la planicie aluvial. El muestreo florístico en esta unidad geomorfológica permitió identificar que algunas especies son piezas fundamentales en estos ecosistemas, dado que como producto de las condiciones inundadas, las especies allí presentes tienden a desarrollar estructuras morfológicas que reflejan el grado de complejidad fisiológica de la zona, situación que se relaciona directamente con una respuesta de tipo adaptativa por parte de la biota.

2.3.1.3. Piedemonte

Unidad geomorfológica con la menor riqueza de especies en las áreas muestreadas, tanto para la regeneración como para los estratos arbóreos y arbustivos. En las fajas inventariadas en el piedemonte, sus coberturas ocuparon un 60% los pastizales y un 40% los bosques; en esta unidad

no se presentaron rastrojos. Pese a ser la posición con menor área inventariada (2 parcelas de muestreo), fue evidente el cambio en la composición cambiaron las condiciones de humedad en el suelo, es decir, en las parcelas ubicadas en suelos no inundables. Las especies de regeneración y del sotobosque a diferencia de las demás posiciones, fueron en su mayoría provenientes de árboles y arbustos típicos de bosques húmedos tropicales, destacándose entre ellas el careto (*Aspidosperma myristicifolium*), guayabo (*Bellucia pentamera*), sande (*Brosimum utile*). Adicionalmente, el número de individuos de éstas especies en el sotobosque fue mayor en esta posición topográfica que en el basín y el dique, según el estudio de la referencia.



Figura 10. Cobertura vegetal típica de Piedemonte.

Entre las especies arbóreas más representativas para la posición topográfica según su importancia ecológica como: tomín (*Cespedesia spathulata*) y el guayabo (*Bellucia pentamera*), especies que poseen más del 50% del peso ecológico total (IVI) de los árboles de la cobertura. En general, la unidad geomorfológica de piedemonte presentó 54 especies vegetales entre regeneración y estrato arbóreo. El estudio de caracterización concluye que la composición florística del piedemonte contrasta radicalmente con la observada en el dique y el basín,

considerando que ninguna de las especies de mayor peso ecológico, fue observada en las demás unidades geomorfológicas inventariadas en las tres fajas de muestreo, indicando también poca influencia de la dinámica de inundaciones del río Caquetá sobre esta unidad geomorfológica.

2.3.2. Distribución general de la vegetación en las unidades geomorfológicas

En la Figura 11 presenta un resumen de la ocupación y diversidad del recurso flora en las unidades geomorfológicas para el área del ecosistema de referencia.

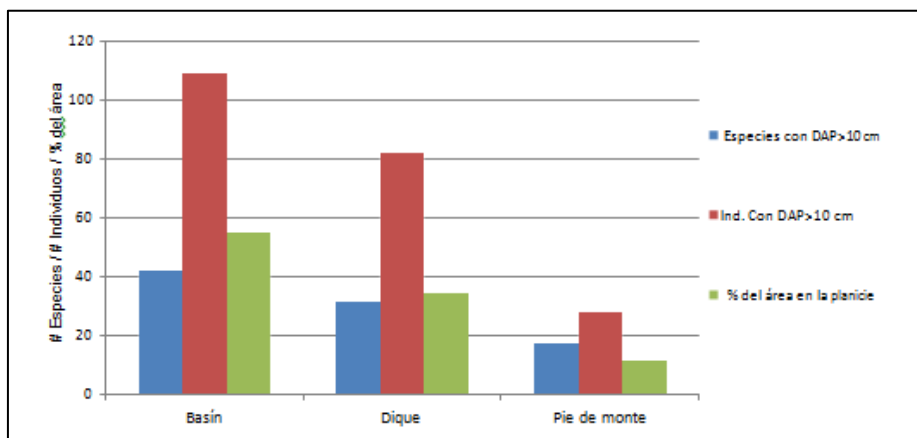


Figura 11. Número de especies e individuos con diámetros mayores a 10 cm para cada unidad geomorfológica en la planicie aluvial.

La figura anterior da cuenta de la dominancia e importancia en términos florísticos que representa la unidad de basín en el tramo de la planicie estudiado, además de la particularidad de dicha vegetación, considerando que la mayoría de las especies que ocupan estos ecosistemas solo están presentes en condiciones inundables, colonizando algunas a lo sumo a la unidad de dique, pero que definitivamente distan en composición con la unidad de piedemonte..

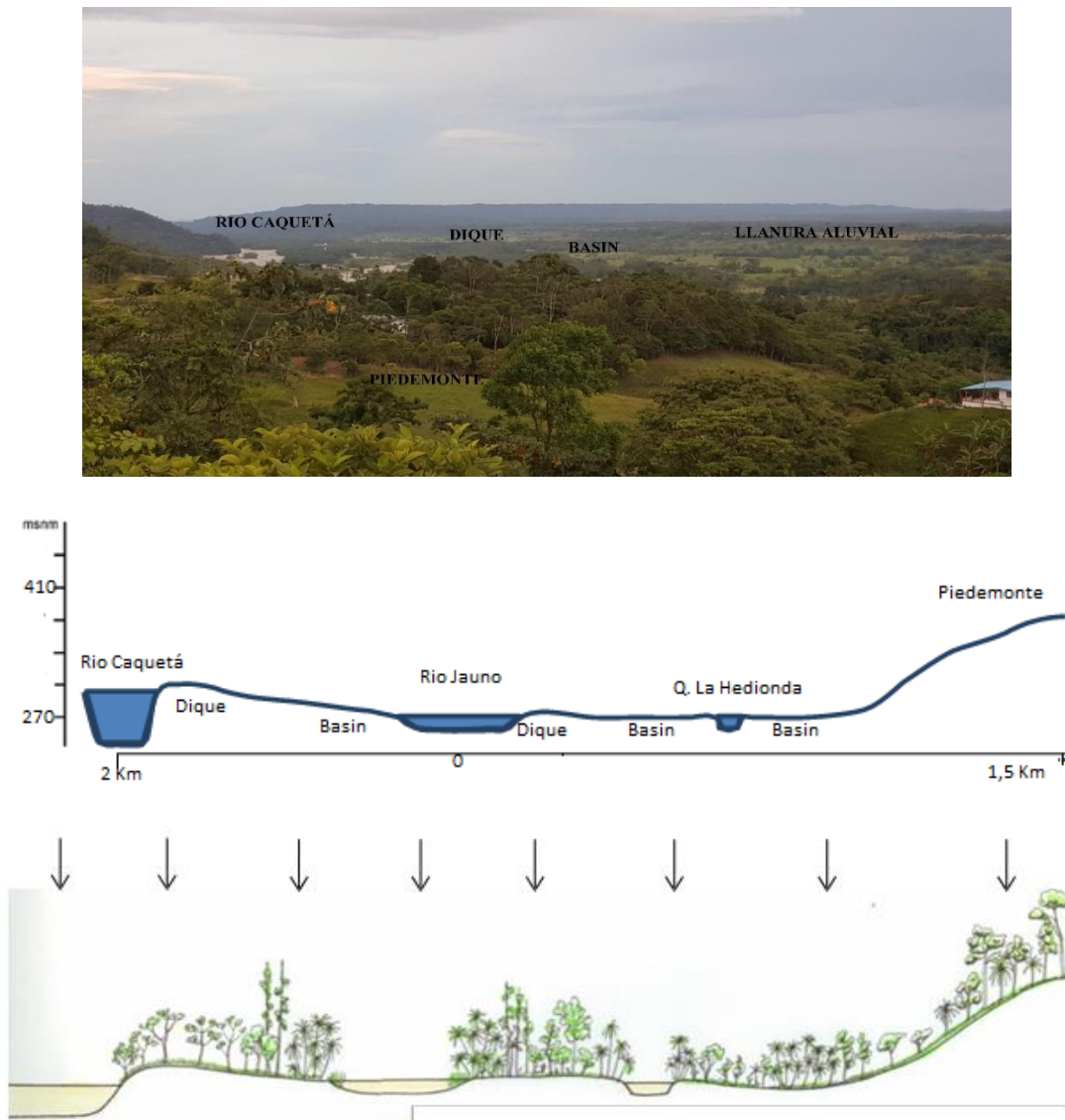


Figura 12. Esquema horizontal y vertical de una faja de muestreo a lo ancho de la planicie aluvial del río Caquetá, vereda Jauno.

2.3.3. Fauna

Las terrazas de inundación proveen hábitat, alimento y protección a una gran variedad de especies de animales como peces, aves, mamíferos, reptiles e invertebrados. Por su importancia y

relación directa con las costumbres alimenticias de las comunidades que residen en el lugar, se procederá a considerar como de mayor importancia faunística, la presencia y alteración íctica.

Una función de gran importancia a nivel de la comunidad íctica, es el papel que estos ecosistemas juegan como criaderos para especies de nativas. De hecho, en diferentes regiones del mundo se ha establecido una relación positiva entre el área de bajo inundable y la producción pesquera y esta a su vez en relación con los hábitos alimenticios de las comunidades ribereñas.

Tres funciones principales pueden proveer las terrazas de inundación a las diferentes poblaciones de peces: hábitat, producción de alimento y filtración de aguas. Entre más tiempo o más frecuentemente se dé el evento de inundación, es más el tiempo que los peces pueden permanecer en dicho ecosistema y beneficiarse de sus servicios (Gil et al., 2007).

Ciertas variaciones en la estructura de las comunidades de peces son causadas por las diversas interacciones biológicas, como la cobertura de macrófitas, la complejidad del hábitat, las redes tróficas y las relaciones de competencia y depredación (Kupschus and Tremain, (2001); Heredia, (2002); Petry et al., (2003)).

Para la región de estudio, Corpoamazonia (2000), realizó una caracterización íctica de los humedales. Entre los principales aportes de ese trabajo se puede citar: Hay un creciente dominio de la mojarra amarilla (*Petenia kraussi*), de gran adaptación a estos ambientes lénticos y zonas de cananguchales. Las especies de mayor frecuencia (21% del total registrado) son cinco: bocachico (*Prochilodus reticulatus*), mojarra amarilla (*Petenia kraussi*), sardinas (*Astyanas magdalenae*), palometas (*Sorubim lima*) y barbudos (*Pseudoplatystoma fasciatum*). Entre las especies usadas como alimento por las comunidades de la región se destacan el barbudo (*Pimelodus grosskopfii*), cheo (*Leporinus friderici*), dorada (*Brycon moorei*), viejo (*Curimata magdalenae*); utilizadas como carnada agujeta (*Ctenolucius hujeta*) y palometa (*Cyrtocharax*

magdalenae), sin uso alguno matacaimán (*Centrochir crocodilii*), anguilla (*Synbranchus marmoratus*) y denton (*Hoplosternum thoracatum*).

A nivel regional, el INPA citado por Contraloría General (2013), reporta un descenso de biomasa íctica entre 1975 y 2014, de 18.000 a 600 toneladas, el cual atribuye a cuatro causas: la explotación minera (sedimentación), la deforestación (tala en cabeceras y márgenes de cauces), la contaminación exógena a la región y la mala explotación por parte de los pescadores (pobreza, artes de pesca y métodos no selectivos, no cumplimiento de vedas).

2.3.4. Dinámica Social

2.3.4.1. Edad de la Población

El total de personas encuestada fue agrupado en cuatro rangos de edades, se puede observar que el mayor número de personas encuestada oscilan en un rango de edad entre los 40 y los 50 años y el menor oscilan entre los 20 y 30 años.

2.3.4.2. Nivel Educativo

Así mismo, el nivel de formación educativa permitió constatar que la primaria y la secundaria son el grado de formación predominante, a pesar de que aún existen personas que no tiene ningún tipo de formación. Este hecho puede estar correlacionado con la edad de los encuestados.

2.3.4.3. Actividad Económica Actual:

Las personas encuestadas en cuanto a sus principales actividades en sus predios se aprecia que la mayoría se dedica a la minería y otras a la agricultura.

2.3.4.4. Tenencia de la Tierra

Ese mismo orden, del 100% de las personas encuestada un 56% utilizan las tierras arrendadas, el 36% manifiesta que las tierras son propias y con relación a que un 8% la utilizan prestada.

2.3.4.5. Área y Adquisición Predial

Referente al área de los predios se obtuvo que la mayor área de las personas encuestadas es equivalente a 20 ha y la menor a de 1 ha. La forma de adquisición de estos has sido mediante herencia en mayor porcentaje mientras que unas pocas han sido mediante la compra o invasión de predios.

2.3.4.6. Tipo de Propiedad y Antigüedad Actividad Minera

Se obtuvo que el mayor número de encuestado son propietarios de las tierra y que la actividad minera la vienen ejerciendo hace más de 20 años, un bajo número de mineros lo hacen recientemente y oscilan entre 0 y 10 años.

2.3.4.7. Toma de Decisiones en Uso del Suelo

La mano de obra y la toma de decisiones sobre el manejo de la tierra presentaron valores muy similares lo que indica que existe una posible relación entre éstas la mano de obra es contratada y los hombres son las personas que más influyen en la toma de decisión mientras que las mujeres lo hacen en menor proporción.

2.4.DISEÑO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Se utilizó los dos componentes acordados con la comunidad: Seguridad Alimentaria y Recuperación de Suelo. Los tratamientos evaluados correspondieron a la combinación de dos factores de la siguiente manera:

2.4.1. Banco de Proteína

Es un área destinada para la siembra de leguminosas forrajeras herbáceas, rastreras o erectas, o de tipo arbustivo, que se emplean para corte o pastoreo directo por rumiantes, como complemento al pastoreo de gramíneas. El área general dispone en la zona oriental de 8 ha dedicadas a rastrojos de restauración natural y pasturas, donde las principales especies a establecer y mejorar la alimentación para el ganado como para fauna silvestre, se hará por lotes de siembra: Gramalote (*Paspalum fasciculatum*), King Grass (*Pennisetum sp*), Caña (*Saccharum officinarum*) y matarratón (*Gliciridia sepium*). El manejo que se realiza a la pradera es la fertilización con abono, dos veces al año. Se harán 7 divisiones de potreros se rota el ganado para pastorear, se utiliza cerca eléctrica para la provisión diaria de pasto, con un mes de duración en cada parcela y un periodo de descanso de 80 días.

2.4.2. Cercas Vivas

Una cerca viva es una línea de árboles o arbustos que delimitan una propiedad a manera de postes. Adicional de estos servicios, se establecen para producir forraje, leña, madera, flores para

miel, frutos, etc. Se concertó junto con el minero, la opción de establecer cercas vivas como divisiones de áreas entre potreros de levante y cultivos en la finca; de acuerdo con la forma y el área de la misma, se establecerán dos cercas de Oriente a Sur, dividiendo la finca en dos áreas. Las especies nativas escogidas por su desarrollo y objetivo, se dividieron en dos: las de propiedades para la restauración del suelo y las de valor comercial como ingreso adicional al titular; las especies fueron: leguminosas nativas: Acacia Rosa (*Leucaena esculenta*), Matarratón (*Gliciridia sepium*) y Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Sangre toro (*Virola sp.*) y Achapo (*Cedrelinga catanaeformis*) que se sembrarán de manera intercalada con distancias entre arboles de 3m. Con esta actividad, se busca principalmente mejorar las condiciones del suelo (fijación de nitrógeno) y reducir el progreso de la erosión, debido a las pendientes (Jiménez y Muschler, 2001).

2.4.3. Huertos Caseros

El huerto agroforestal es el espacio de integración de la familia constituido por un sistema diversificado de producción de árboles o arbustos de uso múltiple combinados con cultivos agrícolas, frutales, hortalizas, medicinales, ornamentales, pastos y animales que benefician al mejoramiento de la dieta familiar y a la generación de ingresos económicos. Por otra parte, los huertos agroforestales permiten utilizar de mejor manera el espacio de tierra del cual se dispone, ya que la distribución de los cultivos en varios estratos da acceso a un aprovechamiento de nutrientes, luz, agua y energía. La diversidad de la producción facilita una distribución favorable del trabajo, una variación estimulante de la ocupación y un rendimiento constante, gracias a la diversidad de ritmos de maduración. También permite una mayor seguridad económica; por un

lado, disminuye los riesgos de ataques masivos de plagas y enfermedades como suele ocurrir a menudo con los monocultivos y, por otro, aminora los riesgos que se relacionan con los cambios en el precio de ciertos productos en el mercado.

2.4.3.1. Cultivo de Bore (Colocasia esculenta)

Es una hierba gigante que puede alcanzar hasta 5 m de altura y sus hojas hasta un metro de largo. Es muy eficiente captando energía solar bajo condiciones de sombra, característica que es importante para asociarla con otras especies arbóreas. Acumula almidón en tallos subterráneos llamados cormos, crece rápidamente y se adapta bien en diversas zonas de vida pasando por los climas medios hasta cálidos y suelos pantanosos y de baja fertilidad. En su tallo se acumulan carbohidratos en forma de almidón y sus hojas cantidades importantes de proteína, estas dos características la convierten en una especie promisoría para alimentación de peces, cerdos, aves y humanos. Su siembra es en surcos separados de 60 cm y distancia de planta a planta de 40 cm.

2.4.3.2. Cultivo de Caña (Saccharum officinarum)

La caña de azúcar es una planta perenne con alta producción de biomasa (hojas y tallos) que al llegar a su madurez, la mitad de su biomasa está en forma de azúcares. El manejo de la producción de caña y panela en la región es tradicional, pero el cultivo ofrece una alta producción de forraje que puede utilizarse en la alimentación animal. Su siembra se realiza en surcos con distancias de 50 cm y distancia entre macollas de 30 cm.

2.4.3.3. Cultivo de Yuca (Manihot esculenta)

La yuca se presenta como una buena alternativa para la elaboración de alimentos y su

importancia en la Vereda el Jauno, radica en que este cultivo se adapta bien a los suelos arcillosos e infértiles, tolerando periodos largos sin lluvia, con la ventaja que tanto las raíces como el follaje pueden ser aprovechados como fuente energética y/o proteica. Su siembra es en surcos con distancia de 1 mtr y distancia entre árbol de 70 cm.

2.4.3.4.Cultivo de Plátano (Musa AAB Smmonds)

El plátano se considera un cultivo colonizador o de subsistencia, que asociado a otros cultivos y árboles, se siembra en las vegas de los ríos o zonas de colonización; es de gran importancia en la alimentación local tanta de personas como para cría de especies pecuarias menores.

2.4.3.5.Cultivo de Piña (Ananas Comosus)

Es un frutal que ha tomado auge desde hace uso 7 años atrás, las características acidas del suelo del Putumayo y la radiación solar, generan un efecto muy positivo en el sabor de la misma, lográndose posicionar en los mercados nacionales de manera igual o en algunos mercados superior a la piña Oro miel producida en el Departamento del cauca y la zona del Urabá, Su siembre es por los vástagos se plantan en línea, dejando 40-45 cm entre plantas y algo más entre hileras. Normalmente las plantas se renuevan cada dos ciclos de cosecha para evitar la disminución del rendimiento.

2.4.3.6.Cultivo de Cacao (Theobrama Cacao)

El cacao es un árbol que necesita de humedad y de calor. Es de hoja perenne y siempre se encuentra en floración, crece entre los 6 y los 10 m de altura. Requiere sombra, se intercala con árboles perennes y plátano, ofrece protección del viento, aunque requiere suelos ricos y porosos,

se adapta bien a zonas removidas y en proceso de recuperación. Sus flores y frutos nacen directamente del tallo y ramas; el fruto es una baya denominada maraca o mazorca, que tiene forma de calabacín alargado, se vuelve roja o amarillo purpúrea y pesa aproximadamente 450 g cuando madura (de 15 a 30 cm de largo por 7 a 12 de ancho). Un árbol comienza a rendir cuando tiene 4 ó 5 años. En un año, cuando madura, puede tener 6.000 flores pero sólo 20 maracas. A pesar de que sus frutos maduran durante todo el año, normalmente se realizan dos cosechas: la principal y una intermedia; son necesarios de cinco a seis meses entre su fertilización y su recolección.

2.4.3.7.Cultivo de Toronja (Citrus grandis)

El árbol es neutrófilo, aunque tolera bastante bien las condiciones del suelo; el exceso de nitrógeno cobre o zinc son perniciosos, es susceptible al virus de la tristeza, su demanda comercial es más que todo para padrones de injerto con otros cítricos, por su resistencia a enfermedades y plagas y también tiene demanda comercial con fines medicinales y alto contenido de vitamina C.

2.4.3.8.Cultivo de Tangelos (Citrus reticulata * Citrus Paradise)

El tangelo es una especie de cítrico. Es un híbrido, tienen un sabor parecido a la mandarina, pero más jugoso, hasta el punto de no tener demasiada pulpa pero si producir un excelente zumo. Los tangelos tienen generalmente la piel libre y son más fáciles de pelar que las naranjas. Son fácilmente distinguibles de las naranjas por una característica protuberancia que tiene el fruto en su inserción con el pedúnculo.

2.4.3.9. Cultivo de Naranja Valencia (*Citrus sinensis* var. *salustiana*)

La naranja es una fruta cítrica comestible obtenida del cruce entre el naranjo dulce (*Citrus × sinensis*), del naranjo amargo (*Citrus × aurantium*) y de naranjos de otras especies o híbridos. Es un hesperidio carnoso de cáscara más o menos gruesa y endurecida, y su pulpa está formada típicamente por once gajos u hollejos llenos de jugo, el cual contiene mucha vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Es más pequeña y dulce que el pomelo o toronja y más grande, aunque menos perfumada, que la mandarina. Existen numerosas variedades de naranjas, siendo la mayoría híbridos producidos a partir de las especies *Citrus maxima*, *Citrus reticulata* (mandarina) y *Citrus medica* (cidro).

2.4.3.10. Cultivo de Mandarina Arrayana (*Citrus reticulata*)

Arbusto de corteza verduzca. Ramas olorosas. Hojas simples alternas; limbo elíptico punteado, verde brillante por el haz; nervaduras pinnatinervias; pecíolo corto. Flores de cinco pétalos, color blanco, olorosas. Fruta en hesperidio esférico, aplanado en los extremos el exocarpio es delgado y brillante, cubierto de pepitas (glándulas) que producen ácido, muy fragante. El mesocarpio va del amarillo al anaranjado, jugoso y dulce. Semilla pequeña blanca aplanada

2.4.3.11. Cultivo de Limón Tahití (*Citrus latifolia* Tan)

El árbol del limón Tahití es moderadamente vigoroso, de mediano a grande, crece hasta 4.5 a 6 m, casi sin espinas, amplio y de ramas colgantes. Las hojas son anchas y lanceoladas, con pecíolos alados; los brotes jóvenes son púrpura. Las flores, se producen de vez en cuando durante el año, pero principalmente en enero, son ligeramente teñidas de púrpura.

2.4.3.12. Cultivo de Limon Sutil (*Citrus aurantifolia*)

Es un árbol pequeño con ramas numerosas, delgadas y provistas de espinas. Los frutos son de color amarillento y de tamaño pequeño, abundante jugo de aroma fragante, muy ácido.

Recomendable especialmente para quienes saben aprovecharlo en tragos o repostería. Sus flores son muy fragantes.

2.4.3.13. Cultivo de Aguacate Lorena (*Persea Americana*)

Es un árbol de hoja perenne que puede llegar a tener casi 20 m de altura, aunque su tamaño normal se queda en una decena de metros, con corteza gris-verdoso, longitudinalmente fisurada. Las hojas, alternas, con peciolo de 2-5 cm y limbo generalmente glauco por el envés, estrechamente elípticos, ovados u obovados, de 8-20 por 5-12 cm, coriáceos, de color verde y escasamente pubescentes en la haz pero muy densamente por el envés que es de color marrón amarillento y donde resalta el nervio central; tiene base cuneiforme y ápice agudo, los márgenes enteros y más o menos ondulados. Las inflorescencias son panículas de 8-14 cm de largo con flores de 5-6 mm con perianto densamente pubescente, de tubo muy corto y 6 tépalos oblongos de medio centímetro, los 3 exteriores más cortos. El fruto es una drupa de color amarillo-verde o marrón rojizo, grande, generalmente en forma de pera, a veces ovoide o globoso, de 8-18 cm con epicarpio corchoso más o menos tuberculado, y mesocarpio carnoso y comestible. Este último rodea íntimamente una semilla globular de episperma (tegumento) papiráceo, sin endosperma, de unos 5-6 cm.²

2.4.3.14. Cultivo de Guayaba Pera (*Caesalpinia spinosa*)

El árbol del guayabo es pequeño, de 10 m de altura, y bastante ramificado, la guayaba es muy

fácil de reconocer por su suave y fina corteza de color cobre con hojuelas de piel muy delgadas semi desprendidas, que muestran una capa verde debajo, y también por el atractivo aspecto de su tronco, el que puede alcanzar un diámetro de 10 pulgadas (25 cm). Las hojas, cuando se machacan son aromáticas, son perennes, opuestas, de peciolo corto, ovales u oblongo-elípticas, algo irregulares en el borde; 2 3 / 4 a 6 pulgadas (7-15 cm) de largo, y 2 pulgadas (3 -5 cm) de ancho, coreáceas, con venas muy conspicuas, en la parte inferior.

2.4.3.15. Cultivo de Guanábana (*Annona muricata L.*)

Es un árbol siempre verde de pequeño porte que alcanza de 4 a 6 m de altura aunque en sus zonas de origen puede llegar hasta 9m. Sus hojas son alternas, simples y de color verde oscuro brillante, más pálidas en el envés; tienen forma oblonga o elípticas, de 6-20 cm de longitud y 2.5-6 cm de anchura, puntiagudas en el ápice y en la base. Sus flores hermafroditas son solitarias, amarillentas y con pedúnculos cortos; pueden aparecer en cualquier lugar del tronco, ramas o ramitas pero principalmente en las ramas viejas. Produce, durante todo el año, frutos compuestos, grandes, de 15 a 20 cm de largo, y cuando se desarrollan todos los carpelos es de forma oblonga, acozaronada, y pueden pesar hasta 4.5 a 6.8 kg (10 a 15 lb). La piel es de color verde, cuando el fruto está maduro, y tiene numerosas prolongaciones parecidas a espinas blandas y dirigidas hacia el ápice. El interior es blanco, con bandas de carne blanda algodonosa, que contiene muchas semillas negras. Tiene un sabor específico subácido y dulce, y es especialmente agradable en helados y refrescos.

2.4.4. Diseño Experimental para Recuperación de Suelo

Tabla 1. Diseño Experimental para Recuperación de Suelo

| 3. Especies | Densidad de siembra | Tipo de siembra | Número de plantas |
|--------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Balso | 12*12 | Cuadrado | 35 |
| Acacia | 12*9 | Rectangular | 108 |
| Matarratón | 3*3 | Cuadrado | 968 |
| Total | | | 1111 |

Después del análisis, para lograr la recuperación de las áreas degradadas por la actividad minera, se recomienda el sistema agroforestal con las especies *Leucaena* (*Leucaena. Esculenta*), *Matarratón* (*Gliricidia sepium*), *Balso* (*Ochroma pyramidalis*), ya que debido a sus rendimiento, comportamiento y adaptabilidad en las áreas degradadas y además de que son especies nativas y de fácil consecución es por eso su recomendación. Se sembraron las especies, mediante trazado, Ahoyado y Siembra de parcelas, con la utilización de cintas métricas, estacas para la demarcación de los linderos de las parcelas y listones de madera de un (1) metro de largo para facilitar la demarcación de los puntos de siembra; y utilizando herramientas básicas como barretones y palas draga y azadones; se harán orificios cada 3 metros (es decir, utilizando una distancia de siembra de tres (3) metros distribuidos en Triangulo), de 10 centímetros de profundidad y 10 centímetros de diámetro. Posteriormente se rellenará cada orificio con 500 gramos de sustrato orgánico (la cual puede ser hojarasca descompuesta, tierra negra, tierra de hormigas, etc.). Lo anterior resultado de la densidad de siembra utilizada por el IIAP (2010), en un área total de 2500 m² a (3m x 3m), además se utilizara 5 Kg/ha y 5 Ton/ha de sustrato orgánico.

2.5 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

El muestreo de suelos en laboratorio se basó en los métodos propuestos por el Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Samples (1996) y en el Field Book for Describing and Samples Soil (1998), dicho muestreo se realizó exactamente en las franjas agroforestales que fueron establecidas, las muestras se tomaron con una profundidad de 20 cm, eliminando la capa de hojarasca. Los suelos para esta determinación fueron refrigerados a 5 °C hasta su utilización. Se colectó el material vegetal de cada una de las áreas con especies establecidas, se secaron al aire libre y se separaron las ramas y las hojas. La cantidad de hojas agregadas al suelo fue en las proporciones de 3000 kg ha; debido al tamaño de partícula de la hojarasca de las especies utilizadas y a la observación en campo de su incorporación rápida al suelo, no fue necesario molerla ya que pasó a través de la malla de 5mm. Además, se realizó el análisis de la composición química de las hojas en cuanto al contenido de N y C de cada una de las especies utilizadas en el experimento. Dichas determinaciones se realizaron con las técnicas Microkjeldhal y Walkley y Black.

El Diseño experimental de Evolución de CO₂ fue aleatorio se incubaron los suelos (con la adición de hojas secas de cada una de las especies), se midió la actividad microbiana del suelo a través de la evolución de CO₂ a los 8, 16 y 32 días de incubación. El método es con modificaciones a la propuesta por Anderson (1996), UNESCO-UIBS (1989); Pramer y Schmidt (1974).

A continuación de manera detallada y se desarrollan ampliamente las distintas etapas del experimento de evolución de CO₂. Dicho diseño fue programado un diseño experimental

completamente al azar de dos factores (Especies y tiempos) con cuatro niveles, las especies y tres niveles de tiempos (8, 16 y 32 días). Cada nivel con cuatro repeticiones.

En el ensayo se consideró una variable (evolución de CO₂). En la tabla 3 ilustra esquemáticamente la distribución de las variables y tratamientos. El diseño experimental utilizado está conformado por 195 unidades, dicho diseño es completamente al azar con dos factores (Especies y tiempos) con cuatro niveles que son las especies y tres tiempos (8, 16 y 32 días). Cada nivel con cuatro repeticiones. De las 195 unidades 192 corresponden a las muestras de suelo y tres pertenecen a blancos de referencia que no contenían suelos. Los tratamientos empleados, tanto en los suelos seleccionados como en el testigo, se describen a continuación:

Tabla 2. Unidades experimentales: distribución de las variables y tratamientos.

| TRAT | | MUES | TIEMPO | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|------|--------|---|---|---|---------|----|----|----|---------|----|----|--|
| A- | | TRA | 8 DIAS | | | | 16 DIAS | | | | 32 DIAS | | | |
| MIENTO | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Leucaena. Esculenta</i> | | M1 | 1 | 2 | 5 | 6 | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| | | | 8 | 5 | 2 | 9 | 6 | 02 | 18 | 34 | 50 | 66 | 82 | |
| | | M2 | 1 | 2 | 5 | 7 | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| | | | 9 | 6 | 3 | 0 | 7 | 03 | 19 | 35 | 51 | 67 | 83 | |
| | | M3 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| | | | 0 | 7 | 4 | 1 | 8 | 04 | 20 | 36 | 52 | 68 | 84 | |
| | | M4 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| | | | 1 | 8 | 5 | 2 | 9 | 05 | 21 | 37 | 53 | 69 | 85 | |
| <i>G</i> | <i>licir</i> | M1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | |

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras 66

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 2 | 9 | 6 | 3 | 0 | 06 | 22 | 38 | 54 | 70 | 86 | |
| <i>Ochroma pyramidale</i> | M2 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 3 | 0 | 7 | 4 | 1 | 07 | 23 | 39 | 55 | 71 | 87 | |
| | M3 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 4 | 1 | 8 | 5 | 2 | 08 | 24 | 40 | 56 | 72 | 88 | |
| | M4 | 2 | 4 | 5 | 7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 5 | 2 | 9 | 6 | 3 | 09 | 25 | 41 | 57 | 73 | 89 | |
| | M1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 6 | 3 | 0 | 7 | 4 | 10 | 36 | 42 | 58 | 74 | 90 | |
| | M2 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 0 | 7 | 4 | 1 | 8 | 5 | 11 | 27 | 43 | 59 | 75 | 91 |
| | M3 | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 1 | 8 | 5 | 2 | 9 | 6 | 12 | 28 | 44 | 60 | 76 | 92 |
| | M4 | 2 | 4 | 6 | 8 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | 2 | 9 | 6 | 3 | 0 | 7 | 13 | 29 | 45 | 61 | 77 | 93 |
| | M1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | |
| | | 3 | 0 | 7 | 4 | 1 | 8 | 14 | 30 | 46 | 62 | 78 | 94 |
| M2 | 2 | 4 | 6 | 8 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| | 4 | 1 | 8 | 5 | 2 | 9 | 15 | 31 | 47 | 63 | 79 | 95 | |
| M3 | 2 | 4 | 6 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | | |
| | 5 | 2 | 9 | 6 | 3 | 00 | 16 | 32 | 48 | 64 | 80 | 8 | |
| M4 | 2 | 4 | 6 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | | |
| | 6 | 3 | 0 | 7 | 4 | 01 | 17 | 33 | 49 | 65 | 81 | 5 | |
| Blanco | Blanco | 17 | | | | 34 | | | | 51 | | | |

En la preparación del suelo seleccionado y cumplir con la premisa de que se controlaran ciertas condiciones de igualdad en los suelos, así como las condiciones físicas del suelo en un

determinado volumen experimental, se analizaron las características físicas del suelo (humedad, densidad aparente y capacidad de campo) el suelo se secó en un horno a 60 °C por dos días, y se tamizó a través de una malla de 5mm, de tal forma que permitiera calcular las relaciones masa / volumen en el espacio experimental. Posteriormente, para la incubación de los suelos experimentales correspondiente a las franjas agroforestales y testigo (blanco) con un peso de 760 gramos, fue físicamente homogeneizado (“cuarteado”) y dividido en 12 porciones iguales para cada una de las muestras. En todos los casos, la proporción fue de 50 g de suelo para la incubación; sin embargo, la cantidad de suelo para cada recipiente variaban desde 56.67 gramos hasta 63.92 gramos dependiendo de la humedad natural que cada muestra contenía. Únicamente se utilizó suelo con un tamaño de partícula 2.0 mm de diámetro.

Tabla 3. Análisis y preparación del suelo antes del experimento de evolución de CO2

| | | % Humedad | Suelo agregado a 50 Gr | Suelo por muestra Gr | DA | Gramos de Hoja/ Ton suelo/Ha Densidad | aparente (DA) | Capacidad de Campo 60% |
|----------------------------|----|-----------|------------------------|----------------------|------|--|---------------|---------------------------|
| <i>Leucaena. Esculenta</i> | M1 | 17.24 | 8.62 | 58.6 | 1.24 | 0.07 | 2,480 | 9.82 |
| | | | | 2 | | 1 | | |
| | M2 | 17.39 | 8.70 | 58.7 | 1.22 | 0.07 | 2,440 | 9.82 |
| | | | | 0 | | 2 | | |
| | M3 | 20.48 | 10.2 | 60.2 | 1.16 | 0.07 | 2,320 | 9.82 |
| | | | 4 | 4 | | 8 | | |
| | M4 | 23.44 | 11.7 | 61.7 | 1.15 | 0.08 | 2,300 | 9.82 |

Agroforestería para Recuperación Áreas Mineras 68

| | | | | | | | | |
|---------------------------|----|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | 2 | 2 | | 1 | | |
| <i>Gliciridia sepium</i> | M1 | 19.05 | 9.52 | 59.5 | 1.14 | 0.07 | 2,280 | 9.11 |
| | | | | 2 | | 8 | | |
| | M2 | 22.89 | 11.4 | 61.4 | 1.07 | 0.08 | 2,140 | 9.11 |
| | | | 5 | 5 | | 6 | | |
| | M3 | 13.33 | 6.67 | 56.6 | 1.1 | 0.07 | 2,200 | 9.11 |
| | | | 7 | | 7 | | | |
| | M4 | 17.65 | 8.82 | 58.8 | 1.04 | 0.08 | 2,080 | 9.11 |
| | | | | 2 | | 5 | | |
| <i>Ochroma pyramidale</i> | M1 | 27.85 | 13.9 | 63.9 | 1.07 | 0.09 | 2,140 | 11.06 |
| | | | 2 | 2 | | 0 | | |
| | M2 | 18.60 | 9.30 | 59.3 | 1.18 | 0.07 | 2,360 | 11.06 |
| | | | | 0 | | 5 | | |
| | M3 | 18.18 | 9.09 | 59.0 | 1.16 | 0.07 | 2,320 | 11.06 |
| | | | 9 | | 6 | | | |
| | M4 | 23.81 | 11.9 | 61.9 | 1.17 | 0.07 | 2,340 | 11.06 |
| | | | 0 | 0 | | 9 | | |
| No Agrofores tal | M1 | 18.60 | 9.30 | 59.3 | 1.18 | 0.07 | 2,360 | 9.3 |
| | | | | 0 | | 5 | | |
| | M2 | 20.00 | 10.0 | 60.0 | 1.12 | 0.08 | 2,240 | 10 |
| | | | 0 | 0 | | 0 | | |
| | M3 | 21.95 | 10.9 | 60.9 | 1.15 | 0.08 | 2,300 | 10.98 |
| | | 8 | 8 | | 0 | | | |
| | M4 | 20.24 | 10.1 | 60.1 | 1.08 | 0.08 | 2,160 | 10.12 |
| | | | 2 | 2 | | 3 | | |

Finalmente, el experimento se estableció contando con cada una de las 192 porciones que fueron colocadas en los recipientes de plásticos respectivos, esto es una proporción de 50 g de

suelo por recipiente. Se crearon 195 unidades experimentales contando tres recipientes testigos o blancos también distribuidos aleatoriamente en el diseño experimental. Las modificaciones al método respondieron a que, de acuerdo con Anderson (1996), para mediciones de evolución de CO₂ por periodos de tiempos cortos, el procedimiento volumétrico es más sensible que el procedimiento gravimétrico descrito en su técnica considerando lo anterior y debido a la problemática detectada para su realización en campo, se decidió adaptar la propuesta de Anderson, así como el procedimiento marcado por Pramer y Schmidt, (1974). Se determinó en las muestras de suelo el contenido de carbono y nitrógeno orgánico, mediante las técnicas propuesta por Walkley –Black (1934) y Microkjeldahl (Jackson, 1982); respectivamente; así como de acuerdo a USDA (1996), con base en el tamaño de fracción en mm (2, 1,0.5,0.25 y <0.25) Después del período de incubación de 32 días.

2.5.1. Determinación de la actividad microbiana a través de evolución de CO₂ a los 8, 16 y 32 días de incubación

La medición se realizó de acuerdo al método propuesto por Anderson (1996), UNESCO-UIBS (1989); Pramer y Schmidt (1974), al cual se le hicieron las modificaciones que se han descrito anteriormente como sigue: Se usaron alícuotas de 0.1M de KOH expuesto en recipientes de plásticos con la adición de BaCl₂ saturado, donde la absorción de CO₂ es calculado en base a que 1 ml a 0.1M de HCl es equivalente a 2.2 de CO₂ ó 1ml 1M de HCl es equivalente a 22mg de CO₂. A continuación se indica el procedimiento realizado a partir de las consideraciones anteriores.

- ✓ Se pesaron la cantidad de suelo indicado de acuerdo a la humedad (tabla 4), que se

menciona en los materiales y métodos), pero la proporción en cada una de las muestras fue a partir de 50 gramos de suelo.

- ✓ Se colocaron en frascos y se agregó la cantidad de agua necesaria para llevar los suelos al 60% de la capacidad de campo.
- ✓ Se agregaron la cantidad de hojarasca de acuerdo a la densidad aparente de cada una de las muestras de suelo, cumpliendo siempre la premisa de a partir de 3000 kg por hectárea.
- ✓ Se agregaron 15 ml de NaOH a 0.1N por muestra.
- ✓ Los recipientes se colocaron dentro de las cámaras de plástico se cerraron herméticamente de tal manera que quedaron selladas.
- ✓ Se metieron en un cuarto de incubación a temperatura controlada de 28 °C durante 8, 16 y 32 días. Al término de cada uno de los tiempos respectivos, se abrió la cámara por una sola ocasión.
- ✓ A cada una de las muestras se le agregaron de 2 a 3 gotas de indicador (fenolftaleína al 1%), se agitó con una varilla de cristal hasta desaparecer el color rosa, registrándose la cantidad de HCl gastados en la titulación.

La evolución de CO₂ expresados en mg de CO₂ producido por cada 100 gr de suelos, para las muestras con tratamiento (hojarasca de *Leucaena esculenta*, *Ochroma pyramidale* y *Gliricidia sepium*) y sin tratamiento (No AGF) es calculado en base a que 1 ml a 0.1M de HCl es equivalente a 2.2 de CO₂ ó 1ml 1M de HCl, equivalente a 22mg de CO₂.

2.5.2. Evaluación de la agregación en suelos por el efecto de algunas leguminosas nativas seleccionadas

2.5.2.1. Muestreo de suelos y preparación de láminas micromorfológicas

Para las láminas micromorfológicas se tomaron muestras de suelo; se colectaron cuatro muestras de suelo aleatoriamente tanto en la época de lluvias (abril) como en la temporada de secas (noviembre). Dichas muestras fueron colectadas con el nucleador de manera que se conservaran las condiciones estructurales naturales (muestras físicamente inalteradas). Esto implicó que las muestras fueran vaciadas directamente en un contenedor diseñado especialmente para este fin. Posteriormente fueron transportadas al laboratorio para la preparación de las secciones delgadas. Mientras que las muestras de suelo que se utilizaron para realizar los análisis de agregación fueron inmediatamente secadas al aire y se guardaron en bolsas de polietileno a 20 °C en el laboratorio de análisis. Las muestras fueron tamizadas a través de los tamices de 8,4, 2,8, 2, 1, 0,5, 0,25, > 0,25 mm. Para la caracterización micromorfológica de los suelos, se realizaron secciones delgadas y se analizaron bajo el microscopio petrográfico con los métodos de Kubiena ajustados (2013). La preparación de las secciones delgadas consistió en tres etapas: (1) proceso de impregnación, (2) preparación de bloques y (3) preparación de láminas delgadas.

Proceso de impregnación

- ✓ Se secaron las muestras al aire por 24 h.
- ✓ Se colocaron en un recipiente previamente cubierto con aluminio.
- ✓ Se le agregó la mezcla de resina crista MC-40 preparada y acetona en una relación 1:1, después se añadió unas gotas de catalizador.

- ✓ Se colocaron las muestras en un recipiente de impregnación a una presión de 25 a 27 pulgadas de Hg por un tiempo aproximado de 5 a 7 horas.
- ✓ Se dejaron las muestras a temperatura ambiente por 30 días.
- ✓ Se colocaron las muestras en horno bajo un régimen de temperatura de 105 °C por dos días.

Preparación de bloques

Después de la impregnación con resinas las muestras se cortaron. El tamaño de los bloques fue de 70 x 50 mm. Después los bloques se pulieron una de las superficies con una pulidora giratoria, utilizando lijas de los números 80, 120 y 600 para esmeril de carburo de silicio, cada vez más finos para finalmente obtener una superficie bien pulida. Se lavaron las muestras con solvente a fin de eliminar todo el material abrasivo y se dejaron secar por completo.

Preparación de láminas delgadas

Para la fijación de las muestras de suelo en el portaobjetos se realizó con la misma mezcla de resina con catalizador que se utilizó en la impregnación. La muestra se pulió hasta alcanzar un espesor de aproximadamente 30 micras. Después los pulimentos fueron cubiertos con un portaobjetos. Finalmente, los primeros análisis de las láminas delgadas fueron en un microscopio óptico regulando la apertura del diafragma, únicamente destacando la forma, el tamaño y desarrollo de la estructura de los agregados.

2.5.3. Dinámica de la formación de agregados

Se hicieron observaciones de manera cualitativa como son la consistencia, plasticidad y adherencia, mismas que se interpretaron de acuerdo a lo propuesto por USDA- SSS. Cualitativamente se realizó la resistencia de los agregados y posteriormente se efectuó también con la técnica en húmedo de Savvinov.

2.5.3.1. Porcentaje de agregación en seco de manera cuantitativa

Se realizó también por el método de Savvinov (citado en Kaúrichev *et al* 1980); esta técnica permite apreciar el estado estructural del suelo.

2.5.3.2. Estabilidad de la agregación

Dado que por sí misma la evolución de CO₂ en el suelo, es un indicador de la actividad microbiológica del mismo, era importante tener una cuantificación en términos de la respuesta de los suelos a la incorporación de las plantas en forma de sistemas agroforestales, ya que no solamente era relevante determinar la influencia de las plantas sobre las características de los suelos, sino también evaluar el grado de la estabilidad de los agregados, por lo que se realizó la medición antes y después del experimento de CO₂ como a continuación se describe.

La estabilidad de los agregados se evaluó depositando 10 agregados, con diámetro entre 1 y 3 mm, en cápsulas de porcelanas y se saturaron con agua. Se rotaron suavemente por 30 segundos la cápsula en la palma de la mano, como se evaluó el grado de disgregación de los agregados de acuerdo a la siguiente relación de manera cualitativa en muy alta (1), alta (2), mediana (3), moderada(4) baja (5) y muy baja (6).

2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis multifactorial para comparar la resistencia de los agregados (estabilidad) antes de la incubación así como a los 8, 16 y 32 días de incubación para cada una de las especies, únicamente hubo estadísticamente diferencias significativas para *Leucaena* a los 8 y 32 días de incubación. También se realizó un análisis de correlación entre la estabilidad de los agregados vs Ctotal.se usó el paquete estadístico Statgraphics ver. 3.2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. AJUSTE DEL MODELO CONCEPTUAL DE LA UNAL

Partiendo de la realidad y conceptualización científica demostrada que determina que los suelos, como parte de los ecosistemas y de los agroecosistemas, prestan importantes funciones o servicios que mantienen a estos y que apoyan las actividades sociales y económicas de las personas. (Cram et al., 2008; Silva y Correa, 2009; Burbano, 2012, Burbano, 2013b y Gardi et al., 2014), y ratificando la importancia de las siguientes son las tareas que cumple el suelo en el contexto de base de las relaciones ecosistémicas, objeto de la restauración ecológica, se tiene:

Producción de alimentos y biomasa. Tal vez, la más evidente de las funciones del suelo es el soporte y suministro de nutrientes para las plantas a fin de producir alimentos y biomasa en general. Caben dos observaciones. Primera, que del suelo depende en forma directa o indirecta más del 95% de la producción mundial de alimentos. Segunda, que la degradación del suelo es un problema mayor que amenaza la producción de alimentos en el planeta.

Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos. Los ciclos biogeoquímicos que ocurren en la naturaleza, son mecanismos indispensables para que haya condiciones estables en la Tierra y para que se dé la vida. Estos ciclos que involucran elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros. Son vitales y el suelo tiene una posición central e insustituible en los mismos. Sin estos ciclos no se daría el paso continuo de los elementos químicos de los sistemas vivos del planeta a otros que no lo son.

Almacenamiento o fijación de carbono. Por la importancia que tiene el carbono y dadas las circunstancias mundiales actuales del cambio climático, surge como una función aparte del suelo, aquella que se relaciona con el carbono. El suelo es el mayor sumidero de carbono en la naturaleza. La fijación del carbono por el suelo mal llamada “secuestro de carbono” o “captura de carbono”- impide que el CO₂ vaya a la atmósfera, siendo que este es uno de los gases de efecto invernadero que propician el cambio climático. Con la intermediación de las plantas y la participación de los organismos del suelo, el carbono se transforma en materia orgánica que se acumula en el suelo por amplios periodos de tiempo.

Este carbono almacenado en el planeta en el primer metro de suelo, se sabe, es una y media veces superior al acumulado en la vegetación.

Almacenamiento y filtración de agua. El suelo capta, infiltra y almacena el agua en el ámbito del ciclo hidrológico y permite así la recarga de los acuíferos. En estas circunstancias, el suelo influye en la calidad del agua, ya que amortigua y atrapa ciertos contaminantes e impide que lleguen a las reservas de agua. El suelo, en estas circunstancias tiende a modular indirectamente la temperatura y la humedad, y por ello puede incidir en la mejora del aire.

Soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas. Sobre el suelo se realizan actividades industriales, se habilitan zonas residenciales y de infraestructura turística, se construyen carreteras y otras obras civiles. También, el suelo suministra materias primas como turba, grava, arena, arcilla o rocas, utilizadas en varios procesos productivos.

Reserva de biodiversidad. El suelo es una de las reservas más importantes de biodiversidad, por el enorme número de organismos que viven en su superficie y al interior del mismo; la abundancia es tal, que se cree, supera la establecida por encima de este cuerpo natural. Vale

subrayar, que los servicios ecosistémicos que presta el suelo, dependen de las complejas comunidades de organismos presentes en este medio.

Depósito del patrimonio geológico y arqueológico. Gran parte de los restos que dan cuenta de la herencia humana y de la historia ambiental reciente de la Tierra, se hallan en el suelo. La preservación del patrimonio geológico y arqueológico va a depender de los procesos de formación y degradación del suelo y va a estar muy relacionada, por ejemplo, con los efectos de la actividad biológica y la circulación del agua que ocurre en él, además de las acciones humanas de intervención en el suelo.

Entorno físico y cultural para la humanidad. El suelo sirve de base a las actividades humanas y es asimismo, un elemento del paisaje y del patrimonio cultural. El suelo permite que los seres humanos tengan a su disposición alimentos, abrigo, espacio y hábitat para soñar y realizarse como personas en ascenso, y de muchos otros elementos para su existencia. La enumeración y descripción de las funciones que cumple, pone de presente que el suelo no solo permite que las personas dispongan de alimento sino que por el espectro de servicios ambientales que presta y promueve para beneficio de las personas, este recurso adquiere la categoría de “bien social” que por lo mismo amerita su conocimiento por parte de la sociedad mundial para que lo valore, lo proteja y lo conserve, como una obligación que resulta ser en los actuales momentos un imperativo ético. Entonces, se debe conocer y respetar el suelo para hacer el mejor uso posible de este recurso, sin olvidar que existe una relación inexorable entre el sistema natural -donde está el suelo- y el sistema socio-cultural -donde están las personas- (Insuasti y Burbano, 2013 y FCM, 2013).

Teniendo en cuenta por la importancia demostrada de las SAF y considerando que el modelo de la Universidad Nacional de Colombia para la restauración coloca como factor de la ecuación

final las Medidas de Manejo Adicionales (M.A), pero no específica cuales son las medidas, se realiza una equivalencia efectiva y demostrada de estas medidas adicionales por los sistemas SAF. Tenemos una nueva formula de restauración:

$$RE = f(Ge, Hi, Pe, Fs, TCH) + SAF$$

Dónde: RE= Restauración de áreas degradadas en el área de estudio, Ge= Geomorfología, Hi=Hidráulica, Pe= Peces, FS= Fauna silvestre, TCH= Tipos de comunidades humanas, SAF= Sistemas Agroforestales.

Si no hay medidas adicionales (sistemas agroforestales) para coadyuvar al proceso de restauración, el proceso dará como resultado la recuperación física, biótica y social de la productividad de las tierras a un largo plazo y con alto riesgo de completarse por estar sujetas a cambios inesperados, pero si se incluyen, se dará origen a la rehabilitación de ecosistemas, sobre una proyección ideal y se tendrá a futuro, con toda seguridad la restauración de las áreas alteradas. Por su parte, la recuperación de tierras estará ratificada a una escala actual para los ecosistemas explotados, considerando los siguientes criterios para los factores determinantes:

Geomorfología (GE): la reconfiguración del terreno con materiales resultantes de las explotaciones como el relleno hidráulico, emulando las unidades geomorfológicas iniciales, tales como las humedales, diques y orillares que pudiesen haberse visto afectados, requieren tan solo de fragmentos de años para reconformar este factor, previa caracterización y referencia de las condiciones iniciales, y utilizando la maquinaria propia las explotaciones de minería aurífera aluvial en la zona.

Hidráulica (Hi): la reconexión de sitios explotados con el río y la planicie de inundación como tal, a través de caños meandriformes (de requerirse) y con la pendiente suficiente

para la entrada y salida de agua (recambio), permitirá la conexión entre humedales, el ingreso de sedimentos, de propágulos, de nutrientes y el manejo óptimo del tiempo de residencia del agua en los terrazas de inundación.

Peces (Pe): la reconexión de terrazas de inundación permite el intercambio y migración de la ictiofauna. Asimismo, la disminución de la sobreexplotación del recurso en áreas en restauración, dejando cuerpos de agua descansar por temporadas a través de estrategias como pactos con las comunidades, vedas, ordenamientos pesqueros, entre otras, y complementando con reemplazamientos de humedales y caños, estudios genéticos, de dinámica de poblaciones y de metales pesados o pesticidas en los tejidos, para controlar mejor los limitantes y tensionantes en el factor.

Fauna silvestre (FS): desde la avifauna, considerando su importante función en la dispersión de semillas, su posibilidad como recurso de proteína para algunas comunidades y la potencialidad del apoyo a su conservación, dada la importancia a nivel internacional, toda vez que existe una gran diversidad de este grupo en los terrazas de inundación del área de estudio. En términos del recurso flora y su relación con la fauna, los mantenimientos en humedales así como la facilitación de franjas arbustivas o plantaciones forestales en los alrededores de estos cuerpos de agua, es completamente viable para atraer mamíferos de porte mediano y grandes, los cuales subsisten en terrazas de inundación circundantes. Los bosques regenerados zonas explotadas y desconectados, cuya composición florística es indiscutiblemente diferente a los bosques inundables, también presentan una función importante en la creación de hábitats para la fauna silvestre. Adicionalmente, las actividades complementarias como la liberación de fauna en los ecosistemas en regeneración, el desarrollo de actividades piscícolas para mantener la oferta de

proteína animal, los repoblamientos y permitir el descanso o períodos de gracia del recurso, contribuye considerablemente a recuperación de la biota en general.

Tipo de comunidades humanas (TCH): para garantizar el inicio, monitoreo, seguimiento y adecuado establecimiento del proceso de recuperación de las terrazas, se requiere de personas, familias y comunidades con características afines con la persistencia del bajo inundable, tales como estrategias adaptativas para permanecer y sobrevivir en los terrazas de inundación, ajustar su ciclo de vida al régimen pulsátil, los cultivos y agricultura relacionada con los pulsos de inundación, con tipos de vivienda adecuados, con manejo de los bosques y de la fauna silvestre. Deben tener un grado de organización tal, que les permita prácticamente administrar los recursos naturales y por tanto, será necesario un incentivo, no necesariamente económico, para que ante todo sean los ejecutores del proceso de restauración. Estas personas, familias y comunidades, deben poseer un conocimiento cultural minero y relacionado con el manejo y sustentabilidad ambiental presente en las terrazas, lo cual debe ser complementado con una educación miera y ambiental, sensibilización al manejo de terrazas del río Caquetá.

Sistemas Agroforestales (SAF): Son las medidas y prácticas que con la selección adecuada y la planificación territorial generarán procesos de transformación en el suelo, aportando en la misma recuperación en la calidad para implementar cultivos alimentarios como comerciales a los mineros que después de terminada su intervención mineral (decliva en el tiempo) será sustentable y sostenible en sus predios, sin desperdiciar tiempo ni afectando las demás relaciones ecosistémicas Suelo – Flora, Suelo – Fauna , Flora – Fauna, Suelo – Servicios ecosistémicos, etc.

En un proceso de recuperación y rehabilitación de áreas degradadas por minería, las medidas adoptadas no son suficientes para recuperar prontamente y menos para rehabilitar o restaurar ecosistemas (Álvarez, 2008), por lo que el presente modelo consolidado en la Figura 4-6, se

enfatisa en los factores que catalizan dicha recuperación para los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Caquetá, dando como resultado áreas habitadas por comunidades anfibias, con sistemas agrícolas o agroforestales productivos y con terrazas de inundación artificiales con oferta biótica e íctica. No obstante, vale la pena aclarar que estas condiciones no contemplan la conservación de ecosistemas, aunque aunadas a programas y medidas de manejo enfocadas a la productividad de tierras, si garantizan la supervivencia de la biota y comunidades asociadas.

De conformidad con lo anterior y según lo esboza la Ecuación, implementar medidas de manejo adicionales (MA) a lo sugerido en el presente modelo, da origen a una nueva trayectoria en el proceso de recuperación de los ecosistemas, es decir, si se adicionan manejos agroforestales (SAF), el cumplimiento estricto de la normatividad ambiental (NA), el fortalecimiento del grado de organización (GO) a las comunidades por parte de la institucionalidad y demás autoridades, la garantía de un íntegro control en la sobreexplotación de la biota (SB) por parte de la autoridades ambientales y la realización de campañas efectivas de educación contra el desconocimiento de la cultura anfibia (DCA) por parte de los mineros, entre otras, se dará origen así a la rehabilitación de ecosistemas, con objetos que trascienden la productividad de las tierras, buscando generar sistemas sostenibles desde el punto de vista productivo, con una biota rehabilitada estructural y funcionalmente, y unas comunidades adaptadas completamente a las condiciones de los terrazas de inundación. Así las cosas, con la implementación del modelo actual estimado y las medidas agroforestales se da celeridad a la recuperación de los sitios explotados, pero a su vez, cambiar la trayectoria para mejorar el proceso hacia la rehabilitación e incluso la restauración, dependerá entonces de la inclusión de las medidas de manejo, que apunten a rápida mitigación de limitantes, tensionantes y factores catalogados como significativos en su aporte al potencial de restauración.

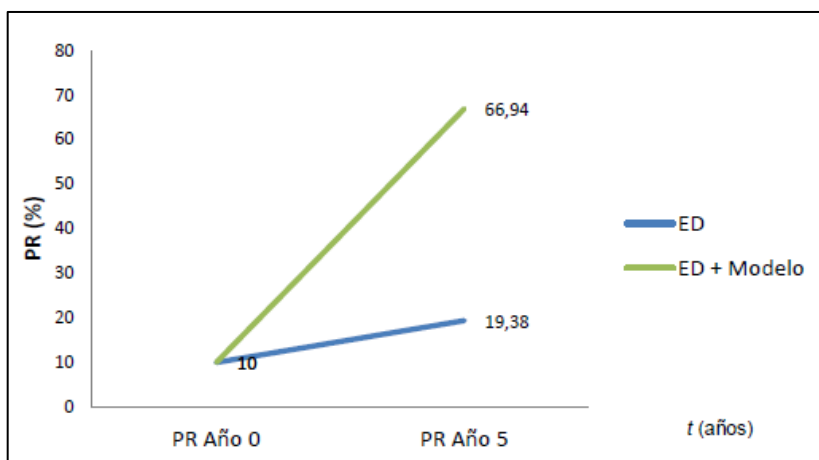


Figura 13. Cambio en el Potencial de Restauración para un ecosistema evaluado en los años 0 y 5, con sistemas agroforestales para restauración y sin aplicación de los modelos.

En términos de temporalidad, la implementación del modelo dista mucho del abandono habitual que se somete las áreas después de su explotación y que pretende la institucionalidad al creer que la sola supresión de maquinaria y actividad son necesarias para la restauración del lugar. El modelo con las actividades agroforestales que hoy en día se plantean por medio de la adaptabilidad de modelos conceptuales y la implementar de prácticas en pro de la recuperación ambiental y restauración ecológica.

Específicamente: (i) la reconfiguración geomorfológica de los sitios, actividades que con la maquinaria y equipos disponibles por los mineros se realizaría en fracciones del tiempo natural de abandono; (ii) la conectividad hidráulica del sistema, que complementaria a la anterior, debe garantizar los pulsos hidrosedimentológicos, tiempos adecuados de residencia del agua en las pozas, caños y humedales, así como la formación paulatina de sustratos minerales por la entrada de sedimentos y sistemas agroforestales establecidos, son procesos que se pueden iniciar en

períodos inferiores a dos años como lo demuestra el ecosistema más recientemente intervenido; (iii) la colonización y el repoblamiento en lo posible de la biota y los peces en los terrazas de inundación intervenidos, cuyas evidencias de propágulos para los ecosistemas evaluados, no superan el año; y finalmente (iv) el trabajo mancomunado con las comunidades, su educación para el conocimiento y manejo de terrazas de inundación.

El diseño de la implementación de las acciones del modelo para la recuperación y aprovechamiento de terrenos en actividades económicas y amigable con el medio ambiente, lo cual se inicia durante el año posterior a la finalización de la explotación, lo que sugiere concretamente que la implementación y puesta en marcha del modelo de restauración, con resultados tangibles en el potencial de restauración, puede ser inferior a los tres años luego de terminadas las explotaciones. Finalmente, las acciones propuestas por el modelo conceptual de restauración ecológica que incluye sistemas agroforestales demandan una secuencialidad en su implementación, bien sea para ser adoptadas en los planes de manejo ambiental de los mineros, o por los lineamientos que establecen las autoridades ambientales en los programas de restauración y planificación territorial. Para ello, se sugiere seguidamente una forma de abordar con facilidad las acciones específicas del modelo, haciendo énfasis en que no son una “receta única” para la recuperación de áreas explotadas por minería aurífera aluvial, y sobre todo que tienen aplicación estricta para el complejo de terrazas de inundación de la planicie de inundación del río Caquetá, en especial en la Vereda El Jauno (área de estudio).

Los valores obtenidos utilizando la Ecuación 6 para el nuevo Potencial de Restauración en cada ecosistema evaluado, al igual que los obtenidos en la evaluación original utilizando la Ecuación 4, se contrastan para evidenciar el incremento en el PR y se presentan a continuación (Tabla 19):

Tabla 4. Calificación comparativa (inicial y final) del Potencial de Restauración en los ecosistemas evaluados.

| Sitio o ecosistema evaluado | PR Inicial | PR final |
|-------------------------------------|------------|----------|
| | (%) | (%) |
| Ecosistema de referencia (ER) | 42,59 | 83,61 |
| Ecosistema recién intervenido (ED0) | 1,23 | 66,94 |
| Ecosistema intervenido hace 5 años | 1,39 | 66,94 |
| Ecosistema intervenido hace 15 años | 1,37 | 53,89 |
| Ecosistema intervenido hace 25 años | 2,92 | 39,44 |
| Ecosistema intervenido hace 35 años | 19,21 | 39,44 |
| Ecosistema intervenido hace 45 años | 9,84 | 39,44 |
| Promedio | 9,82 | 55,67 |



Figura 144. Diseños de Sistemas Agroforestales Implementados en la Mina El Refugio, Vereda El Jauno, Municipio de Puerto Guzmán.

3.2.RESULTADOS EN LABORATORIO

3.2.1. Características diferenciadoras del suelo

3.2.1.1. Características morfo genéticas

Dentro de las características morfo genéticas se describirán la diagnosis general de los suelos, así como el origen, evolución y clasificación de los suelos del área de estudio.

3.2.1.2. Diagnósis general de los suelos

En esta descripción de la diagnosis general de los suelos se muestran la caracterización de los suelos y se encontró que en el área de estudio, las siguientes propiedades morfo genéticas: como suelos minerales, sin desarrollo de perfil, con excepción de un epipedón del tipo A antrópico o A mollico. En general son someros, gravosos que muestran evidencias fuertes de acción antrópica (efectos de la minería). Son suelos formados principalmente a partir del intemperismo de rocas félsicas (pobres en bases). Generalmente muestran en su perfil, remanentes de procesos de erosión ocurridos en épocas aún no determinadas cronológicamente. Debido a las condiciones de sitio (como la alta agresividad climática), la evolución natural de estos suelos se ve restringida por los factores ambientales que predominan en la zona y que se evaluaron como de alta agresividad, particularmente la precipitación. Probablemente el proceso más intenso que actualmente incide y determina su evolución es la antropización.

3.2.2. Características físicas y químicas de los suelos de las franjas agroforestales en dos épocas del año

Los resultados obtenidos de los análisis de suelos en general son indicativos del estado físico, químico y nutricional de los suelos, durante las épocas de verano (noviembre) y de lluvias (abril). Los resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos de los suelos se describen para cada una de las variables medidas del suelo.

3.2.2.1. Características físicas

- ✓ **Color:** De acuerdo con los datos obtenidos acerca del color de los horizontes Ap, es posible considerar que, aunque muchos de ellos muestran cromas y tonalidades oscuras, no cumplen con los requisitos para ser considerados como horizontes Amólicos o A úmbricos, pero se califican como A ócricos (Leptosoles eutricos). Esto se debe, principalmente, a que presentan una agregación incipiente (estructura) en la matriz de este horizonte.
- ✓ **Texturas:** Las texturas determinadas en ambas épocas de secas y lluvia resultaron predominantemente franco arcillo-arenosas de los basines a excepción de las muestras Franco arenosa y Franco arcilloso recolectadas en el piedemonte. Este tipo de texturas resultan ser muy común en áreas cuya vegetación original fue de selva (Rodríguez, 2012). Se estima que este tipo textural puede ocasionar dificultades para la labranza y manejo del agua, debido a que durante la época de secas algunos horizontes que muestran dicha texturas tienden a compactarse, especialmente si los contenidos de materia orgánica son pobres como los examinados.

- ✓ **Densidad aparente:** Algunos horizontes tienden a presentar una ligera compactación, en épocas de secas y lluvia. Los demás horizontes según se puede apreciar en las mencionadas tablas muestran un valor de densidad aparente que permite una buena aireación, paso del agua y crecimiento radicular.
- ✓ **Densidad de partícula:** Los valores de densidad de partícula se conservan estables. Sin embargo los valores resultan de moderados a bajos (Menores que 2.6 mg/m³). Estos valores permiten interpretar que los minerales ferromagnesianos en estos suelos son escasos, predominando los minerales félsicos (con altos contenidos en Sílice). Por lo tanto, el mayor aporte de minerales ferromagnesianos a las plantas y suelos es a través del biociclaje y de las adiciones eólicas, hídricas o antrópicas.
- ✓ **Porosidad:** La mayoría de muestras presentan una porosidad muy baja, probablemente debido a la compactación por abandono. Todas las demás muestras, presentan esta propiedad en un nivel mínimo para el crecimiento vegetal.
- ✓ **Relación Limo/Arcilla:** Los valores de la relación limo/arcilla para las dos épocas del año son indicativos de un bajo desarrollo edafogénico en los suelos estudiados. En ningún caso estos valores son menores que 0.03, valor estimado como representativo para suelos del trópico bien desarrollados (Gama, 1996). Las variaciones que se observan entre el muestreo realizado en abril y en el de noviembre son atribuibles al manejo del suelo que generalmente propicia la destrucción de los agregados, así como la formación de terrones que se caracterizan por sus artificios estructurales y texturales.

3.2.2.2. Características químicas

- ✓ **PH:** Los valores de pH en agua, determinados para las muestras colectadas en la época seca, oscilan desde 4.95 (fuertemente ácidos) hasta 8 (alcalinos); mientras que las colectadas en la época de lluvias los valores fluctúan entre 6.3 (ácidos) hasta 8.15 (alcalinos). Esta variabilidad tan significativa en el pH que se presenta en ambas épocas y en un espacio físico tan reducido es principalmente atribuible a las condiciones de lavado producto de la actividad minera. Entre las principales condiciones de sitio se destaca: la naturaleza variable del material parental (suma de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ en relación con la CIC); la microtopografía, la retención de humedad y evaporación. Desde luego se considera que algunos elementos ricos en carbonatos que pueden elevar el pH, deben ser adicionados a este sistema ya sea de forma natural como cal agrícola o a través de la fertilización.
- ✓ **CICT y Bases Intercambiables:** Con excepción de la muestra 2, las demás presentan valores altos de CICT que le confieren a estos suelos un potencial de fertilidad natural alto. Sin embargo, los contenidos de bases intercambiables son relativamente bajos; en ocasiones la suma de estos cationes con relación a la capacidad de intercambio catiónico es menor que el 50%. Esto significa que se trata de suelos pobres en bases que requieren la aplicación de abonos orgánicos o de fertilización. Particularmente la relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ muestra que en todos los suelos se presentan deficiencia significativa de Mg^{++} . También es notable que la presencia de Na^{+} sea alta en relación a la capacidad de intercambio catiónico; aunque no presenta valores para considerarse como fase sódica, debe tenerse cuidado con la geodinámica de este elemento. Otros datos interesantes son los que se obtienen a

partir de la relación $(Ca^{++} + Mg^{++})/K^{+}$ que indica que, este último elemento, es muy abundante proporcionalmente a las concentraciones de la suma de $Ca^{++} + Mg^{++}$.

- ✓ **MO:** Desde el punto de vista agrícola, los contenidos de materia orgánica durante la época de secas oscilan desde muy bajos, normal a medio y alto. En la época de lluvias los valores oscilan desde muy bajos, bajos; normal a medio y alto. La oscilación que se observa en los porcentajes de MO así como las fluctuaciones que se presentan entre la época de secas y la época de lluvias se deben probablemente, al manejo de estos suelos el que propicia diferentes tasas de mineralización. Se encontró, además que los valores más bajos de MO tienden a presentarse en aquellos sitios que están más desprovistos de vegetación.

En resumen, se observa que la mayoría de los suelos utilizados en este experimento se caracterizaron por ser someros, poco desarrollados, de grano suelto y texturas gruesas a medias. En su mayoría se tratan de suelos desbasificados y presentan contenidos moderados a bajos de materia orgánica. Sin embargo, los valores de capacidad de intercambio catiónico les confieren un nivel de fertilidad potencial alto (USDA, 2003). Dichos valores están conferidos, principalmente por la presencia de cargas variables, derivadas del intemperismo y de los efectos mineros. A partir de los análisis de suelos; se muestra una variación espacial muy congruente, donde se aprecia una tendencia muy ligera a un decremento en la M.O. en noviembre, debido probablemente a su mineralización. Al hacer la comparación del porcentaje de arcilla vs CICT vs MO, se observan cuatro regiones. En cada una de estas regiones con frecuencia se nota un incremento notable de la capacidad de intercambio catiónico en relación con el porcentaje de arcillas. Esto puede ser indicativo de la presencia de arcillas amorfas de alta capacidad

(Ferridrita) como de algunos compuestos amorfos orgánicos muy humificados producto de descomposición de materia orgánica.

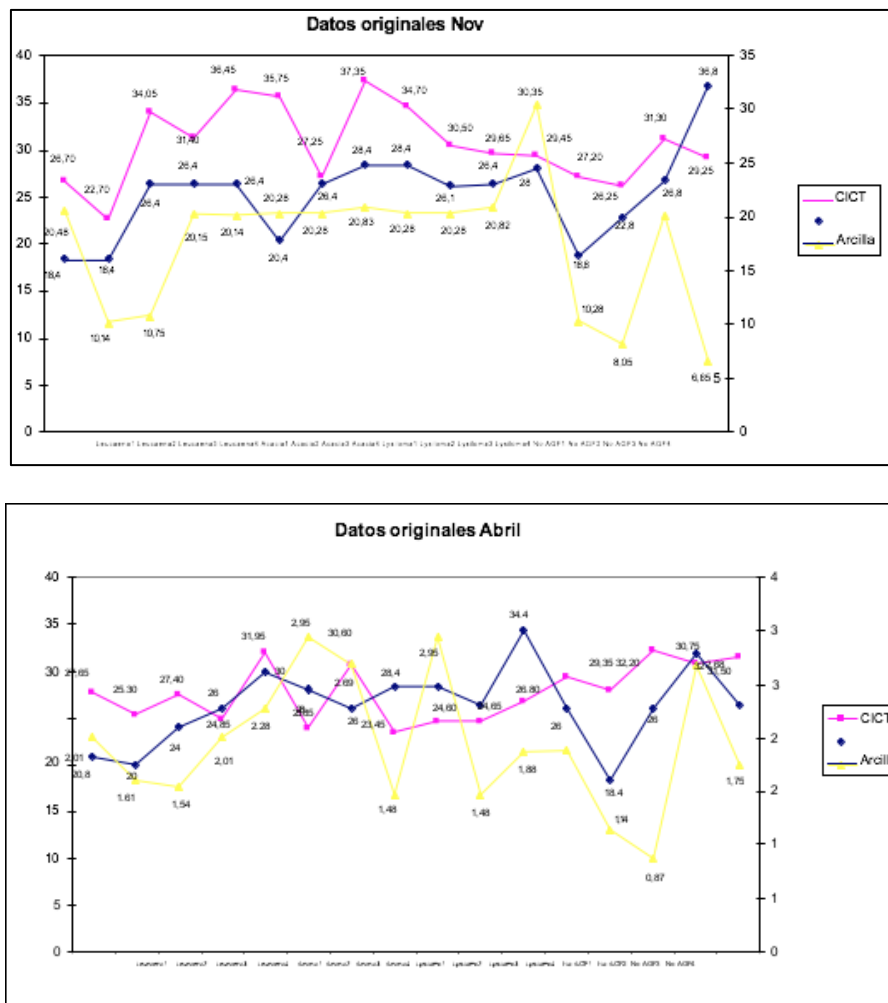


Figura 155. Comparación del porcentaje de arcilla vs CICT vs MO por sitios y por época del año, en datos originales Noviembre y Abril

En las Figuras, también se observan los cambios dinámicos en la relación CICT-Arcilla durante las dos épocas en que se muestrearon estos suelos. Al realizar los análisis estadísticos, se obtuvieron diferencias altamente significativas mostradas en los valores de Ca ($p = 0.0247^*$),

MO ($p = 0.0091^*$) y saturación de bases en noviembre ($p = 0.0441^*$) y en abril ($p = 0.0484^*$) son de muy baja magnitud como para afectar la relación suelo-planta.

3.2.3. La importancia de la MO y la dinámica de los microorganismos

Es bien conocido el hecho de que el manejo de la materia orgánica es el corazón de la agricultura sustentable. En este sentido, muchas investigaciones indican que las propiedades estructurales de los suelos en los trópicos, son profundamente influenciadas por el contenido de la MO y por la actividad biótica particularmente de la fauna del suelo, de tal forma que las prácticas de manejo que afectan los contenidos de MO y actividad biótica afectan por lo tanto la estructura del suelo (Stevenson, 1994). La materia orgánica tiene también un profundo efecto sobre la disponibilidad de los nutrimentos para el crecimiento de las plantas, sirviendo como fuente de N, P y S, entre otros nutrimentos, a través de la mineralización que llevan a cabo los microorganismos del suelo. El mencionado autor comenta que la MO, particularmente la hojarasca y la fracción ligera sirven como fuente de energía para la macro y microfauna y también para la microflora. Sin embargo, aunque el papel que juega la fauna no ha sido completamente descrito, las funciones que ellos realizan son múltiples y variadas ya que algunos contribuyen al desarrollo de la buena estructura del suelo (como son las lombrices de tierra), además de dar mayor aireación y drenaje.

3.2.4. La actividad microbiológica a través de la evolución del CO₂ en suelos bajo sistemas agroforestales

3.2.4.1. Análisis de las plantas

La composición química del follaje revela una baja relación C:N, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre las especies. El N total detectado en las plantas del experimento fueron altas comparadas con otras especies de leguminosas tales como: (Oorts et al, 2000). Estos resultados corresponden a un efecto potencial alto de mineralización del N y un mejor balance de nutrimentos (Lal, 1989). La baja relación C:N son características de niveles altos de mineralización de MO (Tornquist, et al., 1999; Zhan et al., 2007), que en este caso sería similar para las tres especies estudiadas.

3.2.4.2. Relación C/N en la hojarasca.

Tabla 5. Concentración de carbono y nitrógeno de las hojas de las leguminosas seleccionadas

| Tratamientos | C | N | C:N |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------|
| | gKg ⁻¹ | gKg ⁻¹ | |
| <i>Leucaena esculenta</i> | 303.2 | 29.8 | 10.17 |
| <i>Gliciridia sepium</i> | 330.4 | 33.3 | 9.68 |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | 322.6 | 34.1 | 9.46 |

3.2.4.3. Evolución del CO₂ para cada una de las especies.

La evolución del CO₂ a los 8 días de incubación *Leucaena esculenta* es el único tratamiento que mostró diferencias significativas con respecto a los otros tratamientos (*Gliricidia sepium* y *Lecucaena*) y el testigo. A los 16 días de incubación se observan diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo; sin embargo esta tendencia no logra mantenerse hasta el final del período de incubación de los 32 días, ya que únicamente existen diferencias significativas entre el tratamiento con *Leucaena esculenta* y el testigo.

Respecto a que el período de incubación se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre las leguminosas y el periodo de incubación. Estos resultados son debido a las diferentes relaciones C:N de cada leguminosa, dado que este índice C/N controla la mineralización o evolución de CO₂ (Zhan et al., 2007). También, tal como se puede apreciar en la Figura 13, estas características de esta leguminosa (*Leucaena esculenta*) produce un buen efecto sobre la agregación del suelo.

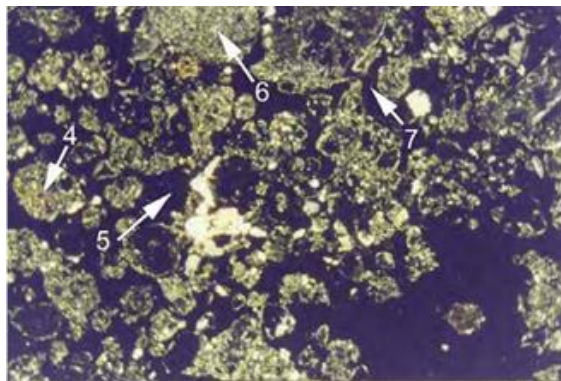


Figura 166. Micro morfología del suelo (secciones delgadas de suelo) con *Leucaena esculenta*; 4= agregados redondeados 5= Poros; 6= Agregados subredondeados; 7= Canales de Raíces.

Después del experimento se analizaron el Carbono, Nitrógeno total y la relación C:N de los suelos de acuerdo al tamaño de fracción de los agregados y se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de C total a los 32 días de incubación; respecto a los porcentajes de N y la relación C:N, no se encontraron diferencias significativas. Los resultados obtenidos muestran que, de las especies utilizadas en este experimento agroforestal, *Leucaena esculenta* presenta un gran potencial para este edafocosistema por su capacidad de restaurar y conservar el suelo, ya que mantuvo los flujos más altos de CO₂ durante los 32 días de incubación, con respecto a las otras leguminosas utilizadas. Además, se encontró que esta planta produce un buen efecto sobre la agregación del suelo como se observa en la figura anterior. Sin embargo, la potencialidad de esta especie se ve opacada por su poco o nulo conocimiento de uso como banco de forraje en la región; y eso hace que los campesinos no lo consideren tan atractiva.

Con respecto a las concentraciones de N en las hojas, en el estudio de Nherera, et al, (1998) se mencionan valores más altos a los detectados para *Leucaena esculenta*. No obstante, considerando el trabajo de Oorts et al, (2000), los resultados de presente trabajo son más altos; sin embargo este autor, al comparar sus resultados, comenta dos aspectos: por un lado, (1) que *Leucaena* puede tener un material más lábil para la descomposición y liberación de nutrimentos y (2), al comparar los valores existentes sobre la composición química de las hojas de *Leucaena*, difiere de los resultados anteriormente mencionados de autores como, Palm et al., (2001); argumentando que, en estos trabajos, las hojas recolectadas fueron cortadas en fresco, mientras que Oorts et al.,(2000), las obtuvo de la hojarasca (litter) de la superficie del suelo.

Se ha comprobado que la práctica de humedecer el suelo seco promueva la evolución de CO₂ debido a la actividad microbiana (Haney and Franzluebbbers, 2008), por lo que la época de lluvias después de la época de secas, es un proceso natural básico para el mejoramiento de las

características del suelo o cambios en el mismo; tomando en consideración este aspecto, es decir, la marcada estacionalidad del área de estudio, en este proyecto es que se realizaron dos muestreos en época de secas y de lluvias. Los autores recomiendan desde simplemente humedecer el suelo, hasta establecer las prácticas agroforestales para incrementar la actividad microbiana y producción de CO₂. Así como también, dejar los residuos en el suelo de limpias y podas, entre otros, demostrando con ello un incremento significativo en la producción de CO₂ del suelo natural (Paul et al., 1999). Dependiendo de las leguminosas utilizadas en las franjas agroforestales, da como resultado también las diferentes relaciones C:N de cada leguminosa y se ha demostrado que este índice controla la mineralización o evolución de CO₂ (Zhan et al, 2007).

En un experimento con suelo tropical con materia orgánica, Dumale et al., (2008) encontraron que la evolución de CO₂ fue significativamente mayor en el horizonte de suelo superficial de 0 a 5 cm que en el de 5 a 20 cm de profundidad. Para el efecto de la materia orgánica en la generación de carbono orgánico del suelo, el tema es controvertido ya que según Dumale et al., (2008) existen estudios que han demostrado que la adición de materia orgánica no aumenta el carbono orgánico del suelo, mientras otros estudios han demostrado lo contrario.

3.2.5. Evaluación de la agregación en suelos por el efecto de algunas leguminosas nativas.

3.2.5.1. Macro morfología

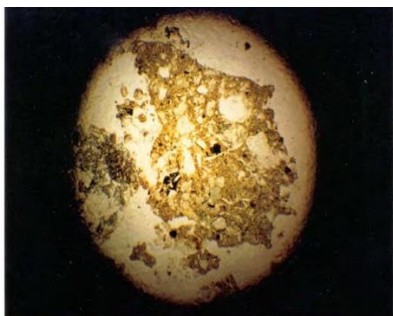
Los resultados de este apartado iniciarán describiendo el análisis macromorfológico de la fracción suelo para cada una de las muestras representativas para las diferentes especies y el testigo.

3.2.5.2. Análisis macro morfológico de la fracción suelo

En tabla 4 se observa que en todas las muestras testigos (No AGF) el desarrollo de los agregados tienden a ser débil. En el caso de las muestras de *Leucaena esculenta* el desarrollo de los agregados es de débil a moderado, asimismo para *Ochroma pyramidaley* todas las muestras de *Gliricidia sepium* los agregados muestran un desarrollo moderado.

3.2.5.3. Micro morfología y mineralogía de los suelos

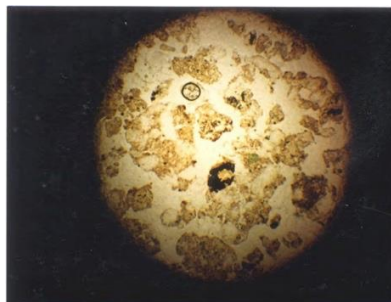
La Micro morfología de los suelos como se cita en los materiales y métodos los análisis de las láminas delgadas se realizaron en un microscopio óptico, regulando la apertura del diafragma con el fin de destacar forma, tamaño y desarrollo. Se consideró deseable observar aquellos agregados que por su forma granular, su tamaño fino a medio y su desarrollo fuerte, además de una consistencia suave a ligeramente dura y friable, se pudieran relacionar con el efecto de las especies de leguminosas de las franjas agroforestales. A continuación se describirán las fotos más representativas.



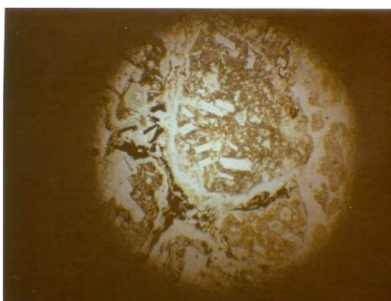
Aunque el horizonte es muy poroso se caracteriza por presentar agregados muy poco estables, de distribución muy localizada en la matriz de forma subangular en ocasiones irregulares. Muchos de ellos muestran sobre la cara del ped abundantes fragmentos líticos, de forma angular. Este horizonte se caracteriza por una baja actividad biológica



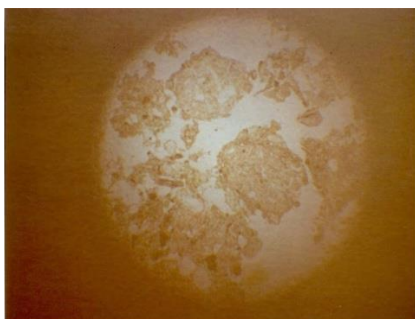
La agregación es muy pobre con estructura deficiente aunque existen poros finos. Las antiguas huellas de raíces están rellenas con limo y restos de fragmentos líticos finos.



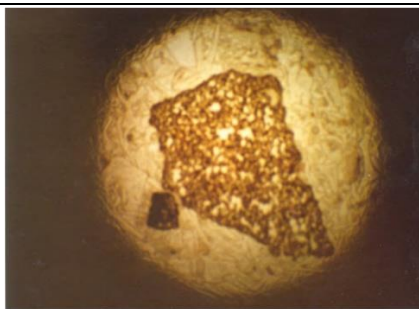
No presenta agregados, consecuentemente carece de estructura, está constituido principalmente por granos líticos.



Leucaena esculenta M1: Agregados redondeados aunque de consistencia débil, tamaño fino que presenta bajo porcentaje de material orgánico. Los fragmentos líticos son abundantes.



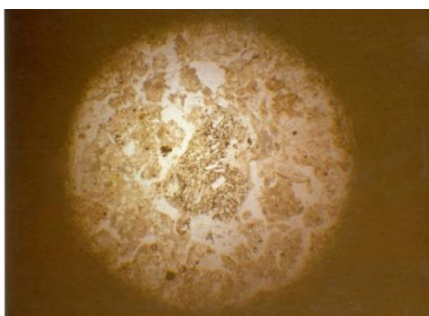
Leucaena esculenta Horizonte cuya estructura está constituida por agregados más estables de forma redondeada que le confieren buena porosidad. En él se observan evidencias de una mayor actividad biológica.



Gliricidia sepium Horizonte constituido por una estructura de bloques grandes subangulares y más desarrollados que todos los descritos anteriormente. Los peds muestran en sus caras fragmentos líticos finos, huellas de raíces aunque menor porcentaje de materiales orgánicos



Gliricidia sepium En este horizonte los agregados son abundantes y presentan formas subangulares, a subredondeadas. Su desarrollo oscila de débil a moderado y se presentan abundantes restos de material orgánico

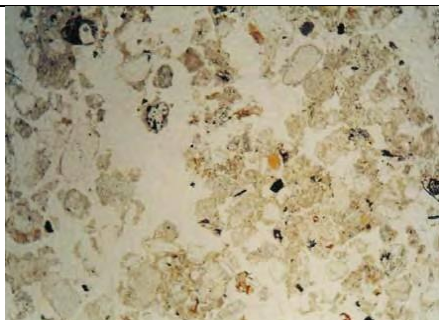


Gliricidia sepium Es un horizonte que muestra buena agregación aunque existen granos sueltos. Los agregados presentan formas subangulares y tamaño fino. Se estima que su formación puede ser correlacionada con el efecto directo de esta planta

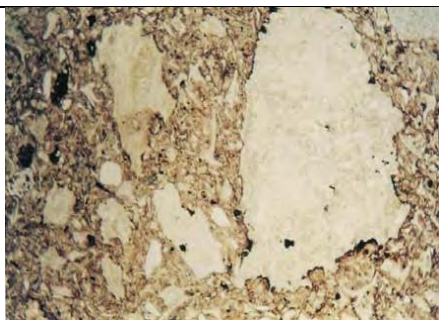
3.2.6. Mineralogía de los suelos

Respecto a la mineralogía de los suelos a continuación se describirán los resultados obtenidos en el presente trabajo, vinculando la micromorfología y mineralogía, a partir de las observaciones

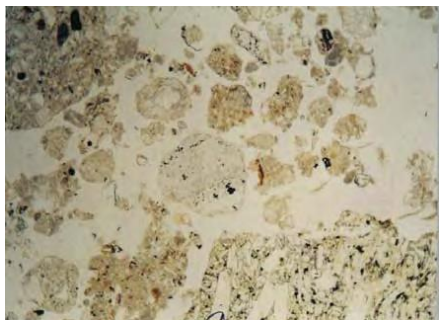
en laboratorio, presentando las fotos más representativas donde se muestra la mineralogía de los suelos estudiados.



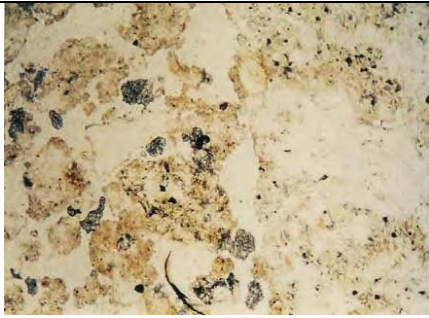
En las fotomicrografías, se observa, fragmentos de material parental como pequeños pseudo agregados.



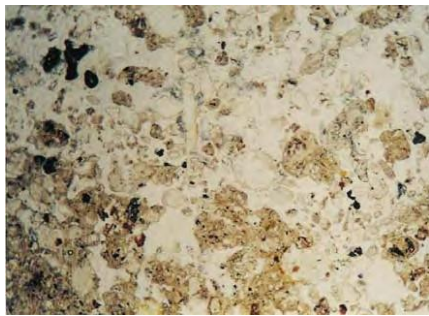
Gliricidia sepium Es un horizonte que muestra buena agregación aunque existen granos sueltos. Los agregados presentan formas subangulares y tamaño fino. Se estima que su formación puede ser correlacionada con el efecto directo de esta planta. En la fotomicrografía se observa, un fragmento de relleno con CaCO_3 , debido a procesos de mineralización por adhesión de rocas sedimentarias meteorizadas.



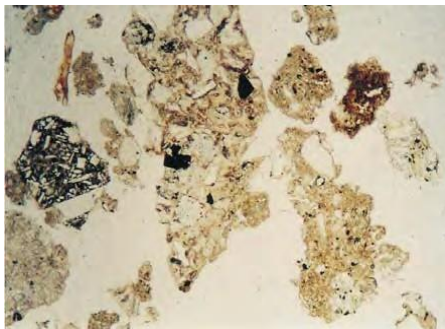
Leucaena esculenta se denota un fragmento grande combinado con fragmentos pequeños y no hay muchos agregados por efectos posibles del lavado del suelo.



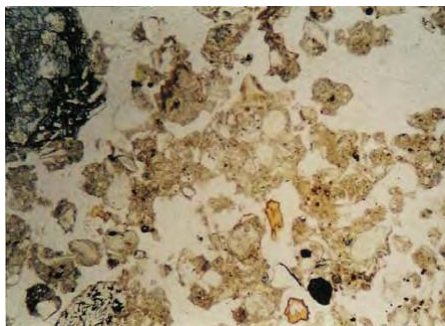
La fotomicrografía muestra la heterogeneidad del tamaño (Hay fragmentos pequeños; pero no tan pequeños como la muestra anterior).



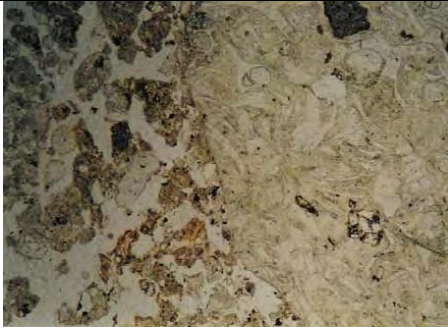
Par el caso de las fotomicrografías 12a y 12b al observarse con luz natural y luz polarizada pareciera que todos son agregados y son parte de la masa inicial.



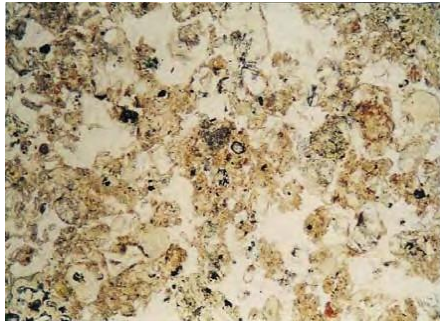
Al observarse con luz natural y luz polarizada las fotomicrografías 14 a y 14b se observan pedazos de fragmentos de rocas de diferentes tamaños



Ochroma pyramidale Las fotomicrografías 16a y 16b al observarse a través de la luz natural y la luz polarizada encontramos agregados de diferentes tamaños, pero tienen un desarrollo homogéneo



Ochroma pyramidale Al observar las micrografías se distinguen fragmento grande con pequeño (para ver la heterogeneidad).



Gliciridia sepium En el caso de la micrografía se observa presencia de agregados.

3.2.7. Micro morfología y mineralogía

En síntesis, con estas micrografías se puede representar como un tiempo “cero” en la formación de agregados, estos como se observan están constituidos principalmente por líticos, terrones, pseudoagregados, generalmente de matriz de arcilla, pero se observa además el efecto de las especies utilizadas que como ya se ha descrito destacan *Leucaena esculenta*, *Gliciridia sepium* y *Ochroma pyramidale*. Sin embargo para llevar una evaluación correcta se debe darle seguimiento por un periodo mínimo de 5 años (short time) para evaluar la acción de la agregación de PETS generados por el intercambio iónico y catiónico de las especies sembradas en su mayor desarrollo evolutivo.

3.2.8. Dinámica de la formación de agregados Observaciones cualitativas

Los resultados de las observaciones, de manera cualitativa como son la consistencia, plasticidad y adherencia mismas que se interpretaron de acuerdo a lo propuesto por USDA- SSS (1990), en la cual se pueden observar la aparición significativs de las características morfodinámicas de los agregados para cada una de las muestras más representativas para las diferentes especies y el testigo.

Tabla 6. Morfología y dinámica cualitativa de los agregados

| Especie | Muestr | Características |
|----------------|----------|--|
| | a | |
| <i>No AGF*</i> | 1 | La consistencia en seco es ligeramente dura y en húmedo moderadamente adhesiva y plástica, friable en húmedo |
| <i>No AGF</i> | 2 | Muy friable en húmedo, la consistencia en seco varía de ligeramente dura a blanda. |
| <i>No AGF</i> | 3 | La Concistencia en húmedo es muy friable aunque adhesiva y moderadamente plástica |
| <i>No AGF</i> | 4 | La consistencia en seco varía de dura a muy dura, siendo muy friable en húmedo. Es ligeramente adhesiva no plástica. |

| | | |
|----------------------------------|---|---|
| <i>Leucaena esculenta</i> | 2 | La consistencia en seco varía de dura a moderadamente dura, siendo friable en húmedo. Su plasticidad y adhesividad son moderadas. |
| <i>Leucaena esculenta</i> ** | 1 | La consistencia en seco es ligeramente dura siendo friable en húmedo adhesiva y plástica. |
| <i>Leucaena esculenta</i> | 2 | La consistencia en seco es blanda y en húmedo muy friable y plástica. Se considera con menos desarrollo que <i>Leucaena esculenta</i> 1. |
| <i>Leucaena esculenta</i> | 3 | Muestra una matriz lítica en que predomina el grano suelto aunque existen agregados finos que son friables a muy friables en húmedo así como ligeramente adhesivos y plásticos. |
| <i>Leucaena esculenta</i> | 4 | La consistencia en húmedo es friable siendo moderadamente adhesiva y plástica |
| <i>Ochroma pyramidale</i> | 1 | Su consistencia en seco varía de ligeramente dura a dura. En húmedo es muy friable moderadamente adhesivo y plástica. |
| <i>Gliricidia sepium</i> | 2 | Su consistencia es blanda a ligeramente dura. Su consistencia en húmedo es friable y moderadamente adhesiva y plástica. |
| <i>Gliricidia sepium</i> | 3 | En húmedo es adhesiva y plástica. |

| | | |
|-------------------|---|---|
| <i>Ochroma</i> | 4 | Su consistencia varía de blanda a ligeramente dura en |
| <i>pyramidale</i> | | seco, en húmedo es moderadamente adhesiva, plástica y |
| | | friable. |

Referente a los resultados obtenidos en la evaluación cualitativa de los agregados a la resistencia al agua y su importancia radica, dado que en un agregado no solamente es importante observar su forma, tamaño y grado de desarrollo sino también que tan resistentes son a la erosión por agua, que se puede probar en este tipo de análisis. Los resultados en esta parte muestran consistentemente a la observación al microscopio de los agregados, que el suelo bajo *Gliricidia sepium* tiende a formar agregados de resistencia excelente para todas las muestras (M1=75%, M2=80%, M3=90% y M4=80%). Para todas las muestras con la especie *Leucaena esculenta* esta resistencia fue de buena a excelente (entre 70 y 80%), La muestra de *Ochroma pyramidale* mostró una resistencia buena (70%). Para las muestras testigos (No AGF) La muestra 3 es la única que se puede evaluar como excelente (80%), mientras que para las otras muestras van desde satisfactorio a bueno respectivamente.

3.2.9. Cuantificación de la agregación en seco

Los resultados del análisis de los agregados en seco por el método de Savvinov (citado en Kaúrichev et al 1980), el conjunto de las cuatro muestras por tratamiento (*Leucaena esculenta*, *Gliricidia sepium* y *Ochroma pyramidale*) y el testigo (No AGF) ninguno alcanza un valor homogéneo calificable de excelente, pero si se considera bueno. Algunas muestras por separado en cada tratamiento alcanzan el valor de excelente. Para las otras muestras de *Leucaena*

esculenta y *Ochroma pyramidale* observa el estado estructural de excelente a bueno. La muestra de *Gliricidia sepium* que se encuentra en el valor de satisfactorio, las otras van de bueno a excelente.

Tabla 7. En esta tabla se observa el porcentaje de agregación en seco para cada una de las diferentes muestras

| Tamaño de agregados Mm | NO AGF | | | | <i>Leucaena</i> <i>esculenta</i> | | | | <i>Ochroma</i> <i>pyramidale</i> | | | | <i>Gliricidia sepium</i> | | | |
|---------------------------|--------|-----|-----|-----|-------------------------------------|-----|-----|-----|-------------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 6 | 3 | 3 | 4 |
| | | | | .1 | | | | .5 | | .2 | .1 | .5 | | | .1 | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 3 | 2 | 5 | 2 | 0 | 5 | 8 | 1 | 3 | 7 |
| | | | | .4 | | | .8 | .7 | .9 | | .8 | .5 | 0.8 | .7 | .2 | |
| 2. | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 3 | 3 | 8 | 4 | 3 | 6 | 6 | 4 | 3 | 3 |
| 8 | | | | .4 | .6 | .2 | .8 | .6 | .4 | .2 | .2 | .4 | .4 | .8 | .9 | |
| 2 | 6 | 9 | 1 | 0 | 4 | 3 | 7 | 8 | 2 | 5 | 2 | 4 | 8 | 5 | 6 | 5 |
| | | 0.1 | | .4 | .6 | .4 | .7 | | .7 | .3 | .4 | .75 | .2 | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 4 | 7.8 | 7 | 0.4 | 4.3 | 1.9 | 8.6 | 6.8 | 7.3 | 0.1 | 9.2 | 9.3 | 2.9 | 1.9 | 1.4 | 5 |
| 0. | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 5.5 | 6.3 | 8.1 | 3.3 | 1.2 | 1.8 | 7.3 | 4.7 | 3.9 | 5.5 | 1.1 | 4.6 | 1.6 | 5.9 | 2.1 | 8.1 |
| 0. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 8 | 1 |
| 25 | 3.3 | 0 | 9.3 | 7 | 2.8 | 0.7 | 3.2 | 4.5 | .6 | 2.4 | 4.5 | 0.8 | 3.2 | 5.1 | .7 | 6.8 |
| < | 1 | 2 | 2 | 1 | 9 | 1 | 1 | 8 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 1 |
| 0.25 | 9.4 | 0.5 | 1 | 1 | .4 | 3.4 | 0 | .4 | .7 | 3.5 | 0.6 | 6.9 | 2 | 1.5 | .5 | 1.2 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|------|-----|
| % de | 8 | 8 | 7 | 6 | 7 | 9 | 8 | 6 | 6 | 7 | 8 | 8 | 7 | 5 | 8 |
| 78.2 | 3.6 | 5.5 | 1.7 | 0.6 | 3.8 | 2.9 | 9.4 | 3.5 | 6.3 | 0.6 | 9.5 | 9 | 8.5 | 6.95 | 1.5 |

*El % de agregación total es en porcentaje de la masa del suelo secado al aire y la interpretación muestra el estado estructural del suelo de la siguiente manera: > 80% es excelente, 80-60 bueno, 60-40 satisfactorio, 40-20 no satisfactorio y < 20% es malo.

Testigo mostraron agregados con características físicas más deseables que las especies utilizadas; sin embargo lo importante de observar es que el número de agregados fue el que se incrementó notablemente con las plantas experimentales, esperando que a través del tiempo también incrementen la calidad de los agregados. En cuanto al análisis cuantitativo de la resistencia al agua, todas las muestras del suelo bajo *Gliciridia sepium* tienden a formar agregados de calidad excelente, *Leucaena esculenta* de buena a excelente, *Ochroma pyramidalees* buena, el No AGF va de bueno a satisfactorio.

3.2.10. Estabilidad de la agregación

De acuerdo con Siebe (1996) la estabilidad de los agregados determina dos situaciones: la penetrabilidad de las raíces y la resistencia a la destrucción y consecuentemente su erosionabilidad por viento y agua, y lo que se evaluó de manera cualitativa el grado de descomposición de los agregados de acuerdo a la relación de la siguiente tabla.

Tabla 8. Interpretación del grado de descomposición de los agregados.

| Grado de descomposición (*disgregación) | Evaluación | Valores |
|--|-------------------|----------------|
| No hay descomposición o solo fragmentos grandes | Muy alta | 1 |
| Dominan los fragmentos grandes sobre los pequeños | Alta | 2 |
| Igual número de fragmentos grandes y pequeños | Mediana | 3 |
| Dominan los fragmentos pequeños sobre los grandes | Moderada | 4 |
| Sólo fragmentos pequeños y turbidez notable del agua | Baja | 5 |
| Descomposición total y alta turbidez del agua | Muy baja | 6 |

A partir de esta interpretación los resultados de la estabilidad de los agregados se muestran a continuación:

Tabla 9. En esta tabla los valores obtenidos en la estabilidad de los agregados para cada una de las muestras antes y después del experimento de evolución de CO₂.

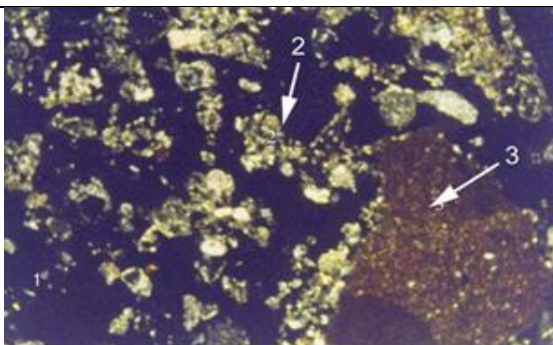
| Muestras | Antes de Medición de CO₂ | Después de Medición de CO₂ | | |
|-----------------|--|--|-----------|-----------|
| | | Tiempo (Días) | | |
| | | 8 | 16 | 32 |

| | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|
| <i>Leucaena</i> | 3 | 4 | 6 | 7 |
| <i>esculenta M1</i> | | | | |
| <i>Leucaena</i> | 3 | 4 | 5 | 8 |
| <i>esculenta M2</i> | | | | |
| <i>Leucaena</i> | 3 | 3 | 5 | 7 |
| <i>esculenta M3</i> | | | | |
| <i>Leucaena</i> | 3 | 3 | 6 | 6 |
| <i>esculenta M4</i> | | | | |
| <i>Gliricidia</i> | 3 | 4 | 5 | 7 |
| <i>sepium M1</i> | | | | |
| <i>Gliricidia</i> | 3 | 4 | 5 | 6 |
| <i>sepium M2</i> | | | | |
| <i>Gliricidia</i> | 3 | 4 | 6 | 7 |
| <i>sepium M3</i> | | | | |
| <i>Gliricidia</i> | 3 | 3 | 4 | 6 |
| <i>sepium M4</i> | | | | |
| <i>Ochroma</i> | 3 | 4 | 4 | 6 |
| <i>pyramidaleM1</i> | | | | |
| <i>Ochroma</i> | 4 | 3 | 6 | 7 |
| <i>pyramidaleM2</i> | | | | |
| <i>Ochroma</i> | 3 | 4 | 5 | 6 |
| <i>pyramidaleM3</i> | | | | |

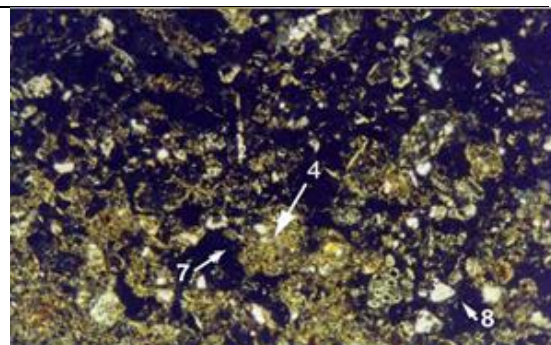
| | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|
| <i>Ochroma</i> | 4 | 4 | 6 | 7 |
| <i>pyramidale</i> M4 | | | | |
| No AGF | 3 | 4 | 3 | 3 |
| M1 | | | | |
| No AGF | 3 | 3 | 3 | 3 |
| M2 | | | | |
| No AGF | 4 | 4 | 4 | 4 |
| M3 | | | | |
| No AGF | 3 | 3 | 3 | 3 |
| M4 | | | | |

Posteriormente a los resultados obtenidos se practicó análisis estadístico e Incubación. Sin embargo es necesario aclarar que el análisis estadísticos resulto muy útil para la interpretación y refleja en laboratorio un comportamiento ideal para la realidad de campo, ya que los valores obtenidos en la estabilidad de los agregados para cada una de las muestras antes y después del experimento de evolución de CO₂, están reflejando una condición estadística y aumento de la calidad de los suelos. A partir de los resultados obtenidos desde el punto de vista de mineralogía se puede determinar que en general *Leucaena esculenta* y *Gliricidia sepium* son similares en el material parental; mientras que *Ochroma pyramidale* y el testigo (No AGF) presentan características con ciertas similitudes. Por otra parte, se observa la casi total falta de agregación y la presencia de granos minerales sueltos, muy erodables, constituidos por piroclásticos, líticos y minerales félsicos. En contraste, para *Leucaena esculenta*, *Gliricidia sepium* y *Ochroma pyramidale* muestran un efecto claro en la cantidad de agregación del suelo. Los análisis de

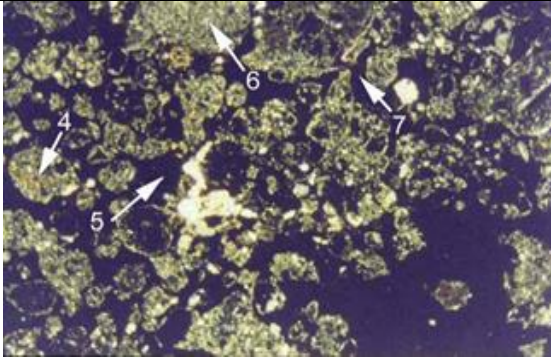
laboratorio realizados con relación a su estabilidad muestran incrementos que pueden representarse del siguiente modo $1D > 1C > 1B > 1A$. Como se puede observar en las siguientes figuras, la mayoría de los agregados constituidos en los sistemas agroforestales se caracterizaban por cambiar y empezar a hacer ser muy redondeados y sub redondeados con alta densidad de porosidad, lo cual permite según Mapa y Gunasena, (1995) además de una disminución en la erodabilidad del suelo, un incremento en el paso del agua y aire así como el desarrollo de las raíces, lo cual demuestra el cambio de la estructura y favorabilidad al desarrollo biológico, el cual redundará en la superficie con cambios de la cobertura vegetal y las eco relaciones de biodiversidad.



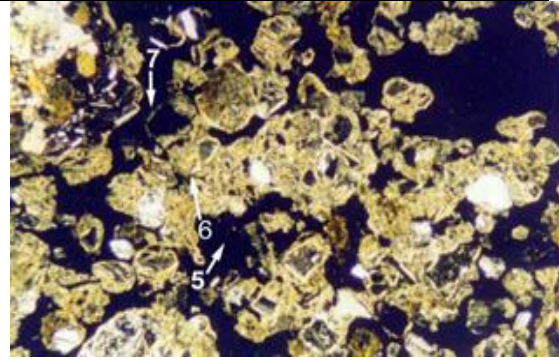
No AGF, Se aprecia predominancia de partículas sueltas; 2 = partículas de vidrio; 3= Líticos.



(*Gliciridia sepium*) se observa 2=Partículas de vidrio; 3= Fragmentos líticos 4= Agregados redondeados; 7= Canales de raíces.



Leucaena esculenta); 4= agregados redondeados 5= Poros; 6= Agregados subredondeados, 7= Canales de raíces.



Ochroma pyramidale ; 4= Agregados redondeados; 5= Poros; 6= Agregados subredondeados 7= Canales de raíces.

Finalmente, el efecto en la estructura y agregación del suelo partiendo de los estudios de microscopía, demostraron de manera positiva el efecto de restauración que las especies seleccionadas le confirieron a estos suelos a través de incrementar el número de agregados como se presenta el suelo control (No AGF).

4. CONCLUSIONES

El modelo de la Universidad Nacional de Colombia y su ecuación final deja abierto los criterios de medidas adicionales (MA), al reemplazarse en la fórmula e implementarse los Sistemas Agroforestales (SAF) basados en los amplios sustentos científicos se logra demostrar su eficiencia en la recuperación de la fertilidad del suelo alterado e iniciar con los procesos de restauración y equilibrio en las relaciones ecosistémicas.

Con la aplicación del modelo conceptual de restauración ecológica y la implementación de los Sistemas Agroforestales, logra una reducción significativa en el tiempo de recuperación de los sitios intervenidos, versus la trayectoria típica o tendencia en la recuperación con medidas diferentes o sin manejo. Sin embargo, el mayor aporte del modelo se percibe en el aumento del potencial de restauración, teniendo en cuenta que con su implementación se propende por el desarrollo estructural y funcional de los ecosistemas para todos los componentes de las terrazas de inundación intervenidos.

El comportamiento de cada uno de los sistemas agroforestales con *Leucaena Esculenta* – Acacia, *Gliciridia sepium* – Matarratón, *Ochroma pyramidale* - Balso; en función de la evolución del CO₂, como método para evaluar la actividad microbológica, dió diferencias estadísticamente significativas y permitió concluir que la mayor cantidad de CO₂ evolucionado en las áreas establecidas y mientras que el nivel más bajo se produjo en el testigo. En general, las especies de leguminosas establecidas en el experimento produjeron una buena evolución de CO₂. Lo que indica aumento en la actividad microbiana y por lo tanto impulso del desarrollo de la fertilidad en el suelo.

5. RECOMENDACIONES

Conforme a los resultados obtenidos en el presente estudio, se ratifica la importancia de divulgación para implementación de los Sistemas Agroforestales en la recuperación de la fertilidad del Suelo y así dar bases para el desarrollo de la restauración ambiental y ecológica en suelos que han sido alterados por acción antrópica.

Se debe promover la investigación con especies nativas, las cuales aún por desconocimientos y falta de estudios científicos aún no se presentan como alternativas de restauración de suelos.

Generar mayor apoyo a las iniciativas de investigación para que los resultados sean optimos y conformes a una estructura de documento investigativo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adachi, M., Bekku Y, Rashidah W, Okuda T., Koizumi H. (2006). Differences in soil respiration between tropical ecosystems. *Applied Soil Ecology* 34, 258-265.

Arunachalam, A., & Arunachalam, K. (2000). Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India. *Plant and soil*, 223(1-2), 187-195.

Baležentienė L., Klimas E. (2009). Effect of organic and mineral fertilizers and land management on soil enzyme activities. *Effect of organic and mineral fertilizers and land management on soil enzyme activities (Special issue I)*. 9:191-197.

Bardgett, R., & van der Putten, W. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505.

Bautista, F., Delfín, H., Palacio, J., & delgado, M. (2004). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (1st ed.). Ciudad de Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

Berg, B. (2000). Descomposición de la hojarasca y rotación de la materia orgánica en suelos forestales del norte. *Ecología y manejo forestal*. 133 (1-2), 13-22.

Brady, N., & Weil, R. (2016). The nature and properties of soils. Columbus, EUA: Pearson Education. Inc.[Links].

Budowski, G., & Russo, R. (1997). Nitrogen-fixing trees and nitrogen fixation in sustainable agriculture: research challenges. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5-6), 767-770.

Chilón Camacho, E. (2017). "Revolución Verde" Agricultura y suelos, aportes y controversias 1. *Apthapi*, 3, 844.

FAO. (2018). Suelos y biodiversidad: Los suelos albergan una cuarta parte de la biodiversidad de nuestro planeta. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4551s.pdf>.

Helingerová, M., Frouz, J., & Šantrůčková, H. (2010). Microbial activity in reclaimed and unreclaimed post-mining sites near Sokolov (Czech Republic). *Ecological engineering*, 36(6), 768-776.

IDEAM, 2016. Monitoreo de la deforestación en (2015). Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono SMyC. En: http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias//asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/lacifradedeforestacion-en-colombia-2015-reporta-124-035-hectareas-afectada. Consulta: Enero, 2017.

IGAC, I. (2018). Estudio General de suelos y zonificación de tierras.

Oberson, A; Bessonm, J., Maire, N., Sticher, H. (1996). Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. *Biol Fertil Soils* 21: 138-148.

IDEAM, Sistemas agroforestales y restauración ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña, Caso piloto, Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático –INAP– componente B, IDEAM y Conservación Internacional, Bogotá, 2011

Álvarez C., J. M. 2008. De Robert Morris a Eden Project: otras formas de rehabilitación minera para uso público. 9º Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible. Universidade da Coruña (España).

Amorós C. and Bornette G. 2002. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshwater Biology*, 47: 761-776.

Andrés, P. 2009. La restauración ecológica: objetivos y aspectos generales. En: Barrera et al. 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Arcott D. B., Tockner K. & Ward J. V. 2000. Aquatic habitat diversity along the corridor of an Alpine floodplain river Fiume Tagliamento, Italy. *Archiv für Hydrobiologie*, 149: 679-704.

Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia -BIRD Antioquia-.

2009. Potencial Minero antioqueño. Visión General. Edición 1.

Barrera C., J. I. 2009. Barreras al restablecimiento natural y a la restauración ecológica de áreas afectadas por minería a cielo abierto. En: Barrera Cataño, et al.2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Barrera C., J. I. y H. F. Ríos. 2002. Acercamiento a la ecología de la restauración. Perez – Arbelaezia. No. 13: 33-46.

Barrera C., J. I., Aguilar G., M. y D.C. Rondón C. (eds.). 2008. Experiencias de restauración ecológica en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C. 274p.

Barrera C., J. I., Contreras R., S., Ochoa C., A., Perilla C., S. C., Garzón Y., N. y D. C.

Rondón C. (eds). 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Bradshaw, A. D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. Landscape Planing 11:35-48.

Bradshaw, A. D. 1987. Restoration: An acid test for ecology. En: W.R. Jordan III, M.E, Gilpin y J.D Aber (eds.). Restoration ecology: A synthetic approach to ecological. Cambridge University Press, EE.UU.

Brinson, M. 2004. Niveles extremos de variación de patrones y procesos en humedales. Department of Biology, East Carolina University, Greenville, North Carolina (27858), USA. En: Malvárez & Bó, 2004.

Brown, S. and A. E. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. Restoration ecology 2(2):97-111.

Burguer, J. and Gochfeld, M. 2011. Mercury and selenium levels in 19 species of saltwater fish from New Jersey as a function of species, size, and season. Sci. Total Environ. 409, 1418-1429.

Cardona, C. y Castañeda, N. 2008. Humedales artificiales, un compromiso de Mineros S.A. En: Resúmenes. Primer Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas de Colombia.

Carrick, P. J. y R. Krüger. 2006. Restauración de áreas degradadas en la zona baja de Namaqualand: Lecciones desde la experiencia de la minería y la dinámica ecológica regional. Journal of Arid Environments 70 (2007) 767-781 – ELSEVIER.

Casco, S. L., I. Basterra de Chiozzi y J. J. Neiff. 2005. La vegetación como indicador de la geomorfología fluvial. *Revista Brasileira de Geomorfología. – Geomorfología Fluvial* 6 (1): 123-136 p.

Contreras S., Romo R., Muñoz A. y Sánchez J. 2005. Pruebas de germinación de dos leguminosas herbáceas con potencial para rehabilitar bancos de minería a cielo abierto. *Avances en la investigación científica en CUBA (México)*.

Corantioquia y Neotropicos. 2000. Ciénagas de la Región Panzenú. Contrato 2018 de 1999. Informe Final.

Corantioquia. 2012. Modelos de recuperación de áreas degradadas por minería de oro de aluvión. Ponencia Simposio Bosques y Minería Responsable. Agosto 27 y 28 de 2012.

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF. 2004. Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación. Guía metodológica. ISBN 958-33-482. 98 p.

Defensoría del Pueblo Colombia. 2010. La minería de hecho en Colombia. Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente. Diciembre de 2010. ISBN 958-958-857I-29-4.

Durán Valsero, J. J., A. García de Domingo y P. Robledo Ardila. 2009. Propuesta de clasificación genético-geológica de humedales. Aplicación a los humedales españoles incluidos en el Convenio de Ramsar. Boletín Geológico y Minero, 120 (3): 335-346. ISSN: 0366-0176.

Escobar, L. A. 2009. Recuperación de áreas degradadas por minería en el Bajo Cauca, departamento de Antioquia, Colombia. Corantioquia. En: Barrera Cataño, et al. 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Estudios y Asesorías Ambientales - Ingenieros Consultores Ltda. 2005. Plan de Manejo Ambiental de la explotación aurífera por dragado del río Nechí – Mineros S.A.

Gallego, J. B. 2008. Seguimiento de la restauración de los ecosistemas del río Guadiamar: propuesta de un modelo conceptual. En: Montes C. & F. Carrascal. La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del Corredor Verde: la historia de un paisaje emergente. pp. 191-202. Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.

Gil P., N. E. 2004. Los bosques inundables del río Amazonas – Colombia.

Gil P., N. E. 2010. Documento base para la discusión en restauración ecológica. Sin Publicar. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Maestría en Ciencias y Biotecnología. 149 p.

Gil P., N. E. y L. Ceballos U. 2011. Propuesta para calcular el potencial de restauración en la ciénaga del Tigre, Yondó, Antioquia, Colombia. 4th World Conference on Ecological Restoration. México. Book of Abstracts.

Gil P., N. E., García B., F. L. y Montoya, M. 2011. Plan de manejo ambiental basado en criterios de restauración ecológica para la ciénaga El Tigre, Yondó, Antioquia. 180 p.

Gil P., N. E., García B., F., Cuadros, T. y A. Garcés. 2007. Capítulo 4: Análisis Ecológico del área de incidencia por las obras del dique marginal. En: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Dique Marginal de Yondó. Posgrado en Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia.

Gobernación de Caldas – Universidad de Caldas – Corpocaldas. 2008. Prácticas ambientalmente amigables y prácticas ambientalmente nocivas en la minería alluvial de oro.

Gómez G., E. A. 2008a. Caracterización del hidropériodo en la cuenca de Ayapel. En: Resúmenes. Primer Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas de Colombia. Universidad De Antioquia, Universidad Nacional De Colombia, Medellín-Bogotá, Arfo Editores E Impresores Ltda. P. 152.

Gómez G., E.A. 2008b. Formalización del concepto de pulso de inundación en humedales de tierras bajas. En: Resúmenes. Primer Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas

de Colombia. Universidad De Antioquia, Universidad Nacional De Colombia, Medellín-Bogotá, Arfo Editores E Impresores Ltda. P. 135.

Grupo de Restauración Ecológica –GREUNAL-. 2010. Guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas. Convenio de Asociación No. 22 entre Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN).

Heredia, M. 2002. Contribución al conocimiento taxonómico y ecológico de la familia Cichlidae: Ictiofauna de la Reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F., México.

Holdridge, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. 3 Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA, San José, Costa Rica. 216.

Hughes F. M. R. 2002. Biogeomorfología de la llanura de inundación. *Geomorphology*, Volume 44, Issues 3-4, 1 May, Pages 259-271.

IDEAM. 2001. Prediagnóstico Físico y Socio Cultural Participativo del Estado Ambiental de los Humedales del Magdalena Medio Antioqueño en la Jurisdicción de Corantioquia. Medellín, 193 p.

Izquierdo, I., Caravaca B., M. F., Alguacil G., M., Hernández V., G. y A. Roldán G.

2005. Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions. *Applied Soil Ecology* 30 (2005) 3–10.

Jaramillo J., D.F. 2014. *El Suelo: origen, propiedades, espacialidad* / Daniel F. Jaramillo J. Segunda edición. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 553 p.

Junk W.J., Bayley P.B., and Sparks R.E. 1989. The flood pulse concept in river- floodplain systems. *Dodge DP Can Spec Public Fish Aquatic Sci* 106 (1989): 110-127.

Junk, W. 1984. Amazonian floodplains: Their ecology, present and potential use. *Hydrobiologie tropical*. 15 (4): 285 – 301.

Krebs, C. J. 2001. *Ecología: estudio de la distribución y la abundancia*. Segunda edición. Oxford University Press. 753p.

Kupschus, S. and D. Tremain. 2001. Associations between fish assemblages and environmental factors in nearshore habitats of a subtropical estuary. *J. Fish Biol.* 58: 1383-1403.

Malvárez, A. I., R. F. Bó. 2004. Documentos del curso-taller: bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina. 1a. ed. – Buenos Aires. 120 p.

Márquez H., R. 2004. Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

Marrugo J., Lans E., Benítez L. 2007. Finding of mercury in fish from the Ayapel marsh, Cordoba, Colombia. Rev.MVZ Córdoba 12 (1): 878-886.

Marrugo N., A., Olivero V., J. y E. Lans C. 2008. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. Norberto Benitez. Environ Geochem Health. 30:21–30.

Mineros S.A. 2010. Un modelo de rehabilitación de ecosistemas. Ponencia Simposio de Bosques y Minería Responsable. Jardín Botánico Medellín; 27 y 28 de agosto de 2012.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT-. 2010a. Plan Nacional de Restauración - Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas.

Miranda M., B.T. 2009. Estrategias para la restauración del componente suelo en áreas afectadas por minería. En: Barrera Cataño, et al. 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Neiff, J. J. 2001. Diversity in some tropical wetland systems of South América, pp 157-186. En: Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation, Vol II. Gopal, B., W. Junk y J. Davis (Eds.). Backhuys Publish. The Netherlands.

Neiff, J. J. y A. I. Malvárez. 2004. Grandes Humedales Fluviales. 77-85 en: Malvárez, A.I. y R.F. Bó (Comp.). Documentos del curso-taller Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina" FCEN (UBA) - RAMSAR - USFWS -USDS - Buenos Aires, 1-119.

Barrera et al. 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

Noon, B. R., Spies, T.A. and Raphael, M.G. 1999. Conceptual basis for designing an effectiveness monitoring program. En: The strategy and designing of the effectiveness program for the Northwest Forest Plan, Mulder, B.S., Noon, B. R., Spies, T.A.,

Raphael, M.G., Palmer, C.J., Olsen, A.R., Reeves, GH. and Welsh, H.H. Jr. (eds.),USDA For. Serv. Gen. Tech. Rept., PNW-GTR-437, Pacific Northwest Station, Portland, OR, pp. 21-48.

Ochoa, G. y J. Oballos. 2006. Diccionario de Suelos. Universidad de los Andes.

Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida – Venezuela.

Olivero V., J., Johnson R., B., Mendoza M., C., Paz M., R. y R. Olivero V. 2004. Mercury in the aquatic environment of the village of Caimito at the Mojana region, north of Colombia.

Water, Air, and Soil Pollution 159: 409–420.

Organización de las Naciones Unidas – ONU -. 1992. Convenio Sobre Diversidad Biológica. Río de Janeiro. Brasil.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Cuarta Edición. Roma.

Petry, P., P. B. Bayley and D. F. Markle. 2003. Relationships between fish assemblages, macrophytes and environmental gradients in the Amazon River floodplain. *J. Fish Biol.* 63: 547-579.

Ramsar - Grupo de Trabajo sobre Cultura. 2008. Cultura y humedales. Un documento de orientación de Ramsar. Convención sobre los Humedales (Ramsar, 1971). Gland.

Recover. 2001. Monitoring and assessment plan draft 29 March 2001. Comprehensive Everglades Restoration Plan (CERP). Florida, USA. Roldán, P. G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. 1º edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colección Ciencia y Tecnología U de A. Medellín, 529 p.

Romero, M. I., Ramil, P., Amigo, J., Rodríguez G., M. A. y Rubinos, M. 2004. Notas sobre la flora de humedales en el noroeste ibérico. Bot. Complut. 28: 61-66.

Rosselli S., L. 2008. Clasificación del potencial de restauración de los humedales del Distrito Capital de Bogotá usando las aves como grupo indicador.

Ruiz J., M. y T. Mitchell A. 2005. Estructura de la vegetación, diversidad de especies y procesos ecosistémicos como medidas de éxito en restauración. Forest Ecology and Management 218 (2005) 159–173. - ELSEVIER.

Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2005. Estudio de sucesión vegetal en áreas de abandono de minería aluvial.

Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2006. Caracterización Social Área de influencia de Sabalito.

Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2009. Caracterización de las coberturas vegetales y su medio de crecimiento en el área de influencia de Mineros S.A. – Vereda Sabalito parte baja.

Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2010. Caracterización Social Comunidad de Sabalito.

Taylor, C. M. and M. L. Warren. 2001. Dynamics in species composition of stream fish assemblages: environment variability and nested subset. *Ecology* 82: 2320-2330.

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME-. 2007. Producción más limpia en la minería del oro en Colombia. Mercurio, cianuro y otras sustancias. Subdirección de planeación minera.

Urrego G., L. E. 1997. Los bosques inundables del medio Caquetá. Caracterización y sucesión. En: Estudios en la amazonía colombiana, tomo XIV. Fundación Tropenbos, Colombia, Bogotá.

Vanegas V., H.A y N. E. Gil. 2012. Modelo de restauración para humedales intervenidos por minería aurífera aluvial en el Bagre – Antioquia, Colombia. Ponencia Simposio de Bosques y Minería Responsable. Jardín Botánico Medellín; 27 y 28 de agosto de 2012.