



## INFORME FINAL

**Convenio PE.GDE.1.4.8.1.18.013 (18-095 IAvH) para “Aunar esfuerzos técnicos, científicos y financieros entre CORMACARENA y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, con el fin ampliar el estudio de la oferta y demanda de servicios ecosistémicos e incorporarlo a la gestión sostenible en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta”**

### **Autores:**

Clarita Bustamante  
Jeimy Andrea García  
Laura Elena Rojas  
David Camilo Martínez  
Johan Manuel Redondo  
Olga Lucía Hernández

### **Colaboradores**

Adriana Pedroza Ramos  
William Javier Bravo Pedraza

Supervisor: Clarita Bustamante, Ciencias Sociales y Saberes de la Biodiversidad  
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt  
Bogotá, D.C., 2018



## Tabla de contenido

<b>Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>1 Documento con la valoración de la sostenibilidad a partir de los escenarios establecidos con los tomadores de decisiones a escala regional y con base en la información recolectada en campo y en los análisis previos</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Ejercicio de Campo</b>	<b>4</b>
1.1.1 Macroinvertebrados en la bioindicación de calidad de agua	4
1.1.1.1 Fase de reconocimiento	6
1.1.1.2 Estaciones de muestreo	12
1.1.1.3 Fase de laboratorio	14
1.1.1.4 Análisis de datos	14
1.1.1.4.1 Representatividad/ esfuerzo de muestreo	14
1.1.1.4.2 Composición	15
1.1.1.4.3 Abundancia	15
1.1.1.4.4 Bioindicación	15
1.1.1.5 Resultados	16
1.1.1.5.1 Representatividad/ esfuerzo de muestreo	16
1.1.1.5.2 Composición	17
1.1.1.5.3 Abundancias	19
1.1.1.5.4 Bioindicación	22
1.1.1.6 Discusión	23
1.1.1.6.1 Representatividad/ esfuerzo de muestreo	23
1.1.1.6.2 Composición: Riqueza y Abundancia	24
1.1.1.6.3 Bioindicación	24
1.1.1.7 Conclusiones	25
1.1.1.8 Recomendaciones	26
1.1.2 Plantas con mayor potencial en la fijación de carbono	26
1.1.2.1 Fase de reconocimiento del terreno y establecimiento de puntos de muestreo.	29
1.1.2.2 Muestreo	33
1.1.2.2.1 Metodología de muestreo para vegetación Arbórea	33
1.1.2.2.2 Metodología para el muestreo de vegetación herbácea	34
1.1.2.3 Fase de laboratorio	36
1.1.2.4 Fase de análisis de datos	37
1.1.2.4.1 Análisis de estructura basados en Rangel & Velásquez (1997)	37
1.1.2.4.2 Índice de predominio fisionómico (IPF)	37
1.1.2.4.3 Índices de diversidad	38
1.1.2.4.4 Análisis de acumulación de biomasa y carbono en bosque de galería y plantación forestal de caucho.	38



1.1.2.5	Resultados	39
1.1.2.5.1	Bosque secundario de galería:	39
1.1.2.5.2	Plantación forestal de Caucho	47
1.1.2.5.3	Pastizales	48
1.1.2.5.4	Cultivos de caña	52
1.1.2.6	Discusión	56
1.1.2.7	Conclusiones	59
1.1.2.8	Recomendaciones	59
1.1.3	Escarabajos coprófagos en el ciclaje de nutrientes	59
1.1.3.1	Fase de reconocimiento	61
1.1.3.2	Metodología de muestreo	63
1.1.3.3	Fase de laboratorio	64
1.1.3.4	Análisis de datos	65
1.1.3.4.1	Composición	65
1.1.3.4.2	Representatividad/ esfuerzo de muestreo	65
1.1.3.4.3	Diversidad alfa	65
1.1.3.4.4	Diversidad beta	66
1.1.3.4.5	Servicios ecosistémicos	66
1.1.3.4.6	Especies con alto valor de conservación	66
1.1.3.5	Resultados	67
1.1.3.5.1	Composición	67
1.1.3.5.2	Representatividad/ esfuerzo de muestreo	69
1.1.3.5.3	Diversidad alfa	70
1.1.3.5.4	Diversidad beta	70
1.1.3.5.5	Servicios ecosistémicos: Grupos funcionales	71
1.1.3.5.6	Especies con alto valor de conservación	72
1.1.3.6	Discusión	73
1.1.3.6.1	Composición	73
1.1.3.6.2	Representatividad/ esfuerzo de muestreo	74
1.1.3.6.3	Diversidad alfa	75
1.1.3.6.4	Diversidad Beta	75
1.1.3.6.5	Servicios ecosistémicos	76
1.1.3.7	Conclusiones	77
1.1.3.8	Recomendaciones	78
<b>1.2</b>	<b>Análisis de sostenibilidad</b>	<b>78</b>
1.2.1	Escenarios establecidos con tomadores de decisiones	78
1.2.2	Principios e Indicadores de Sostenibilidad	80
1.2.2.1	Principio Multifuncionalidad	80
1.2.2.1.1	Indicador Heterogeneidad	80
1.2.2.1.1.1	Ficha metodológica Heterogeneidad de los usos del Suelo	81
1.2.2.1.2	Indicador Apertura	82



1.2.2.1.2.1	Ficha metodológica Apertura entre las coberturas	83
1.2.2.2	Principio Productividad	84
1.2.2.2.1	Indicador Oferta de Servicios Ecosistémicos	84
1.2.2.2.1.1	Oferta hídrica: Escorrentía	84
1.2.2.2.1.2	Captura de Carbono	85
1.2.2.2.1.3	Nitrógeno Disponible	86
1.2.2.2.2	Indicador Redundancia	86
1.2.2.2.3	Indicador Eficiencia	87
1.2.2.3	Principio Bienestar (Ecosistémico para este estudio)	88
1.2.2.3.1	Indicador Probabilidad de Colapso Ecológico	88
1.2.2.3.2	Indicador Integridad Ecológica	89
1.2.3	Cálculo Índice de Sostenibilidad	90

**2 Documento con la propuesta de la estrategia de inteligencia colectiva hacia la sostenibilidad y gestión eficiente de Servicios Ecosistémicos en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta** **92**

**2.1. Principios Inteligencia colectiva** **92**

**2.2. Propuesta de Inteligencia Colectiva** **94**

2.2.1.	Inicio	94
2.2.2.	Identificación del desafío común con respecto a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos	94
2.2.3.	Identificación de roles con respecto al desafío frente a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos	95
2.2.4.	Identificación de componentes claves para la construcción del conocimiento frente al desafío	97
2.2.5.	Desarrollo del modelo mental de cambio	102
2.2.5.1.	Análisis prospectivo, desarrollo de escenarios	102
2.2.6.	Síntesis de resultados del análisis del SSE	103
2.2.6.1.	Transformación/ mantenimiento de estados deseados	103

**2.3. Resultados de la implementación de una estrategia de inteligencia colectiva** **104**

2.3.1.	Identificación del desafío común con respecto a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos	104
2.3.2.	Identificación de roles con respecto al desafío frente a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos	107
2.3.3.	Documentación salida de campo para monitoreo participativo de la biodiversidad en paisajes agropecuarios	109

**3 Documento que contenga la descripción de los indicadores a ser medidos y reportados en el tiempo, que contribuyan a la gestión eficiente en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta, así como los avances de los acuerdos de monitoreo de Servicios**



***Ecosistémicos hacia la sostenibilidad y gestión eficiente en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta, con al menos dos empresas del sector agropecuario.***

**110**

3.1. Identificación de las entradas, requerimientos de procesamiento y lectura final de los índices	111
3.2. Análisis de los índices en términos de las ventajas y desventajas desde el enfoque participativo, la facilidad de recolección de información, requerimientos de procesamiento y uso en una plataforma multiactor para la toma de decisiones	114
3.3. Contenido y los procedimientos para la realización de acuerdos de monitoreo orientados a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del Departamento del Meta	122
3.3.1. Etapas para establecer acuerdos	122
3.3.2. Propuesta de contenido de los acuerdos de monitoreo	123
3.4. Avances de los acuerdos de monitoreo de Servicios Ecosistémicos hacia la sostenibilidad y gestión eficiente en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta	125
<b>ANEXOS</b>	<b>129</b>
Anexo 1. Glosario ampliado	129
Anexo 2. Pautas de participación	132
Anexo 3. Resumen de actividades de la estrategia de inteligencia colectiva e insumos para su desarrollo	133
Anexo 4. Variables empleadas en el cálculo índice valor natural	134
Anexo 5. Variables usadas para el cálculo del índice multivariado de medios de vida MLI	135
Anexo 6. Variables usadas para el cálculo del Índice de salud de la finca	137
Anexo 7. Variables usadas para el cálculo del Índice regional de integridad ecológica RIEI	138
Anexo 8. Variables usadas para el cálculo de sostenibilidad del uso del territorio usando especies de aves	139
Anexo 9. Variables usadas para el cálculo de Índice taxonómico cruzado	140
Anexo 10. Plantilla para la toma de datos de parcelas de herbáceas (pastizales y cultivos de caña).	143
Anexo 11. Listado de familias y especies para cada uno de los levantamientos de vegetación realizados	143
Anexo 12. Listado de especies por cada transecto de bosque secundario de galería junto con los valores arrojados para acumulación de biomasa (kg) y carbono (kg/ha).	152
Anexo 13. Formato para la toma de datos en campo con trampas pitfall	155



Anexo 14. Formato para la toma de datos en campo, Componente Macroinvertebrados \_\_\_\_\_ 156

**BIBLIOGRAFÍA** \_\_\_\_\_ 157

## Índice de tablas

Tabla 1: Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo .....	12
Tabla 2 Composición taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos registrados en el caño Piedra Candela..	18
Tabla 3 Coordenadas de los puntos de muestreo donde se realizaron los levantamientos de vegetación .....	33
Tabla 4 Riqueza de familias géneros y especie para cada transecto realizado en la cobertura bosque secundario de galería .....	39
Tabla 5 Riqueza de géneros y especies por familia para los tres transectos realizados en la cobertura de bosque secundario de galería. ....	40
Tabla 6 Índices de diversidad alfa para cada uno de los transectos de bosque secundario de galería (Datos por el autor analizados con el programa Past ver 2.1) .....	43
Tabla 7. Familias con número de especies encontradas para la cobertura de pastizal .....	48
<b>Tabla 8.</b> Índices de diversidad alfa para los transectos realizados en la cobertura de pastizal.....	51
Tabla 9. Familias con número de especies encontradas en la cobertura de cultivo de caña .....	52
Tabla 10. Índices de diversidad alfa para los muestreos realizados en la cobertura vegetal de cultivo de caña de azúcar .....	55
Tabla 11 Puntos de muestreo.....	63
Tabla 12: Listado de especies colectadas y su abundancia en cada una de las coberturas vegetales en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela .....	68
Tabla 13: Estimadores de riqueza de escarabajos coprófagos para la Microcuenca Piedra Candela.....	69
Tabla 14: Abundancia relativa (%) de los grupos funcionales presentes en cada una de las coberturas de la Microcuenca Piedra Candela.....	72



Tabla 15 Valor Apertura Microcuenca Quebrada Piedracandela.....	82
Tabla 16 Matriz de valores de los indicadores de sostenibilidad .....	90
Tabla 17 Indicadores de sostenibilidad a escala de paisaje .....	91
Tabla 18. Cuadro para identificación de aspectos importantes en la sostenibilidad y gestión eficiente de Servicios Ecosistémicos .....	95
Tabla 19. Identificación de aspectos clave sobre actores que operan en el territorio .....	96
Tabla 20. Usos directos e indirectos de los recursos naturales clave suministrados por el sistema y las partes interesadas .....	98
Tabla 21. Alteraciones del sistema en la unidad de análisis y sus atributos.....	99
Tabla 22. Identificación perfil histórico del sistema entre escalas.....	100
Tabla 23. Umbrales, drivers de tipo lento transiciones.....	101
Tabla 24. Instrumento para análisis prospectivo .....	103
Tabla 25. Frases construidas con los participantes a partir de las palabras claves para la construcción del desafío común.....	106
Tabla 26. Enunciado del desafío común.....	107
Tabla 27. Roles identificados por los participantes.....	107
Tabla 28. Escala, entradas, requerimientos de procesamiento y lectura final de las propuestas de índices para medición de indicadores de sostenibilidad, .....	112
Tabla 29. Ventajas y limitaciones de los índices propuestos.....	114
Tabla 30. Índices propuestos y su relación con los principios e indicadores de integridad y el desafío común.....	118
Tabla 31. Información disponible y vinculación al índice de salud de finca (Quinn et al., 2013).....	121

## Índice de Figuras

<i>Figura 1 Ubicación Macroinvertebrados en la fuente de agua - Fuente: Álvarez Arango (2005) .....</i>	<i>5</i>
---	----------



Figura 2 Ubicación los puntos de muestreo seleccionados según los cambios en la cobertura de vegetación circundante a la ribera (bosque de galería).....	6
Figura 3 Punto de muestreo con influencia de pastizal activo.....	7
Figura 4 Punto de muestreo con influencia de pastizal .....	8
Figura 5 Farlowella asociado al microhábitat hojarasca .....	8
Figura 6 Punto de muestreo con influencia de plantación de caucho senescente.....	9
Figura 7 Punto de muestreo con mayor cobertura de bosque de galería. ....	10
Figura 8 Punto de muestreo con influencia de Cultivo de Caucho sembrado en el 2008 .....	11
Figura 9 Punto de muestreo con influencia de Cultivo de Caucho sembrado en el 2011 .....	12
Figura 10 Colecta de macroinvertebrados acuáticos en el caño Piedra Candela.....	13
Figura 11 Taller participativo de reconocimiento de técnicas de colecta de macroinvertebrados con la comunidad .....	13
Figura 12 Identificación del material colectado .....	14
Figura 13 Resumen metodológico.....	16
Figura 14 Curva de acumulación general de Macroinvertebrados acuáticos registrados para los seis puntos de muestreo de la Quebrada Piedra Candela. ....	17
Figura 15 Abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos en los seis puntos de muestreo .....	19
Figura 16 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 1 asociado a pastizal activo. ....	20
Figura 17 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 2 asociado con pastizal limpio.....	20
Figura 18 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 3 asociado con Caucho -1997.....	21



Figura 19 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 4 con mayor influencia de bosque de galería.....	21
Figura 20 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 5 asociado con Caucho -2008.....	22
Figura 21 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 6 asociado con Caucho -2011.....	22
Figura 22 BMWP-Col para los puntos de muestreo el caño Piedra Candela .....	23
Figura 23 Polígono de área de estudio, junto con los puntos de muestreo realizados. (Imagen tomada y modificada de Google Earth Pro 2018) .....	28
Figura 24 Vista general de los bosques de galería muestreados en la vereda Remolino, en predios de la plantación Mavalle. ....	29
Figura 25 Vista general de las plantaciones de caucho en diferentes etapas de desarrollo. (Fotografías tomadas por el autor).....	30
Figura 26. Vista general de los terrenos dedicados a cultivos de caña. ....	31
Figura 27 Vista general de zonas de pastizales activos de ganadería y con diez años de abandono. ....	32
Figura 28 Esquema general de la metodología propuesta por Gentry 1982. (Figura realizada por el autor basado en Gentry 1982).....	34
Figura 29 Esquema general de cada transecto de vegetación herbácea. Se muestra en los círculos rojos el orden sugerido para la realización del muestreo. (Figura realizada por el autor basada en Matteucci & Colma (1982)).	35
Figura 31 Ecuaciones 11 y 13 las cuales fueron utilizadas para la estimación de biomasa aérea en las coberturas de bosque secundario de galería y plantación forestal de caucho. (Tomado de Yepes et al 2011) .....	39
Figura 32 IPF para el transecto 1 de bosque secundario de galería.....	40
Figura 33 IPF para el transecto 2 realizado en bosque secundario de galería. ....	41
Figura 34 IPF para el transecto tres realizado en bosque secundario de galería.....	42
Figura 35 Curva de acumulación de especies para los muestreos realizados en la cobertura bosque secundario de galería. (Datos por el autor graficados en el programa Statistics ver 9.1). ....	43



Figura 36 Índice de similaridad de Jaccard para los transectos realizados en la cobertura de bosque secundario de galería..... 44

Figura 37 acumulación de biomasa aérea (Kg) y carbono (Kg/ha). Para las especies encontradas en el transecto 1 de bosque secundario de galería..... 45

Figura 38 acumulación de biomasa aérea (Kg) y carbono (Kg/ha). Para las especies encontradas en el transecto 2 de bosque secundario de galería..... 46

Figura 39 acumulación de biomasa aérea (Kg) y carbono (Kg/ha). Para las especies encontradas en el transecto 3 de bosque secundario de galería..... 46

Figura 40 Biomasa total en Kg y Carbono total en Kg/ha para tres edades diferentes de siembra de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg..... 47

Figura 41 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto uno de pastizal. .... 48

Figura 42 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto dos de pastizal..... 49

Figura 43 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto tres de pastizal. .... 50

Figura 44 Curva de acumulación de especies para la cobertura de pastizal..... 50

Figura 45 Índice de similaridad de jaccard para los transectos realizados en la cobertura de pastizales. .... 51

Figura 46 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto uno de cultivo de caña. .... 53

Figura 47. Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto dos de cultivo de caña..... 53

Figura 48. Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto tres de cultivo de caña. .... 54

Figura 49. Curva de acumulación de especies para los transectos realizados en la cobertura de caña..... 54

Figura 50 Índice de similaridad de jaccard para los transectos realizados en la cobertura de cultivo de caña..... 56

Figura 51 Ubicación de las coberturas de muestreo en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela ..... 62

Figura 52 Coberturas muestreadas en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela. A) Pastizal B) Plantación de caña. C) Bosque de Galería. D) Cultivo de caucho-1997. E) Cultivo de caucho-2008. F) Cultivo de caucho-2011 ..... 62



Figura 53 Metodología Trampas pitfall o de caída. A) Montaje de trampas. B) Montaje del cebo. C) Trampa pitfall. D) Escarabajos capturados en la trampa.....	64
Figura 54 Curva de acumulación de especies para escarabajos coprófagos en la Microcuenca de la quebrada Piedra Candela.....	69
Figura 55 Diversidad Alfa para los ecosistemas presentes en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela ....	70
Figura 56 Diversidad beta. Cluster de similaridad basado en índice de Jaccard para las coberturas vegetales presentes en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela. BG: Bosque de Galería. CC: Cultivo de caña. PA: Pastizal. C1997: Cultivo de caucho-1997. C2008: Cultivo de caucho-2008. C2011: Cultivo de caucho-2011 .....	71
Figura 57 Grupos funcionales de escarabajos coprófagos en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela.....	72
Figura 58 Principios e Indicadores de Sostenibilidad Fuente: Bustamante C. 2018 .....	79
Figura 59 Coberturas Microcuenca Quebrada Piedracandela .....	80
Figura 60 Mapa Apertuta Microcuenca Piedracandela.....	84
Figura 61 Oferta Hídrica – Escorrentía Microcuenca Quebrada Piedracandela.....	85
Figura 62 Captura de Carbono Microcuenca Quebrada Piedracandela.....	85
Figura 63 Nitrógeno Disponible Microcuenca Quebrada Piedracandela .....	86
Figura 64 Redundancia Microcuenca Quebrada Piedracandela .....	87
Figura 65 Biomasa Microcuenca Quebrada Piedracandela.....	87
Figura 66 Probabilidad de Colapso Ecológico Microcuenca Quebrada Piedracandela .....	88
Figura 67 Integridad Ecológica .....	89
Figura 68 Valor de los indicadores por principio de sostenibilidad .....	90
Figura 69 Mapa Análisis de Sostenibilidad .....	91
Figura 70. Múltiples umbrales que interactúan entre escalas y dominios .....	101
Figura 71. Integración del desafío común en la gestión empresarial agropecuaria .....	108



Figura 72. Necesidades identificadas para la valoración de la sostenibilidad con los tomadores de decisiones a escala regional.....	119
Figura 73. Ejercicio de monitoreo de biodiversidad.....	126
Figura 74. Espacios de construcción colectiva de desafío hacia la sostenibilidad .....	128
Figura 75. Ejes conceptuales de la resiliencia socioecológica .....	129



## Antecedentes

CORMACARENA y el Instituto Humboldt han trabajado de manera conjunta desde 2012, aunando esfuerzos para avanzar hacia la construcción y consolidación tanto de una estrategia, como de un equipo interinstitucional e interdisciplinario para la gestión de los Servicios Ecosistémicos en paisajes agropecuarios, en el marco del proyecto "Caracterización, valoración y análisis de las relaciones de oferta y demanda de servicios ecosistémicos como indicadores de sostenibilidad en paisajes agropecuarios de la Altillanura colombiana". De acuerdo a lo anterior, durante el año 2013 se suscribió el convenio interadministrativo No PE.GDE.1.4.8.1.13.015 del 2013, entre la Corporación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (INSTITUTO HUMBOLDT), cuyo objeto fue "Aunar esfuerzos entre las entidades cooperantes (IAVH y CORMACARENA) para avanzar en la gestión y desarrollo del proyecto: Caracterización y Valoración de los Servicios Ecosistémicos como Indicadores de Sostenibilidad en Paisajes Agropecuarios de la Altillanura Colombiana"

En la Fase I de dicho convenio se establecieron aspectos conceptuales y metodológicos como entidad de investigación en recursos biológicos cumple con las funciones asignadas convenio No. 16-142 (005), suscrito entre el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y, tiene como objeto "Aunar esfuerzos técnicos, científicos y financieros entre el CORMACARENA y el Instituto Humboldt con el fin de realizar un ejercicio de modelado sistémico de la oferta y demanda de tres servicios ecosistémicos en paisajes agropecuarios en dos unidades de análisis de la altillanura del Departamento del Meta".

A partir de los resultados de la mencionada fase, se identificó la necesidad de complementar esta aproximación metodológica mediante una validación en campo de los indicadores y variables propuestos, analizados mediante un modelo de tendencias de cambio de la oferta y la demanda de estos, por lo que se estableció el compromiso de formular e implementar una fase II con ese propósito.

En el año 2014 se suscribió el Convenio Interadministrativo No. PE.GDE.1.4.7.1.14.004 (14-034 INSTITUTO HUMBOLDT), entre CORMACARENA y el Instituto Humboldt, con el fin de llevar a cabo la Fase II, en la cual se realizaron actividades relacionadas con la caracterización y análisis de las relaciones oferta y demanda de los servicios ecosistémicos como indicadores de sostenibilidad en dos paisajes de la Altillanura Colombiana. Durante esta fase se evidenció un modelo holístico y dinámico que permita establecer estas variaciones en el marco de diferentes escenarios espaciales y temporales.

En ese contexto se dio la necesidad de desarrollar el diseño y validación de un modelo que permita comprender y proyectar, el comportamiento del sistema en relación con el balance de oferta y demanda de servicios ecosistémicos, ante lo cual se llevó a cabo en el año 2015 la fase III de dicho proyecto mediante el convenio No. PE.GDE.1.4.7.1.15.016 suscrito entre las mismas instituciones, por medio de este se desarrolló la propuesta de un modelo sistémico, para analizar las funciones de los ecosistemas presentes en los paisajes agropecuarios y sus variaciones en relación con la demanda de servicios ecosistémicos por parte de los agroecosistemas. Es necesario precisar que, como resultado de este proceso, además de los desarrollos conceptuales, metodológicos



e instrumentales logrados, se ha ido consolidando una importante red de trabajo interinstitucional que además de CORMACARENA y el INSTITUTO HUMBOLDT ha contado con el muy importante apoyo técnico y científico de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

A través de esta red de trabajo, se ha buscado no solo compilar y poner a dialogar información institucional en función de una pregunta en común, sino aumentar el potencial de incidencia de estos resultados en la toma de decisiones; por lo tanto al propiciar el intercambio de información y el apoyo técnico y científico a través de un convenio entre CORMACARENA y el INSTITUTO HUMBOLDT se contribuye a la generación de información, a partir de la evidencia disponible, el análisis racional de las investigaciones y la evidencia sistémica; razón por la cual en el año 2016 se realizó la implementación de la IV fase del proyecto, que tuvo por objeto, llevar a cabo el modelado sistémico de la oferta y demanda de tres servicios ecosistémicos en paisajes agropecuarios, en dos unidades de análisis de la Altillanura del departamento del Meta.

Es así que producto de la consolidación de la importante red de trabajo interinstitucional que además de CORMACARENA y el Instituto Humboldt, se contó con la participación de CORPOICA y la Universidad EAFIT, se logró llevar a cabo el ejercicio de modelado sistémico teniendo en cuenta el diseño propuesto en las fases anteriores a partir de la selección de las unidades de análisis y del compendio de la información necesaria recopilada en las instituciones socias, que permitió interrelacionar las variables y componentes de la oferta y demanda de tres Servicios Ecosistémicos (captura de carbono, disponibilidad de agua y nutrientes-nitrógeno) en paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta.

Como resultado de este proceso, además de los desarrollos conceptuales, metodológicos e instrumentales logrados, se hizo manifiesta la necesidad de ampliar el análisis a escenarios concretos a través de ejercicios espaciales de modelado sistémico. En ese sentido, lo que se busca ahora es avanzar hacia la realización de un ejercicio de modelado que provea la base para el análisis de sostenibilidad, estados estables y umbrales respecto al estado de los servicios ecosistémicos de fijación de carbono, provisión de agua y ciclaje de nutrientes en la Altillanura plana del departamento del Meta.

Con el fin de ampliar el estudio de la oferta y demanda de servicios ecosistémicos e incorporarlo a la gestión sostenible en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta, se requería llevar a cabo un ejercicio de campo para identificar de manera participativa las especies presentes relacionadas con la prestación de los Servicios Ecosistémicos de provisión de agua, ciclaje de nutrientes y fijación de carbono en una de las unidades de análisis definidas en el convenio PE.GDE.1.4.7.1.16 (16-142 Instituto Humboldt) [Cuenca Piedra Candela, en el municipio de Puerto López] y avanzar en la construcción conjunta de la estrategia de inteligencia colectiva para la gestión eficiente de Servicios Ecosistémicos hacia las transiciones de la sostenibilidad en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta.

Para esto, se realizaron las siguientes actividades:



- a) Una reunión de articulación y concertación de objetivos y metas interinstitucionales “Frente al Cambio Climático”, con relación al servicio ecosistémico de fijación de carbono.
- b) Un taller de sobre:
  - Socialización del contexto del proyecto
  - Socialización de la Metodología Inteligencia Colectiva
  - Ejercicio de identificación de desafíos comunes
  - Socialización de los métodos de muestreo de los organismos indicadores de los Servicios Ecosistémicos de calidad de agua, ciclaje de nutrientes y fijación de carbono, para los actores institucionales y locales de la microcuenca Piedra Candela (Puerto López)
- c) Un ejercicio de campo, el cual incluyó una fase de reconocimiento, una fase de muestreo y una fase de análisis de laboratorio y estadístico.
- d) Una salida de campo para visitar los sitios específicos de muestreo, montaje de trampas y recolección de muestras con los actores locales de la microcuenca Piedra Candela.



## 1 Documento con la valoración de la sostenibilidad a partir de los escenarios establecidos con los tomadores de decisiones a escala regional y con base en la información recolectada en campo y en los análisis previos

### 1.1 Ejercicio de Campo

El ejercicio de campo tenía como objetivo identificar, de manera participativa, las especies presentes relacionadas con la prestación de los Servicios Ecosistémicos de provisión de agua, ciclaje de nutrientes y fijación de carbono en la quebrada Piedra Candela, como unidad de análisis.

Este ejercicio incluyó tres fases: a) Fase de reconocimiento, b) Fase de muestreo, cuyo esfuerzo se determinó, para cada grupo taxonómico (macroinvertebrados, plantas y coleópteros) de acuerdo con las coberturas y vegetación presentes y la influencia que estas, de manera diferenciada, podrían tener sobre la composición de la comunidad estudiada y c) Fase de análisis de laboratorio y estadístico.

#### 1.1.1 Macroinvertebrados en la bioindicación de calidad de agua

Los ríos y las quebradas representan tan solo el 0.1% de la superficie terrestre, junto con la cuenca de drenaje son fundamentales para el mantenimiento de la integridad de muchas funciones ecosistémicas, a pesar de su baja representatividad. Estos sistemas se caracterizan por tener un flujo unidireccional a través de una pendiente en respuesta a la gravedad, razón por la que son llamados sistemas lóticos o de agua corriente, estas características facilitan la renovación de nutrientes y a la vez imponen fuertes restricciones a los organismos, constituyendo ecosistemas altamente dinámicos y complejos, que combinado con su capacidad de conectividad entre la atmósfera, la tierra y el mar, pueden ser considerados como los auténticos riñones del planeta (Elosegi & Sabater, 2009; Wetzel, 2001).

En el Neotrópico se conoce una gran diversidad de ecosistemas hídricos asociados con un gran número de grupos taxonómicos que conforman redes altamente conectadas y especializadas. La región del Orinoco no es la excepción, esta se caracteriza por ser altamente diversa y por presentar una elevada oferta hídrica, que incluye sabanas inundables, arroyos, morichales, lagunas, caños y bosques de inundación (Moreno Rodríguez, Caro Caro, Pinilla, & Osorio, 2017). Los caños y los arroyos de llanura por lo general presentan un cauce de escasa pendiente, fondo de limo o fangoso, escasa corriente y casi siempre llevan agua de elevada turbiedad, estos pueden ser semipermanentes o temporales (Ringuelet, 1962).

En estos sistemas podemos encontrar una gran diversidad de organismos que incluyen: bacterias, hongos, algas, macrófitos, peces e invertebrados, estos últimos se han separado tradicionalmente por su tamaño en dos grupos la meiofauna y los macroinvertebrados, la meiofauna es un componente no muy conocido que incluye grupos como pequeños crustáceos, rotíferos y tardígrados. Por otro lado, la comunidad de macroinvertebrados acuáticos constituye uno de los grupos más diversos y quizás mejor estudiados para algunas regiones (Elosegi &



Sabater, 2009). El desarrollo y establecimiento de esta comunidad se encuentra fuertemente asociado con el tipo de sustrato; para sustratos blandos, como arenas, fango y materiales granulares sueltos, localizados en las partes bajas, la fauna tiende a ser pobre dada la inestabilidad del sustrato y los organismos que allí habitan están adaptados a enterrarse (Ramírez & Viña, 1998).

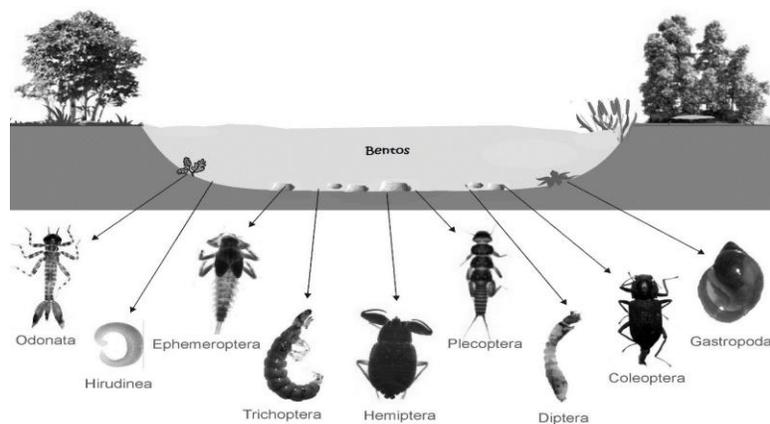
Estos organismos constituyen un componente fundamental dentro de los sistemas acuáticos; energéticamente corresponden al principal consumidor de materia orgánica, generando flujos de materia y energía a lo largo de las cadenas tróficas y así mismo controlan la productividad de los ecosistemas acuáticos (Elosegi & Sabater, 2009; Springer, Ramírez, & Hanson, 2010); además se caracterizan por presentar una alta riqueza, con alta distribución, naturaleza sedentaria que facilita análisis espaciales, largos ciclos de vida para algunas especies y gran cantidad de organismos sensibles, lo cual los convierte en buenos indicadores de calidad de agua, dado que su presencia, ausencia o comportamiento, refleja el efecto de estresores y disturbios sobre el sistema (Bonada, Prat, Resh, & Statzner, 2006).

### ¿Por qué son importantes?

- Pertenecen a un sistema funcional, en el cual hay un intercambio cíclico de materia y energía entre los organismos vivos y el ambiente abiótico.
- Participan en la transferencia de energía, sirven como alimento para especies superiores como aves y peces y ayudan en los procesos de degradación de materia orgánica.
- Son considerados los mejores indicadores de calidad del agua dado que: son abundantes, tienen amplia distribución, son fáciles de recolectar, son sedentarios en su mayoría, representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo, poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses), se reconocen a simple vista y responden rápidamente a los tensores ambientales.

### ¿Dónde se pueden encontrar?

Figura 1 Ubicación Macroinvertebrados en la fuente de agua - Fuente: Álvarez Arango (2005)



### 1.1.1.1 Fase de reconocimiento

Todos los puntos seleccionados presentan, en su vegetación de ribera, componentes característicos de bosque de galería; sin embargo, las coberturas de vegetación circundantes a la ribera presentan cambios importantes, que podrían tener influencia sobre la composición de la comunidad de macroinvertebrados. Teniendo en cuenta estos cambios, se establecieron los puntos de muestreo así:

Figura 2 Ubicación los puntos de muestreo seleccionados según los cambios en la cobertura de vegetación circundante a la ribera (bosque de galería).



- **Punto 1- Pastizal activo**

La vegetación de influencia directa sobre este punto se encuentra dominada por el estrato arbóreo, con presencia de familias como Clusiaceae, Rubiaceae, Bignoniaceae y Annonaceae. El lecho del cauce se caracterizó por presentar un sustrato de limo (<6  $\mu$ m) con un porcentaje de ocupación abundante, es decir que ocupa entre el 30 – 70% del tramo, también fueron abundantes las partes vivas de vegetación, la materia orgánica particulada gruesa (MOPG >1mm) y material flotante como detritus y cúmulos de hojarasca.

El tramo posee baja pendiente, un ancho aproximado de 6m, con cobertura de sombra alta del 60% sobre el lecho, la vegetación de influencia corresponde al estrato arbóreo. El agua presentó un pH de 6.5 y una temperatura de 26.9 °C y agua altamente turbia. En este punto se reconoce la existencia de un punto de captación de agua, utilizada principalmente para abastecimiento del ganado.



Figura 3 Punto de muestreo con influencia de pastizal activo.



- **Punto 2 – Pastizal**

El punto de muestreo seleccionado se caracterizó por presentar una vegetación de ribera con familias como Melastomataceae, Sapindaceae y Cyclanthaceae. El lecho del cauce se caracterizó por presentar un sustrato arenoso (0.0006 a 0.2 mm) y de limo (<6  $\mu$ m), con un porcentaje de ocupación del tramo considerado como abundante, también fueron abundantes las partes vivas de vegetación y materia orgánica particulada gruesa (MOPG >1mm), con grandes cúmulos de hojarasca, donde se reporta la presencia de *Farlowella* característico de este tipo de microhábitats.

El tramo posee baja pendiente, un ancho aproximado de 3m, con cobertura de sombra moderada, la vegetación de influencia corresponde al estrato herbáceo. El agua presentó un pH de 7.2 y una temperatura de 20.9 °C. Este punto se encuentra próximo a un puente vehicular.



*Figura 4 Punto de muestreo con influencia de pastizal*



Figura 5 Farlowella asociado al microhábitat hojarasca



- **Punto 3 – Cultivo de Caucho 1997**

En este punto domina el estrato arbóreo, con presencia de familias como Fabaceae, Rubiaceae, Sapindaceae, abundante presencia de Arecaceae, Melastomataceae y Moraceae.

El lecho del cauce se caracterizó por presentar un sustrato de limo (<6  $\mu\text{m}$ ) con un porcentaje de ocupación del tramo considerado como abundante, es decir que ocupan entre el 30 – 70%, seguido por un estrato arenoso (0.0006 a 0.2 mm) común (5-30%), fueron abundantes las partes vivas de vegetación, la materia orgánica particulada gruesa (MOPG >1mm) y material flotante como detritus y cúmulos de hojarasca.

El tramo posee baja pendiente, un ancho aproximado de 5m, con cobertura de sombra alta, la vegetación de influencia corresponde al estrato arbóreo. El agua presentó un pH de 6.7 y una temperatura de 27.4 °C.

Figura 6 Punto de muestreo con influencia de plantación de caucho senescente



- **Punto 4- Bosque de Galería**

En este punto domina el estrato arbóreo, con presencia de familias como Sapindaceae, Arecaceae, Melastomataceae, Cyclanthaceae y Burseraceae.

El lecho del cauce se caracterizó por presentar un sustrato arenoso (0.0006 a 0.2 mm) y de limo (<6  $\mu\text{m}$ ) abundante, también fueron comunes las partes vivas de vegetación (presencia de raíces de árboles al interior del lecho) y la materia orgánica particulada gruesa (MOPG >1mm).



El tramo posee baja pendiente, un ancho aproximado de 4m, con cobertura de sombra alta del 80% sobre el lecho, la vegetación de influencia corresponde al estrato arbóreo. El agua presentó un pH de 7.08 y una temperatura de 26.3 °C.

*Figura 7 Punto de muestreo con mayor cobertura de bosque de galería.*



- **Punto 5. Cultivo de Caucho 2008**

El punto de muestreo seleccionado se observa presencia de vegetación secundaria con familias como Rubiaceae, Arecaceae, Fabaceae y de hierbas como Cyperaceae y Araceae.

El lecho del cauce se caracterizó por presentar un sustrato arenoso (0.0006 a 0.2 mm) con un porcentaje de ocupación del tramo considerado como abundante, también fueron abundantes la MOPG y las masas flotantes, constituidas principalmente de hojarasca y material vegetal muerto.

El tramo posee baja pendiente, un ancho aproximado de 3m, con cobertura de sombra moderada, la vegetación de influencia corresponde al estrato arbóreo. El agua presentó un pH de 7.07 y una temperatura de 27 °C.



*Figura 8 Punto de muestreo con influencia de Cultivo de Caucho sembrado en el 2008*



- **Punto 6 – Cultivo de Caucho 2011**

En este punto de muestreo el estrato dominante fue el arbóreo, presencia de plantas con altura >15m, con densa vegetación riparia representada por familias como Melastomataceae, Annonaceae, Arecaceae, Moraceae, Rubiaceae. Asociadas a este estrato, se observó presencia de mono maicero.

El lecho del cauce se caracterizó por presentar un sustrato arenoso (0.0006 a 0.2 mm) con un porcentaje de ocupación del tramo abundante, fueron comunes las partes vivas de vegetación, la MOPG y la materia orgánica particulada fina (MOPF <1mm).

El tramo posee baja pendiente, un ancho aproximado de 2.5m, con cobertura de sombra alta (90%), la vegetación de influencia corresponde al estrato arbóreo. El agua presentó un pH de 7.08 y una temperatura de 27.5 °C, agua con alta transparencia con relación a los demás puntos.



Figura 9 Punto de muestreo con influencia de Cultivo de Caucho sembrado en el 2011



Tabla 1: Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo

PUNTO	COBERTURA DE INFLUENCIA	SIGLA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
Punto 1	Pastizal limpio	PL	04°16'33.5"	72°33'18.6"	169
Punto 2	Cultivo de caucho 1997	C97	04°15'0.33"	72°33'18.8"	184
Punto 3	Bosque de galería	BG	04°13'37.03"	72°34'5.72"	209
Punto 4	Pastizal activo	PA	04°17'37.1"	72°34'04.0"	167
Punto 5	Cultivo de caucho 2011	C11	04°12'22.0"	72°34'53.2"	234
Punto 6	Cultivo de caucho 2008	C08	04°12'40.0"	72°34'09.7"	119

#### 1.1.1.2 Estaciones de muestreo

Las estaciones de muestreo se seleccionaron teniendo en cuenta los cambios en los tipos de vegetación circundante al lecho del caño, en donde por lo menos se incluyó una muestra por cada tipo (Herbazal, mosaico de pastos y plantación de caucho).

En cada estación se tomaron muestras a lo largo de un tramo de 50m, se exploraron diferentes microhábitats, tomando una muestra integrada en los hábitats más representativos con el fin de obtener una mayor representatividad de la comunidad (Barbour, 1998; Elozegi & Sabater, 2009), los datos se reportaron en el



formato de campo. En este método, los hábitats se definen en función de los tipos y tamaño del sustrato. Las muestras se toman utilizando una red tipo D con un marco estándar de 20-\*28 cm y una malla con apertura de poro de 300 µm, como se observa en la Figura 10. Las muestras se depositaron en frascos plásticos herméticos y se fijaron en alcohol al 96%. Adicionalmente se tomaron muestras directas con ayuda de pinzas entomológicas. Para la separación y limpieza del material colectado, las muestras se juagaron y limpiaron cuidadosamente en un tamiz de 300 µm, con el fin de eliminar el material orgánico grande.

Por último, se realizó un taller participativo con la comunidad del área de estudio, donde se mostraron las técnicas de colecta y se realizó un ejercicio de reconocimiento de los principales grupos de macroinvertebrados acuáticos que se pueden encontrar, como se observa en la figura 11.

*Figura 10 Colecta de macroinvertebrados acuáticos en el caño Piedra Candela*



*Figura 11 Taller participativo de reconocimiento de técnicas de colecta de macroinvertebrados con la comunidad*



### 1.1.1.3 Fase de laboratorio

La fase de identificación taxonómica de los organismos encontrados, se realizó a nivel de género y/o morfotipo utilizando estereoscopio óptico (Stemi 305) y microscopio óptico (Nikon YS100) ver figura 11, siguiendo las claves taxonómicas y bibliografía especializada para cada grupo de organismos como: (Domínguez & Fernández, 2009; Merritt, Cummins, & Berg, 2008b; Pennak, 1989; Springer et al., 2010). Simultáneamente se realizó el conteo del total de los organismos colectados en cada muestra. Para los análisis de indicación la información se trabajó a nivel de familia, considerado como apropiado para la aplicación de índices de calidad de agua. Posteriormente los organismos serán depositados en viales de vidrio debidamente rotulados y conservados con alcohol al 70%, estos serán depositados en la colección del Instituto Humboldt.

14

Figura 12 Identificación del material colectado



### 1.1.1.4 Análisis de datos

La selección de los puntos de muestreo se estableció con base en los cambios en la cobertura de la vegetación que influencia directa e indirectamente el lecho de la quebrada.

#### 1.1.1.4.1 Representatividad/ esfuerzo de muestreo

Para determinar la representatividad del muestreo, se calcularon los estimadores de diversidad no paramétricos Chao 1, el cual es bastante riguroso y se utiliza con datos de abundancias (M. Álvarez et al., 2006) y el bootstrap



el cual se puede utilizar tanto para datos cuantitativos como cualitativos y tiene como ventaja que no es influenciado por especies raras. Para el cálculo fue utilizado el programa EstimateS versión 9.1.0.

#### 1.1.1.4.2 *Composición*

Se realizó el listado del total de taxones identificados para el caño Piedra Candela, siguiendo el orden sistemático propuesto por Brusca & Brusca (2003), adicionalmente se presenta la información de presencia/ausencia de taxones para cada uno de los puntos de muestreo.

#### 1.1.1.4.3 *Abundancia*

La abundancia relativa se cuantificó como el número de individuos de cada taxón dividido en el número total multiplicado por cien. Esto significa que la abundancia de todas las especies en conjunto se designa como 1.0 o 100% y que la abundancia relativa de las especies de cada uno se administra como una proporción o porcentaje del total (Magurran, 2004).

Teniendo en cuenta los valores de abundancia se realizó un análisis de conglomerados o clúster, para establecer la homogeneidad y/o diferencia entre los puntos de muestreo, este análisis se desarrolló en el programa Past 3.20 (software libre), utilizando la similitud de Bray-Curtis.

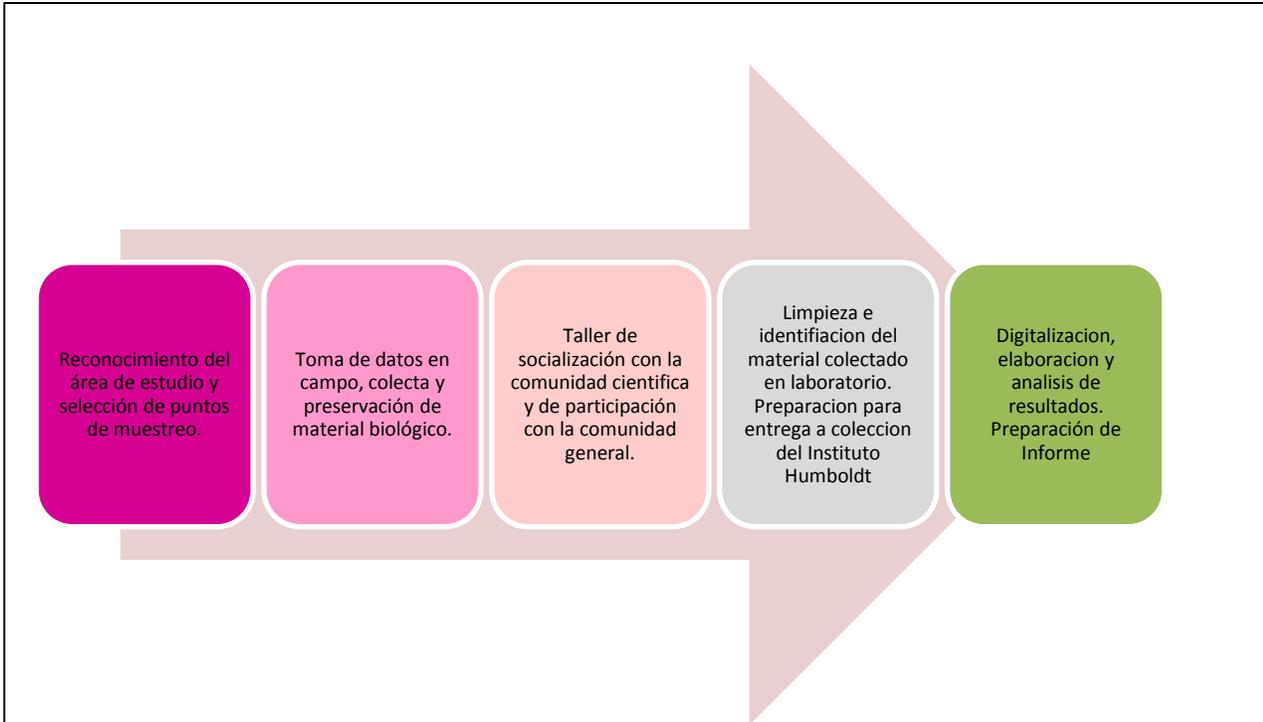
#### 1.1.1.4.4 *Bioindicación*

Se calculó el índice Biological monitoring working party adaptado para Colombia (BMWP-Col) por (Róldan, 2003), el cual ha sido estandarizado para la evaluación de la calidad de agua en corrientes hídricas de bajo y mediano orden (Roldán et al., 2014), este índice utiliza información cualitativa de la comunidad de macroinvertebrados, es decir, presencia/ausencia. Se seleccionó por ser un índice pionero de indicación para Colombia, el cual ha sido ampliamente utilizado a nivel nacional.

Por último, en la Figura 13, se presenta una síntesis del desarrollo metodológico que se siguió para el desarrollo del componente de macroinvertebrados acuáticos.



Figura 13 Resumen metodológico



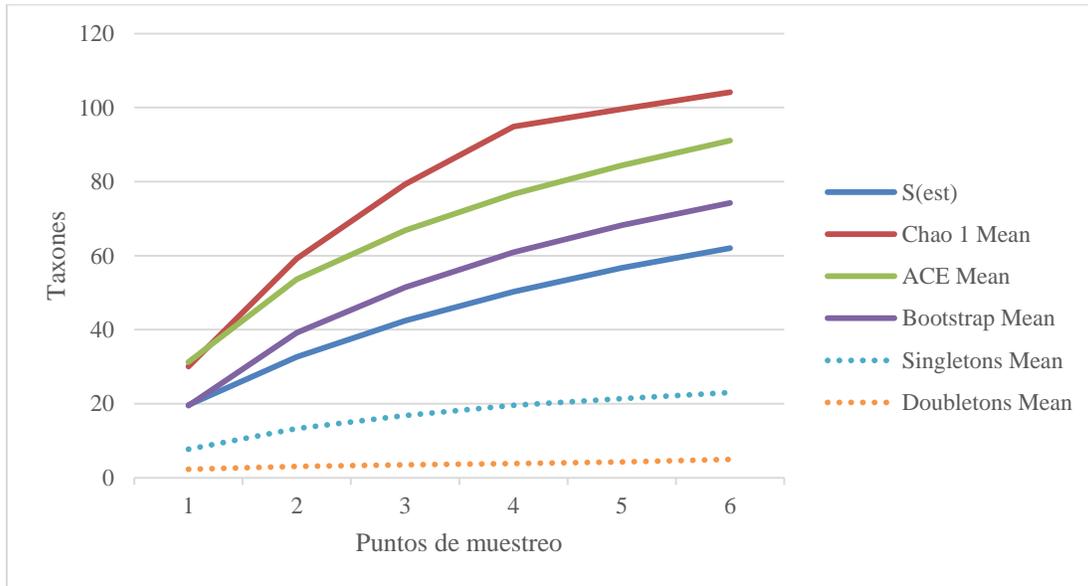
### 1.1.1.5 Resultados

#### 1.1.1.5.1 Representatividad/ esfuerzo de muestreo

Utilizando los datos obtenidos se realizó el análisis en el software EstimateS versión 9.1.0. Se seleccionó el estimador no paramétrico Chao de primer orden (Chao1) debido a la baja heterogeneidad de la vegetación de ribera que incide directamente sobre el lecho y porque los puntos de muestreo seleccionados corresponden al mismo sistema. Se puede observar en la curva S(est) el número de taxones (62) registrados para los seis puntos de muestreo, que corresponden al 68% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y al 59.5% para el estimador Chao1, mientras que según el método de bootstrap (submuestras seleccionadas al azar) la representatividad del muestreo es de 83.5%. Nos indica que la representatividad del muestreo no es suficiente y estos resultados están probablemente influenciados por especies exclusivas asociadas a cada uno de los puntos de muestreo, es por esto que el valor de bootstrap nos muestra una representatividad mayor.



Figura 14 Curva de acumulación general de Macroinvertebrados acuáticos registrados para los seis puntos de muestreo de la Quebrada Piedra Candela.



#### 1.1.1.5.2 Composición

Con relación a la composición taxonómica se reportan un total de 62 taxones distribuidos en tres Filo, cinco clases, 13 órdenes y 33 familias, como se observa en la Tabla 2. Los grupos que presentaron mayor diversificación fueron los dípteros, dentro de los cuales la tribu Tanitarsinii fue común en todos los puntos de muestreo, los tricópteros también presentan alta riqueza principalmente con géneros de la familia Hydropsychidae. Por otro lado, familias como Dugesiidae y Glossiphoniidae fueron poco frecuentes.



Tabla 2 Composición taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos registrados en el caño Piedra Candela.

Filo	Clase	Orden	Familia	Taxón	P1	P2	P3	P4	P5	P6		
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesidae	<i>Girardia</i>						*		
Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Naididae	sp 1.	*				*			
		Lumbriculida	Lumbriculidae	sp 1.	*					*		
		Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>							*	
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda		sp 1.		*						
		Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>		*	*			*		
	Arachnida			Acari		*						
	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae		sp 1.		*	*	*	*	*	
					cf. <i>Tomedontus</i>		*					
					<i>Baetodes</i>	*					*	
					<i>Camelobaetidius</i>		*			*		
			Leptohiphidae		sp 1.				*	*		*
					sp 2.				*	*		
			Leptophlebiidae		sp 1.	*	*	*				
					sp 2.					*		
					sp 3.					*		
			Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>		*	*				
		Coenagrionidae		sp 1.						*		
		Gomphidae		<i>Agriogomphus</i>				*				
				<i>Progomphus</i>							*	
		Libellulidae		sp 1.						*		
		Megapodagrionidae	<i>Macrothemis</i>			*						
			<i>Heteragrion</i>			*						
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>		*	*	*	*			
		Hemiptera	Belostomatidae	sp 1.					*			
				Gerridae	sp 1.		*	*				
			sp 2.						*			
		Veliidae	<i>Rhagovelia</i>						*			
			Elmidae	sp 1.					*		*	*
			<i>Heterelmis</i>						*	*		*
		Staphylinidae	sp 1.									*
			Scirtidae	<i>Scirtes</i>		*						
			sp 1.			*			*			
		Diptera	Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i>			*			*	*	
				<i>Forcipomyia</i>			*					
				<i>Leptoconops</i>						*		
			sp 1.							*		
	Chironomidae		Chironomini sp 1.	*	*		*	*	*	*	*	
			Orthoclaadiinae sp 1.		*							
			Tanypodinae sp 1.		*	*	*	*	*	*	*	
			Tanytarsinii sp 1.	*	*	*	*	*	*	*	*	
			Tanytarsinii sp 2.	*							*	
			Tanytarsinii sp 3.	*							*	
			Tanytarsinii sp 4.	*						*		
	Psychodidae		<i>Maruina</i>						*			
	Simuliidae		sp 1.		*			*	*	*		
	Tabanidae		sp 1.								*	
	Tipulidae		sp 1.						*	*		
			<i>Hexatoma</i>								*	
	Trichoptera		Helicopsychidae	sp 1.							*	
		Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>			*				*		
		Hydropsychidae	sp 1.					*	*			
			<i>Leptonema</i>	*	*	*						
	<i>Macronema</i>			*								



Filo	Clase	Orden	Familia	Taxón	P1	P2	P3	P4	P5	P6
				<i>Smicridea</i>			*		*	
			Hydroptilidae	<i>Celaenotrichia</i>		*				
				<i>Metrichia</i>	*					*
				sp 1.		*	*			
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>		*	*	*		*
			Odontoceridae	sp 1.			*			
				<i>Marilia</i>				*		
			Polycentropodidae	sp 1.						*
RIQUEZA					13	27	23	20	19	17

\*P1: Punto 1 – asociado a pastizal activo P2: Punto 2- pastizal limpio, P3: Punto 3 – Caucho 1997, P4: Punto 4- bosque de galería, P5: Punto 5- Caucho 2008, P6: Punto 6 – Caucho 2011.



### 1.1.1.5.3 Abundancias

En total se colectaron 911 individuos para las seis estaciones de muestreo, la figura 15 representa la distribución de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos en términos de abundancia relativa, en donde se muestra que el mayor aporte está dado por los dípteros, quienes en los puntos de muestreo PA, C08 y C11 alcanzaron abundancias superiores al 50% con relación al total y en los restantes también presentaron aportes importantes junto con el grupo de los efemerópteros. La distribución de la abundancia de estos órdenes se encuentra en detalle en las Figuras 16- 21, donde se muestran las abundancias para cada uno de los puntos con relación a las familias reportadas.

Figura 15 Abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos en los seis puntos de muestreo

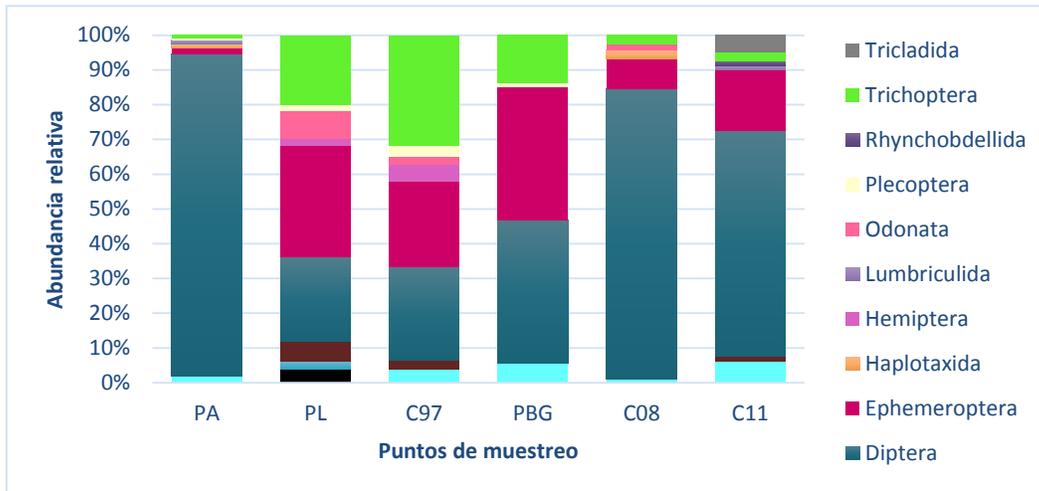


Figura 16 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 1 asociado a pastizal activo.

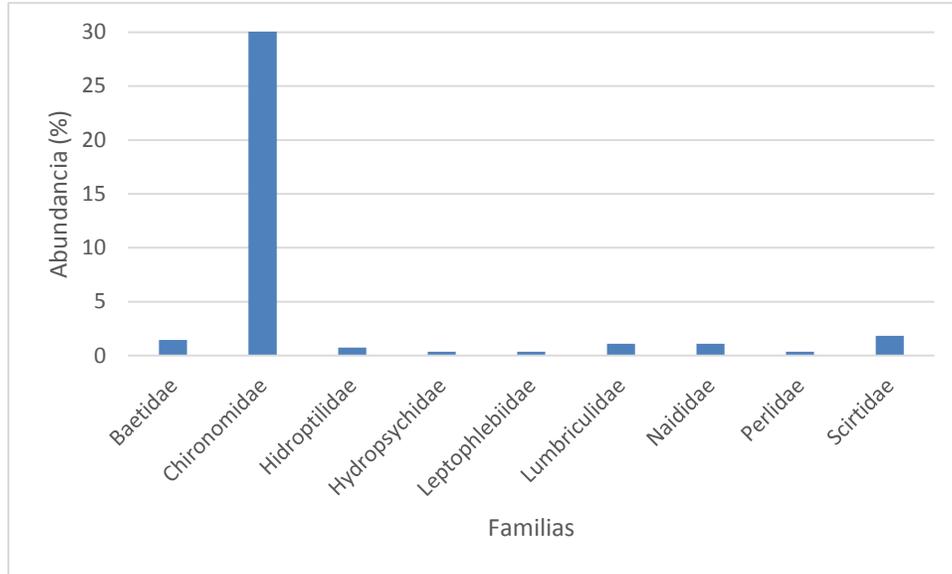


Figura 17 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 2 asociado con pastizal limpio

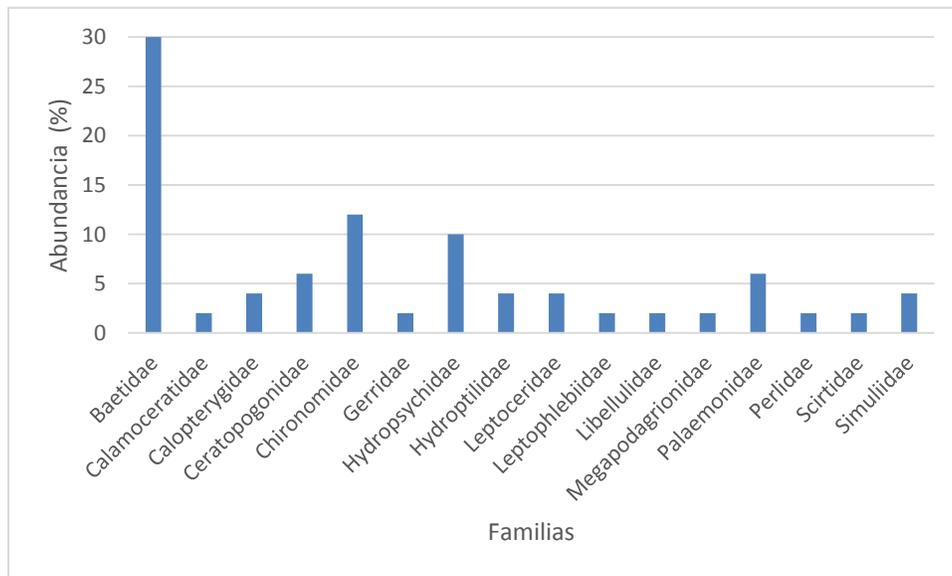


Figura 18 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 3 asociado con Caucho -1997.

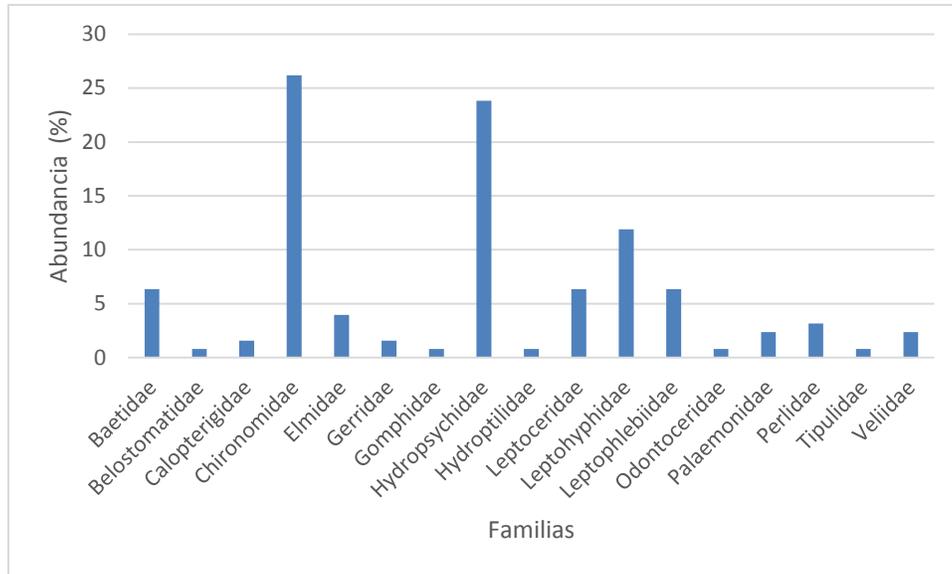


Figura 19 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 4 con mayor influencia de bosque de galería.

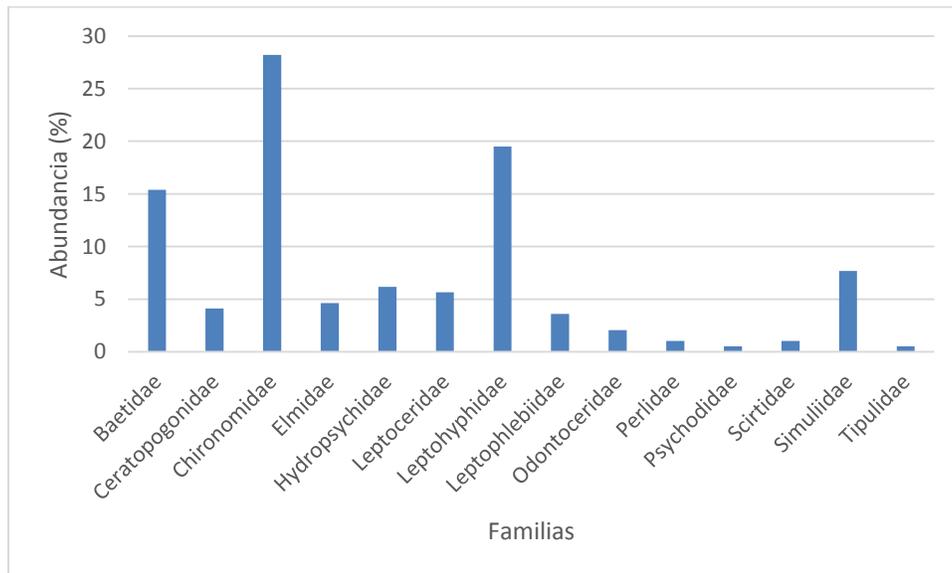


Figura 20 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 5 asociado con Caucho -2008.

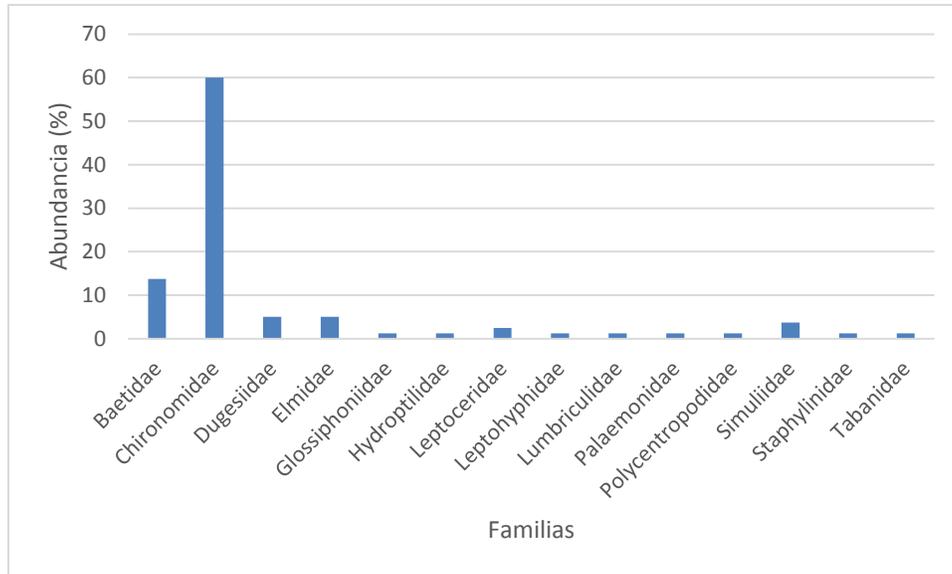
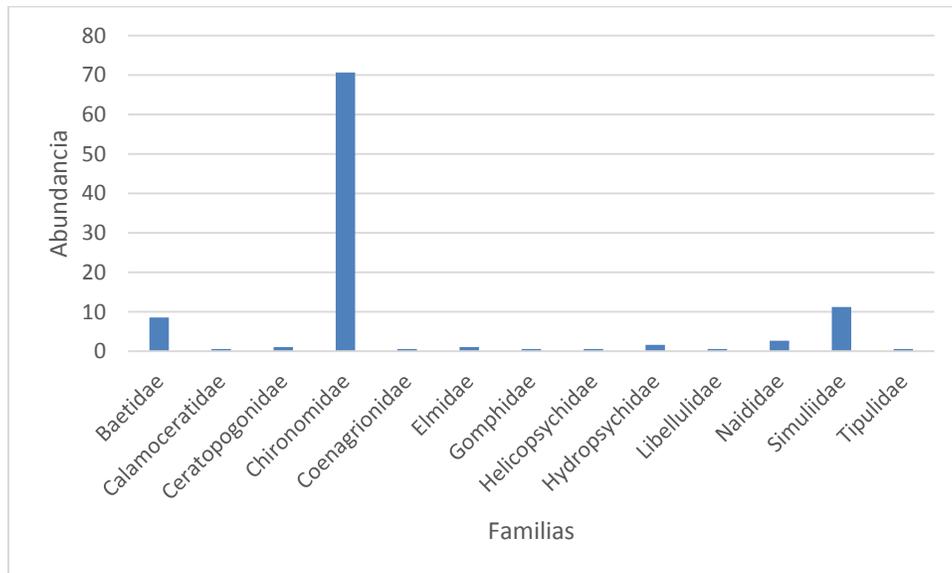


Figura 21 Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados acuáticos en el punto 6 asociado con Caucho -2011.



#### 1.1.1.5.4 Bioindicación

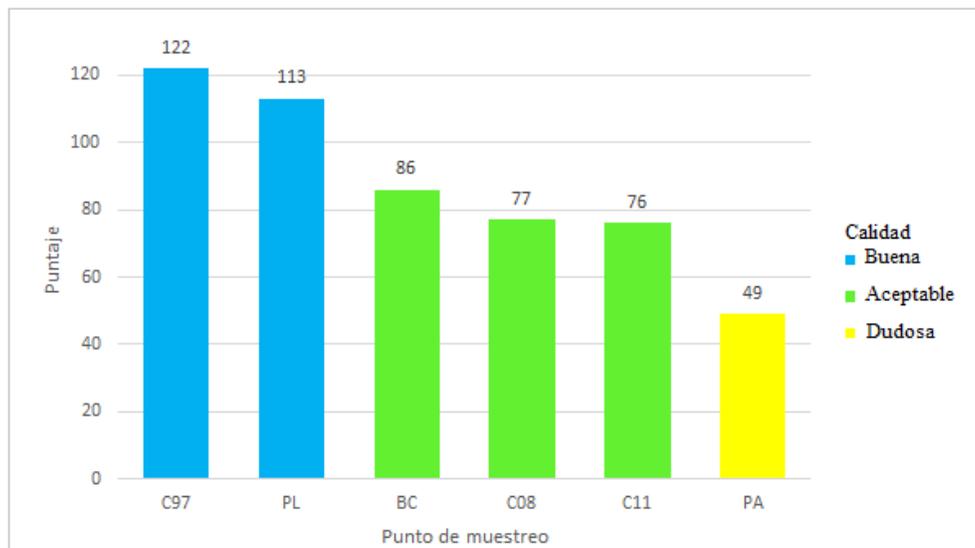
A continuación, se presentan los resultados del índice BMWP -Col que nos permiten identificar la condición biológica de cada uno de los puntos de muestreo (Figura 21). Estos organismos brindan información no solo de la condición momentánea, sino que acumulan los eventos de disturbio sucedidos a lo largo de un periodo de



tiempo. El índice permite estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de los organismos que lo habitan; se atribuye a cada especie un valor determinado de acuerdo con su tolerancia a la contaminación que va de 1 a 10, las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación, con relación a aquellas que necesitan condiciones de mejor calidad las cuales puntúan alto. La suma de estos valores para punto de muestreo indica la categoría a la cual pertenece y por tanto el grado de contaminación del sistema (L. Álvarez, 2005). Los puntajes que recibe cada familia y la clasificación en categorías de calidad pueden ser consultadas en detalle en Róldan (2003).



Figura 22 BMWP-Col para los puntos de muestreo el caño Piedra Candela



### 1.1.1.6 Discusión

#### 1.1.1.6.1 Representatividad/ esfuerzo de muestreo

La representatividad del muestreo puede ser considerada como intermedia a alta, en donde se registró un número importante de taxones (62) para el caño Piedra Candela, sin embargo, se evidencia la necesidad de incrementar los esfuerzos de muestreo, para obtener una mejor representatividad de la comunidad, dada la alta diversidad de este grupo (Merritt, Cummins, & Berg, 2008a)(Springer et al., 2010). Es importante resaltar que los datos obtenidos son comparables entre sí, ya que se obtuvieron con el mismo método y la misma intensidad (20 min) de muestreo para cada punto. Otro factor importante para tener en cuenta es la época climática, las muestras fueron tomadas en el periodo de transición de lluvias a seca, es recomendable anudar esfuerzos para incluir diferentes periodos hidroclimáticos, con el fin de aumentar la representatividad, ya que muchos de estos



organismos presentan diferencias en sus ciclos de vida relacionadas con las condiciones ambientales, aunque para el trópico los ciclos de vida predominantes son los multivoltinos, también se reportan algunos organismos semivoltinos y migratorios.

#### 1.1.1.6.2 *Composición: Riqueza y Abundancia*

La composición de macroinvertebrados acuáticos, en términos de riqueza puede ser considerada como alta, con un total de 62 taxones, en comparación con otros estudios como: Granados-Martínez & Montoya (2017) quienes con siete estaciones y tres replicas para el hábitat de caño reportan una riqueza de 41 taxones, o estudios como el de Camacho-reyes & Camacho-rozo (2010) muestran valores máximos de 57 taxones para esteros de la altillanura del departamento de Casanare o el de (Lasso, Señaris, Alonso, & Flores, 2006) quienes reportan 42 familias en 26 localidades, sin embargo, es importante aclarar que estos valores se encuentran ligados al esfuerzo de muestreo, la metodología y resolución taxonómica adoptada por los investigadores.

En este estudio el valor más alto de riqueza se obtuvo para el punto de muestreo en donde las coberturas de vegetación de influencia indirecta corresponden a pastizal limpio (con dominancia de una especie), así mismo las coberturas de cultivo de caucho de 1997, 2008 y 2011, obtuvieron valores con alta e intermedia representatividad de la comunidad de macroinvertebrados, siendo congruente con lo mencionado por Bustamante en Caro-caro & Torres-mora (2015) quien expresa que este tipo de agroecosistemas muestran efectos de complementariedad y sinergismo con los sistemas naturales, generando una retroalimentación positiva sobre la diversidad que allí habita. Por otro lado, el valor más bajo de riqueza se obtuvo en el punto 1 asociado a pastizal activo, esto se puede deber a la extracción de agua para bebida de los bovinos o para riego de pastizales con fines de ganadería.

La abundancia puede ser considerada igualmente alta, con relación al sistema y el número de estaciones muestreadas y es congruente con los estudios de (Boyero & Bailey, 2001; Granados-Martínez & Montoya, 2017) que muestran a los Ordenes Díptera y Ephemeroptera como los más abundantes para este tipo de sistema, además de ser comunes para sistemas lóticos Neotropicales.

#### 1.1.1.6.3 *Bioindicación*

Los valores obtenidos en el índice BMWP/Col clasifican a las estaciones de muestreo en tres categorías así: buena, aceptable y dudosa. Dentro de la categoría buena y aceptable se encuentra el 83% de las estaciones, asociadas a bosque y plantaciones de caucho, siendo la estación de muestreo con influencia de caucho senescente la que reporta la mejor condición, con presencia de familias como Perlidae, Gomphidae, Odontoceridae, consideradas como intolerantes a condiciones de contaminación, es decir son familias altamente sensibles a estos eventos. Estos resultados mantienen la tendencia reportada por trabajos como: Lasso, Señaris, Alonso, & Flores, (2006); Moreno Rodriguez, Caro Caro, Pinilla, & Osorio, (2017) quienes



concluyen que los macroinvertebrados reportados en estos sistemas son característicos de ambientes poco intervenidos, limpios, con condiciones de sistemas oligotróficos.

Es importante resaltar que el estado de conservación de la vegetación de ribera está directamente relacionado con la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, por esta razón se asume que los puntos en general muestran una condición aceptable de calidad de agua, ya que la cobertura de vegetación directa a lo largo del lecho del caño está asociada con componentes de bosque de galería característico en estos sistemas. Estudios como el de (Rondón et al., 2010) respaldan esta apreciación, ellos coinciden en establecer el papel de la vegetación de ribera como un fuerte estructurador de los flujos de energía en estos ecosistemas, generando a su vez refugio y alimento para las comunidades de invertebrados, razón por la cual, cambios en su cobertura podrían afectar el mantenimiento de la diversidad de invertebrados, especialmente en periodos de sequía.

Por otro lado, en el punto de muestreo asociado a pastizal se observó una baja cobertura de ribera y afectación por extracción de agua con fines de ganadería, generando así el valor de riqueza más bajo, con dominancia del Orden Diptera y con la puntuación del índice de calidad más bajo reportado en este estudio, con una categoría de calidad dudosa, indicando aguas moderadamente contaminadas, con presencia de familias como Chironomidae, Oligoquetos que usualmente son asociados con altos niveles de tolerancia a eventos de contaminación.

Por último es importante reconocer a la biodiversidad como una de las grandes riquezas de los territorios, el desarrollo y popularización de su conocimiento, llevaría a una correcta valorización de la misma (Domínguez & Fernández, 2009), es por esto que la priorización de áreas y el apropiamiento del conocimiento por parte de la comunidad se convierte en herramienta clave para el mantenimiento de las funciones ecosistémicas.

#### 1.1.1.7 Conclusiones

Para los seis puntos de muestreo se cuantificaron 911 organismos asignados a 62 taxones.

Los Ordenes de macroinvertebrados acuáticos que obtuvieron la mayor abundancia y diversidad corresponde a Diptera y Ephemeroptera, el Orden Trichoptera también presentó alta diversidad.

La evaluación de la calidad de agua con el índice BMWP-Col, muestra que los puntos de muestreo seleccionados presentan una condición de calidad aceptable a buena, es decir aguas ligeramente contaminadas a limpias.

El punto de muestreo asociado con pastizal muestra los valores más bajos de diversidad y de calidad, indicando aguas moderadamente contaminadas. Cabe mencionar que esta cobertura está cerca a la desembocadura de la quebrada, lo que podría implicar efectos acumulativos desde la cuenca alta y media.



Se estima la vegetación de ribera como fuerte estructurador de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, por esto se considera necesaria la conservación y retención de componentes característicos de bosque de galería que permitan garantizar la salud y funcionalidad de los cuerpos de agua.

#### 1.1.1.8 Recomendaciones

Es importante realizar muestreos semestrales que abarquen diferentes épocas climáticas, con el fin de tener un programa de vigilancia que permita evaluar la evolución de las condiciones del cuerpo de agua y así generar un control de calidad efectivo. Aunque el agroecosistema (Caucho) del área de estudio no muestra efectos negativos sobre la diversidad de macroinvertebrados y la calidad del cuerpo de agua, es necesario tener un control periódico sobre el mismo, ya que generar conclusiones certeras a partir de un muestreo puntual puede incurrir en equívocos; además, muchos efectos de contaminación difusa son difíciles de evaluar.

Además, se sugiere que en los muestreos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se incluya la toma de variables físicas y químicas, que ya se realizan por parte de las empresas y que permiten generar información complementaria para el correcto establecimiento de las condiciones del sistema.

#### 1.1.2 Plantas con mayor potencial en la fijación de carbono

Las angiospermas poseen el mayor número de géneros y de especies en Colombia, con cerca de 26.500 ( $\pm 1.000$ ), siendo este el número más probable de especies de angiospermas en el país (Rangel, 2005). Las angiospermas, hacen parte de las coberturas de sabanas tropicales predominantes de los Llanos Orientales Colombianos (López-Hernández *et al.*, 2005), estas coberturas llegan a ocupar cerca del 43 % de la tierra cultivable y son generalmente frágiles y su funcionamiento es complejo, es por ello, que se requiere buenos sistemas de manejo para su utilización (Amézquita *et al.*, 1998).

Las sabanas de Colombia, geográficamente ubicadas en la región de la Orinoquia, comprenden cerca de 17 millones de hectáreas de los departamentos del Meta, Vichada, Arauca y Casanare (Amézquita *et al.*, 2013). En estos ecosistemas existen amplia variedad de paisajes que incluyen altillanura plana, altillanura ondulada, serranía, sabanas inundables y bosques de galería (Malagón, 2003).

La altillanura plana junto con los bosques de galería hacen parte de los ecosistemas prioritarios para este estudio; la primera posee una franja de 60 km de ancho, en promedio, que se extiende al sur del río Meta desde el municipio de Puerto López hasta el límite con Venezuela (Amézquita *et al.*, 2013). Se caracteriza por poseer sedimentos aluviales del Pleistoceno primario a través de extensas áreas ligeramente elevadas y planas que alternan con zonas bajas y estrechas de forma alargada (Cochrane *et al.*, 1985).



En cuanto a los bosques de galería, surcan la altillanura plana como la ondulada y la serranía, crecen en los bordes de caños y ríos. Es frecuente que el ancho tenga algunos cientos de metros, y rara vez midan 1 km. La exuberante vegetación de árboles de hoja ancha de estos bosques se debe a la alta humedad, a las propiedades fisicoquímicas y biológicas favorables del suelo (IGAC, 1991).

En los últimos años se ha observado cómo las coberturas de la tierra han venido sufriendo cambios en su estado, composición y extensión, resultado de actividades agrícolas y ganaderas, motivadas por el aumento de la población y la consecuente necesidad de espacio, bienes y servicios; por la escasez de recursos y de la ocurrencia de fenómenos naturales (Werner & Gradstein, 2009; Tabarelli *et al.*, 2010; Gibson *et al.*, 2011). Dichos cambios, intervienen en la erosión del suelo, incrementan el agua de escurrimiento e inundaciones, provocan cambios en la biodiversidad (Mas, 1999), es decir, que alteran procesos que generalmente tienen consecuencias en el clima (Zhan *et al.*, 2002).

Las emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y, en especial las de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2007) han provocado el aumento en la concentración en la atmósfera de CO<sub>2</sub> en más de un 30% desde 1850, alcanzando niveles críticos que ponen en riesgo la estabilidad climática del planeta, generando la baja capacidad de los bosques para secuestrar CO<sub>2</sub> (Harris, Birjandi y García, 2011). Los sistemas agroforestales (SAF) y los bosques representan sumideros importantes de carbono (C), por ello, el presente estudio se desarrolló con el objetivo principal de mostrar el estado de la estructura y composición de los bosques aledaños al caño piedra candela en la vereda Remolino del municipio de Puerto López, y las coberturas vegetales que componen el sistema agroforestal, lo anterior encaminado a realizar estimaciones de acumulación de biomasa y potenciales para secuestro de carbono.

### ¿Por qué son importantes?

- i. **Garantizan la vida y la supervivencia humana** ya que se depende de ellas como fuente de alimento, recursos y regulación hídrica, climática y de poblaciones, entre otras.
- ii. **Son útiles en ayudar a la mitigación del cambio climático.**
- iii. **Existen diversos métodos y ecuaciones estadísticas que permiten estimar el volumen de carbono fijado:** estimación de la biomasa con base en inventarios de volumen existente, estimación con base en inventarios forestales comerciales y aplicación de ecuaciones de biomasa, desarrollo de ecuaciones de biomasa e inventarios in situ y estimación con modelización utilizando sistemas de información geográfica. Estos métodos permiten modelar escenarios de estrategias de agro forestación e implementación de opciones productivas que incrementen las reservas de carbono en paisajes degradados.
- iv. **El método indirecto es relativamente sencillo**, dado que usa datos de diámetro a la altura del pecho (DAP en Cm) y la altura total (h, m) para calcular el carbono almacenado en la biomasa total de cada



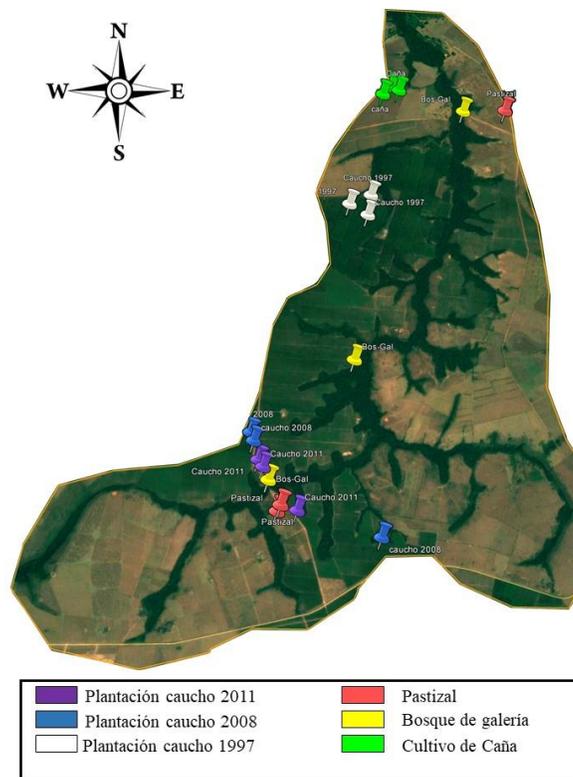
árbol a partir de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa generalmente para grupos de especies y bosques enteros (Mena, 2008).

- v. **Ya se han desarrollado ecuaciones que permiten tener en cuenta la diversidad de especies y sus dimensiones.**

Debido a la heterogeneidad de los diferentes tipos de bosque, no se recomienda extrapolar datos de captura obtenidos de otros estudios, ya que cada lugar es único en y de vegetación (Álvarez et al., 2011).

El área de estudio se encuentra en el departamento del Meta, municipio de Puerto López, Vereda Remolino. El trabajo de campo se desarrolló principalmente en predios de la empresa cauchera Mavalle SA., en las fincas la Esmeralda, la nueva y hacienda Santa Teresa. Todas ellas dentro del polígono designado para el desarrollo del estudio (Figura 23).

Figura 23 Polígono de área de estudio, junto con los puntos de muestreo realizados. (Imagen tomada y modificada de Google Earth Pro 2018)



1.1.2.1 *Fase de reconocimiento del terreno y establecimiento de puntos de muestreo.*

Esta etapa consistió en realizar recorridos por el polígono designado, con el fin de identificar las diferentes coberturas vegetales presentes en la microcuenca; como resultado de esto se identificaron las siguientes unidades de vegetación:

**Bosque secundario de galería:** caracterizado por la presencia de vegetación nativa, principalmente de porte arbóreo, arbolitos y un sotobosque cubierto con hierbas y plántulas. La altura promedio de los árboles es de 20 m, los doseles son cerrados, aunque se observan claros en el interior debido a la caída de árboles, luminosidad media, terrenos poco inclinados, suelos arcillosos y con buena cantidad de hojarasca en descomposición. Estos bosques han sido sometidos a procesos de entresaca selectiva de especies de interés forestal. Esta cobertura se encuentra asociados al caño piedra candela y sus afluentes los cuales son pequeñas quebradas que corren al interior del bosque. Para esta cobertura se realizaron tres muestreos de vegetación en diferentes puntos (Tabla 3).



Figura 24 Vista general de los bosques de galería muestreados en la vereda Remolino, en predios de la plantación Mavalle.



- **Plantación forestal de Caucho en tres diferentes edades de producción así:**

**Cultivo de caucho sembrado en el 2011:** este se caracteriza por tener árboles en estado juvenil con alturas en promedio de 10 m, estas plantas se encuentran en etapa ganancia de altura y diámetro de fuste, son próximos a ser aprovechados.

**Cultivo de caucho sembrado en 2008:** este se caracteriza por tener árboles en estado maduro con alturas en promedio de 15 m, estas plantas se encuentran en etapa de aprovechamiento del recurso.

**Cultivo de caucho sembrado en 1997:** este se caracteriza por poseer arboles maduros senescentes con alturas en promedio de 18 m, son los arboles más antiguos en la plantación, estos también se encuentran en etapa de aprovechamiento del recurso.

Para cada una de las edades de siembra se realizaron tres muestreos, los cuales se ubicaron principalmente en las plantaciones de la empresa Mavalle s.a.s y un muestreo realizado en la plantación La Esmeralda. (Tabla 1).

Figura 25 Vista general de las plantaciones de caucho en diferentes etapas de desarrollo. (Fotografías tomadas por el autor).



**Cultivo de caña de azúcar:** esta cobertura se caracteriza por poseer grandes extensiones planas con suelos arcillosos hasta arenosos, y con alta exposición solar, los cuales están sembrados con caña de azúcar, la poca vegetación diferente que se observa en estos cultivos se encuentra en las calles y consta principalmente de plantas arvenses y malezas de muchas de las cuales son exóticas. En esta cobertura se realizaron tres muestreos (Tabla 1).

*Figura 26. Vista general de los terrenos dedicados a cultivos de caña.*



- **Pastizal activo de ganadería y pastizal con 10 años de abandono sin ganadería:**

Esta cobertura se caracteriza por presentar una dominancia de plantas de la familia Poaceae, son terrenos planos y abiertos con alta exposición solar. Para esta cobertura se identificaron pastizales activos de ganadería en donde se observa el dominio de una gramínea forrajera para el ganado. En otros pastizales los cuales tienen cerca de diez años de abandono se observa que la dominancia de las especies es compartida por otras familias



de hierbas las cuales pueden ser exóticas o nativas, en general la riqueza de especies es baja en pastizales activos de ganadería y se va haciendo más diversa en pastizales abandonados. Para esta cobertura se realizaron tres muestreos.

*Figura 27 Vista general de zonas de pastizales activos de ganadería y con diez años de abandono.*



Para la ubicación de los puntos de muestreo fueron escogidos sitios que reunieran las características propias de cada cobertura, además teniendo en cuenta facilidad de acceso y permisos de entrada a predios y fincas privadas.



Tabla 3 Coordenadas de los puntos de muestreo donde se realizaron los levantamientos de vegetación

Tipo de cobertura	Nombre de los puntos de muestreo	Coordenadas N	Coordenadas W	Altitud m.s.n.m.
Bosque secundario de galería	Bosque secundario punto 1	04°09' 25,8"	72°41' 29,4"	143 m.
	Bosque secundario punto 2	4°12' 23,4"	72°34' 49,0"	193m.
	Bosque secundario punto 3	04°13' 40,4"	072°34' 06,9"	196m.
Plantación forestal de Caucho	Plantación caucho 2018 finca La Esmeralda	4°11' 55,7"	72°33' 34,5"	329m.
	Plantación caucho 2018 Mavalle s.a.s	04°12' 45,6"	72°35' 01,0"	224m.
	Plantación caucho 2018 Mavalle s.a.s	04°12' 50,4"	072°35' 03,7"	225m.
	Plantación de caucho 1997 Mavalle s.a.s	04°13' 10,6"	72°34' 14,1"	192m.
	Plantación de caucho 1997 Mavalle s.a.s	4°15' 14,7"	072°34' 09,6"	210m.
	Plantación de caucho 1997 Mavalle s.a.s	04°15' 28,2"	072°34' 09,2"	202m.
	Plantación de caucho 2011 Mavalle s.a.s	04°12' 34,5"	072°34' 56,7"	209m.
	Plantación de caucho 2011 Mavalle s.a.s	04°12' 30,6"	072°34' 53,3"	209m.
Pastizal	Pastizal activo de ganadería hacienda Santa Teresa	04°16' 27,9"	072°32' 41,7"	170m.
	Pastizal con diez años de abandono Mavalle s.a.s	04°12' 09,5"	072°34' 39,7"	195m.
	Pastizal con diez años de abandono Mavalle s.a.s	04°11' 49,4"	072°34' 19,5"	217m.
Cultivo de caña	Cultivo de caña finca La Nueva	04°16' 38,32"	072°34' 09,8"	180m.
	Cultivo de caña finca La Nueva	04°16' 25,1"	072°34' 11,6"	185m.
	Cultivo de caña finca La Nueva	04°16' 51,8"	072°34' 13,6"	173m.



### 1.1.2.2 Muestreo

#### 1.1.2.2.1 Metodología de muestreo para vegetación Arbórea

Para los muestreos de vegetación arbórea en coberturas vegetales de bosque secundario de galería y plantación forestal de caucho se implementó la metodología para muestreos rápidos de diversidad de plantas propuesta por Gentry (1982), este método consiste en lanzar una cuerda de 50 m de largo, posteriormente se realiza en inventario de toda la vegetación presente en una distancia de 1m a lado y lado de la cuerda, se tienen en cuenta todos los individuos cuyo CAP (circunferencia a la altura del pecho), sea igual o superior a 6,5 cm. El área que abarco cada transecto fue de 0,01 ha, se deben realizar por lo menos diez de estos en cada cobertura con el fin de tener un área total muestreada de 0,1 ha. En el presente estudio por cuestiones logísticas y de tiempos en campo se hicieron tres transectos en bosque y tres en cada una de las edades de las plantaciones de caucho.



Para un área total muestreada de 0,03 ha en bosque y 0,09 ha en plantación forestal de caucho en diferentes edades de desarrollo.

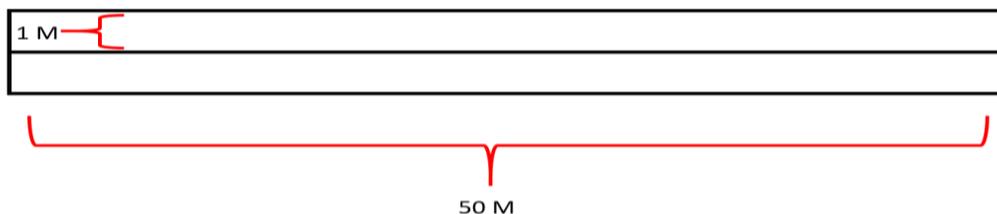
### Toma de datos y colecta de las muestras:

**Datos tomados en cada transecto:** en cada sitio de muestreo se registraron datos como localidad, inclinación del terreno, presencia de hojarasca, identificación de posibles alteraciones antrópicas, datos de GPS, por último, se tomó un registro fotográfico general.

**Datos tomados a las plantas:** Los datos dasométricos registrados para cada individuo leñoso fueron: Altura total en metros, cobertura X y Y, CAP en cm. También se anotaron caracteres particulares de cada individuo o morfo especie como son la presencia de exudados o látex en el tallo, colores de la corteza, tonalidades de hojas y flores y olores particulares que pudieran presentar las plantas. Estos datos fueron de gran utilidad en el momento de la determinación taxonómica, además son características que se pierden durante el proceso de secado de las muestras.

Para la colecta del material botánico, se siguieron los protocolos de herborización de plantas vasculares, fueron montadas en papel periódico y fijadas con alcohol al 70%, con el fin de evitar contaminación por hongos. Las muestras en laboratorio fueron secadas en horno a una temperatura de 70°C durante tres días, posteriormente se procedió al proceso de identificación taxonómica y etiquetado.

Figura 28 Esquema general de la metodología propuesta por Gentry 1982. (Figura realizada por el autor basado en Gentry 1982).



#### 1.1.2.2.2 Metodología para el muestreo de vegetación herbácea

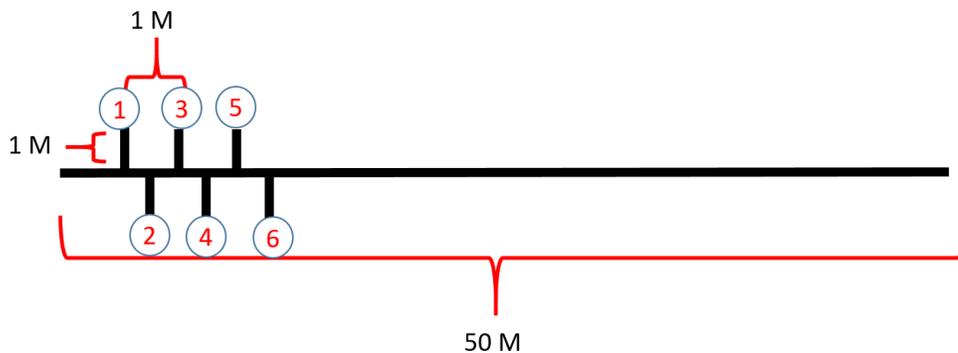
Para los muestreos de vegetación herbácea los cuales se realizaron en pastizales, pastizales abandonados y plantaciones de caña de azúcar, se utilizó la metodología para muestreo de hierbas propuesta por Matteucci & Colma (1982), el cual consiste en lanzar una cuerda de 50 m la cual está marcada cada metro, y está dividida en 5 secciones o subparcelas cada 10 m, esto con el fin de realizar posteriores análisis de frecuencia y porcentajes de cobertura. Una vez lanzada la cuerda se debe tener una vara de 1m de largo, la cual se pone en el piso en



donde la cuerda marque cada metro, y se muestrean y registran todas las hierbas que hagan contacto con la vara. El muestreo se recomienda hacer de forma escalonada, es decir empezando en el primer metro por la derecha, en el segundo metro por la izquierda y así sucesivamente hasta completar los 50 m.

Los datos tomados en cada parcela deben ser registrados en un formato elaborado para tal fin. En el formato se registraron datos de presencia o ausencia de las hierbas cada metro, además se realizó una descripción general de cada punto de muestreo, se tomaron datos de GPS, se anotaron alteraciones antrópicas y por último se realizó la colecta de las muestras siguiendo los estándares para herborización de plantas vasculares y anotando características que se pudieran perder durante el secado como colores de tallo, flores, hojas y la presencia de exudados. Estos datos son de gran utilidad en el momento de la determinación taxonómica. Las muestras fueron montadas en papel periódico y fijadas con alcohol al 70%, ya en laboratorio fueron secadas en horno a 70°C durante tres días. El proceso que continuo fue el de determinación taxonómica, análisis de datos y etiquetado del material.

Figura 29 Esquema general de cada transecto de vegetación herbácea. Se muestra en los círculos rojos el orden sugerido para la realización del muestreo. (Figura realizada por el autor basada en Matteucci & Colma (1982)).





### 1.1.2.3 Fase de laboratorio

#### Procesamiento de muestras y determinación taxonómica

Las muestras botánicas fueron secadas en un horno a 70°C durante tres días, posteriormente se inició con el proceso de determinación taxonómica, esto mediante el uso de equipos ópticos como estereoscopios y lupas portátiles, las cuales fueron útiles en la identificación de estructuras muy pequeñas de las plantas. Este proceso estuvo acompañado del uso de bibliografía especializada como catálogos florísticos, tratamientos y claves taxonómicas dentro de las que se encuentran principalmente: Gentry (1993), Utteridge & Bramley (2015), García et al (1975), Esquivel (2015), Renvoize (1998), Giraldo-Cañas (2005), Peñalosa-Giménez et al (2002), Mora-Fernández & Peñuela-Recio (2013). Para la corroboración de las especies se realizó revisión de ejemplares del herbario UPTC, Herbario Col en línea, Herbario del Field Museum de Chicago en línea, Herbario forestal UDBC en línea. La correcta escritura de los nombres de familias, géneros y especies fue revisada en la base de datos online de [Trópicos.org](http://Trópicos.org).

Con el fin de conocer la distribución de las especies y establecer alguna novedad cronológica se realizó una revisión en la base de datos disponible online del catálogo de plantas de Colombia de Bernal et al (2015). Las



muestras botánicas determinadas y etiquetadas serán depositadas en la colección de referencia del Herbario FMB del instituto de investigaciones Alexander von Humboldt, bajo la numeración de Bravo-P.W.

#### 1.1.2.4 Fase de análisis de datos

La información levantada en campo de los datos dasométricos, abundancias de especies y las determinaciones taxonómicas se incluyeron en una matriz de datos de Excel, con el fin de realizar los posteriores análisis de estructura y composición, siguiendo lo propuesto por Rangel y Velásquez (1997). Para los análisis de diversidad alfa se tuvo en cuenta la abundancia y riqueza de las especies, diversidad beta y curvas de acumulación de especies usando el programa los programas Past ver 2.1 y Statistics ver 9.1.

Para la vegetación muestreada en los transectos de pastizales y cultivo de caña se realizaron análisis de cobertura por cada transecto, este dato permite evaluar la o las especies que más están aportando en la cobertura de la vegetación herbácea, y así obtener datos de especies dominantes y aquellas que son raras dentro del muestreo. Para la obtención de este dato de cobertura por especie se sumó las veces que la especie apareció a lo largo del transecto, después este dato total de apariciones fue dividido en 50 que equivale al largo total de cada transecto y el dato resultante fue dividido en 100, una vez terminados los cálculos se obtienen los datos de cobertura de cada especie por transecto.

Para la evaluación de los servicios ecosistémicos de acumulación de biomasa y secuestro de carbono en las coberturas de Bosque secundario de galería tuvo en cuenta la metodología propuesta por Yepes et al (2011) y algunas recomendaciones hechas en el documento de Torres-Torres et al (2017).

##### 1.1.2.4.1 Análisis de estructura basados en Rangel & Velásquez (1997)

Este análisis fue aplicado para los transectos realizados en la cobertura de bosque secundario de galería ya que son los únicos que reúnen los parámetros requeridos. Si bien la cobertura de plantación forestal de caucho también reúne los parámetros requeridos para correr el índice este análisis no sería informativo ya que se trata de una sola especie con dominancia absoluta.

##### 1.1.2.4.2 Índice de predominio fisionómico (IPF)

Se calcula en cada levantamiento para los estratos arbóreo y de arbolitos. Permite diferenciar las especies dominantes reuniendo valores de área basal, cobertura y densidad con la siguiente fórmula.

IPF = Área basal relativa (%) + Cobertura relativa (%) + Densidad relativa (%).

Área basal relativa (%) = Área basal de la especie / Área basal total X 100.



Cobertura relativa (%) = Cobertura de la especie (%) / Cobertura (%) total de las especies que conforman el estrato X 100.

Densidad relativa (%) = Número de individuos de la especie / Número total de individuos X 100.

#### 1.1.2.4.3 *Índices de diversidad*

Para los índices de diversidad alfa, beta y curvas de acumulación, se tuvo en cuenta las abundancias y riqueza de las especies, estos análisis fueron realizados para las coberturas vegetales de Bosque secundario de galería, pastizales y cultivos de caña.

Con el fin de conocer la representatividad del muestreo se realizaron curvas de acumulación de especies para lo cual se utilizó el programa Statistics ver 9.1. El programa Past ver 2.1 fue utilizado para correr los análisis de diversidad alfa y beta y para la elaboración del dendrograma. Se debe aclarar que los análisis de diversidad no aplican para la cobertura plantación forestal de caucho ya que se trata de un monocultivo.

#### 1.1.2.4.4 *Análisis de acumulación de biomasa y carbono en bosque de galería y plantación forestal de caucho.*

Para la estimación de biomasa aérea y acumulación de carbono fue utilizada la metodología propuesta por Yepes et al (2011), la cual se basa en el uso de ecuaciones alométricas y constantes ambientales. Para correr el modelo de estimación de biomasa aérea fueron utilizados los siguientes datos:

- El CAP fue convertido a DAP (diámetro a la altura del pecho expresado en cm).
- La altura total de las plantas.
- La densidad de madera, esta se obtuvo mediante la revisión de bibliografía principalmente de la Global Wood Density Database GWDD (Zanne et al 2009), para plantas cuyo nombre no figuraba en la GWDD, se utilizaron las bases de datos de Chave et al (2006), en donde se tomaba el dato de densidad del género y en caso de no existir se trabajó con la densidad reportada para la familia.
- El área total de cada transecto muestreado es decir 0,02 ha.

Se tuvo en cuenta el siguiente subconjunto de variables independientes: diámetro, altura y densidad de madera. Las constantes tenidas en cuenta para el desarrollo de la ecuación son: **a= -2,218**, y la constante **B1= 0, 932** las cuales corresponden a las utilizadas para **bosque húmedo tropical**. Finalmente se corrieron las ecuaciones 11 y 13 tomadas de Yepes et al (2011).



Figura 30 Ecuaciones 11 y 13 las cuales fueron utilizadas para la estimación de biomasa aérea en las coberturas de bosque secundario de galería y plantación forestal de caucho. (Tomado de Yepes et al 2011)

$$\ln(BA) = a + b \ln(D) + c (\ln(D))^2 + d (\ln(D))^3 + B1 \ln(\rho) \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\ln(BA) = a + B1 \ln(D^2 H \rho) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde BA corresponde a la biomasa aérea (Kg).

D (cm) es el diámetro a la altura del pecho medido a 1,30m de altura sobre el suelo.

$\rho$  corresponde a la densidad de madera en ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

H es la altura total del árbol.

Las letras a, b, c, d, y B1 corresponden a constantes del modelo.

#### 1.1.2.5 Resultados

Fueron muestreadas cuatro coberturas vegetales (Bosque secundario de galería, plantación forestal de Caucho, pastizales y cultivos de caña), como resultado de la determinación taxonómica realizada la composición de especies por cobertura es la siguiente:

##### 1.1.2.5.1 Bosque secundario de galería:

Para esta cobertura vegetal se realizaron tres transectos en tres puntos diferentes, que abarcaron un total de área muestreada de 0,03 ha, los resultados de riqueza para la cobertura fueron 20 familias en 27 géneros y 37 especies. En la Tabla 2 se muestran los resultados de composición de familias géneros y especies para cada uno de los transectos realizados.

Tabla 4 Riqueza de familias géneros y especie para cada transecto realizado en la cobertura bosque secundario de galería

Transecto	Número de familias	Numero de géneros	Número de especies
1	12	14	17
2	13	13	14
3	15	20	22

La familia con mayor número de géneros fue Rubiaceae con tres, seguida de Annonaceae, Burseraceae, Lauraceae, Melastomataceae y Sapindaceae cada una con dos. En cuanto al número de especies por familia Annonaceae y Burseraceae presentan cuatro, seguida de Fabaceae, Myrtaceae, Melastomataceae y Rubiaceae con tres. Se destaca que 11 familias están representadas por un género y una especie (Tabla 3). Las familias y



especies encontradas en este muestreo son propias de este tipo de bosques y no se encuentran reportadas con alguna categoría de amenaza.

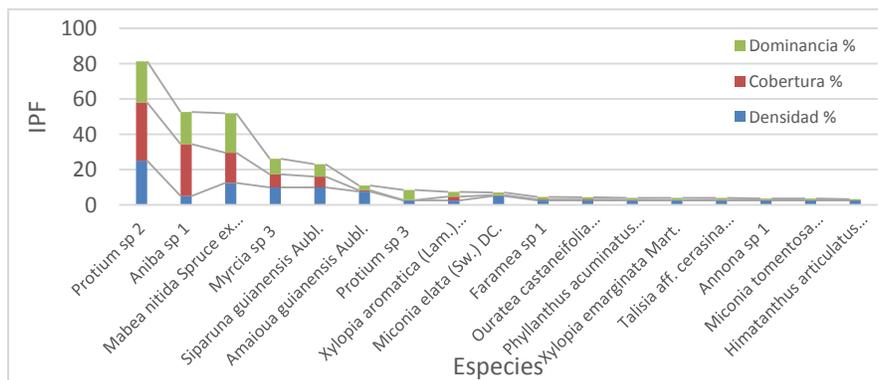
Tabla 5 Riqueza de géneros y especies por familia para los tres transectos realizados en la cobertura de bosque secundario de galería.

Familia	Número de géneros	Número de especies
Rubiaceae	3	3
Annonaceae	2	4
Burseraceae	2	4
Lauraceae	2	2
Melastomataceae	2	3
Sapindaceae	2	2
Apocynaceae	1	1
Araliaceae	1	1
Capparaceae	1	1
Chrysobalanaceae	1	1
Euphorbiaceae	1	2
Fabaceae	1	3
Moraceae	1	1
Myristicaceae	1	1
Myrtaceae	1	3
Ochnaceae	1	1
Phyllantaceae	1	1
Quinaceae	1	1
Siparunaceae	1	1
Violaceae	1	1



IPF para cada uno de los transectos realizados

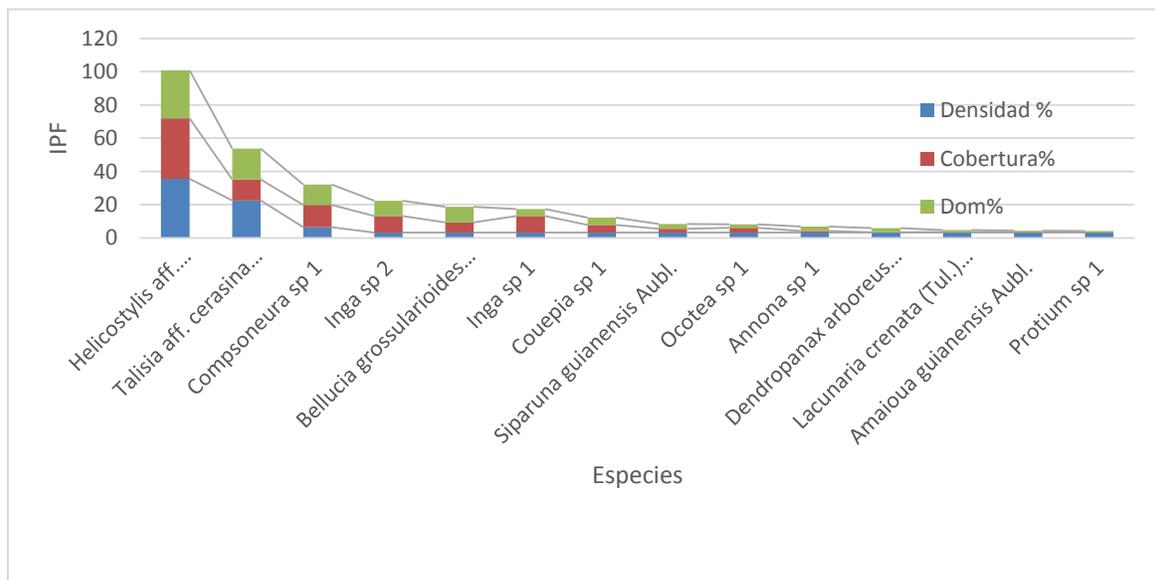
Figura 31 IPF para el transecto 1 de bosque secundario de galería



Para el IPF del transecto 1 se observa (Figura 32), que la especie *Protium* sp 2 presenta los valores más altos de cobertura, dominancia y densidad, seguido de *Aniba* sp 1 en donde el valor más relevante es la cobertura esto a pesar de que su abundancia y densidad no son tan representativas, por otro lado, *Mabea nitida* Spruce ex Benth a pesar de tener pocos individuos presenta unos troncos gruesos que aportan a su dominancia. Para especies como *Myrcia* sp 3, *Siparuna guianensis* Aubl., y *Amaioua guianensis* Aubl., el atributo que define mejor su rol en la parcela es la densidad pues sus troncos no son tan gruesos y la cobertura no es tan amplia. Las demás especies son plantas que solo fueron registradas una o dos veces dentro de la parcela, ya que presentan bajos porcentajes de densidad.



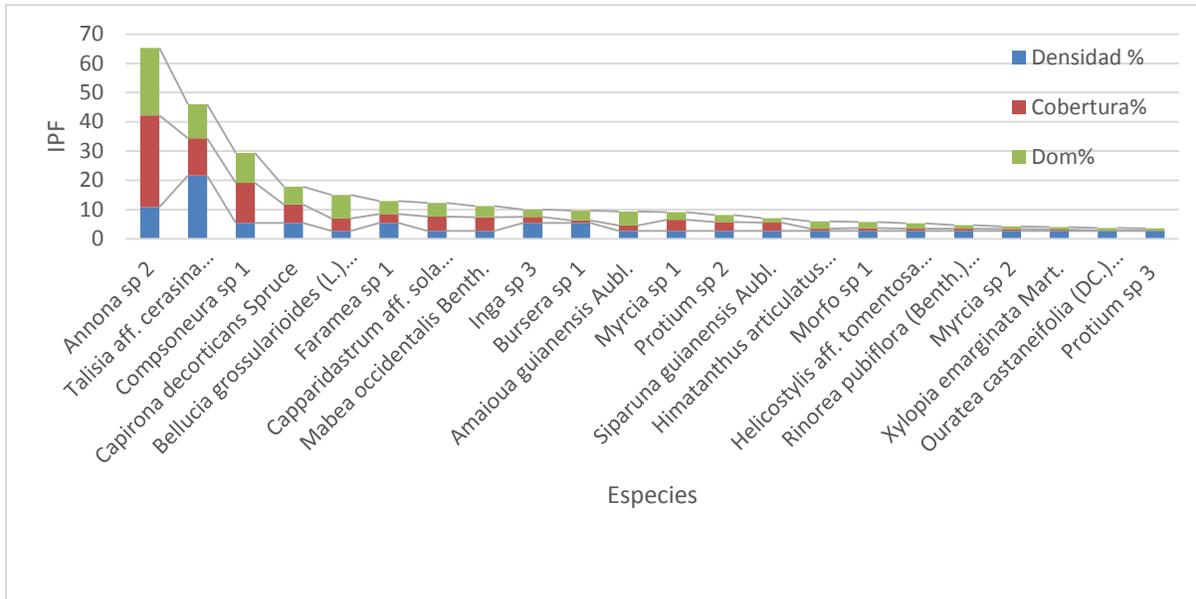
Figura 32 IPF para el transecto 2 realizado en bosque secundario de galería.



Para el IPF del transecto dos se observa que la densidad de especies en general es baja, hay una dominancia de *Helicostylis aff. tomentosa* (Poepp. & Endl.) Rusby, con valores de abundancia densidad y cobertura equilibrados. La especie *Talisia aff. cerasina* (Benth.) Radlk., está definida por el atributo de densidad pues se trata de plantas que no tienen troncos tan gruesos y coberturas tan amplias; *Compsonaura* sp 1 e *Inga* sp 2 a pesar de ser arboles con densidades bajas presentan troncos gruesos que aportan a la dominancia y coberturas amplias, esto denota que se trata de árboles de gran porte dentro de la parcela. Los demás árboles se encuentran definidos por la densidad y se trata de plantas con troncos delgados y coberturas pequeñas.



Figura 33 IPF para el transecto tres realizado en bosque secundario de galería.



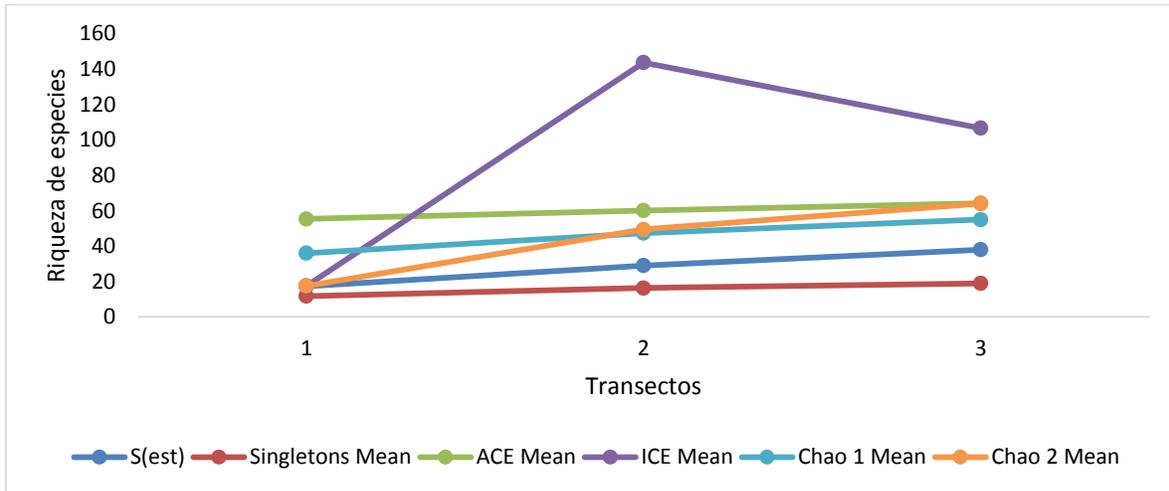
Para el IPF del transecto tres se observa que *Annona sp 2* presenta valores altos de cobertura y dominancia a pesar de que su densidad es baja, en contraste *Talisia aff. cerasina (Benth.) Radlk*, no presenta tallos tan gruesos ni coberturas amplias, el atributo que mejor define esta especie como dominante es su densidad. *Compsoeura sp 1* a pesar de tener baja densidad, los pocos árboles son de fustes gruesos y coberturas amplias. *Capirona decorticans Spruce* y *Bellucia grossularioides (L.) Triana*, son arboles poco abundantes en la parcela, pero los que fueron muestreados presentaron troncos gruesos y coberturas amplias, esto denota que se trata de árboles de gran poste dentro de la parcela.

### Curvas de acumulación de especies

Con el fin de evaluar la representatividad del muestreo, se realizaron los análisis de curvas de acumulación de especies, las cuales grafican el número de especies encontradas en los tres transectos (Figura 34). En un área total muestreada de 0,03 ha. Lo que se puede observar en general es que la curva de acumulación de especies aún no se nivela lo que quiere decir que hacen falta aún por lo menos siete transectos más para lograr estabilizar las curvas de acumulación de especies y con esto tener un mejor diagnóstico de la cobertura evaluada.



Figura 34 Curva de acumulación de especies para los muestreos realizados en la cobertura bosque secundario de galería. (Datos por el autor graficados en el programa Statistics ver 9.1).



### Diversidad Alfa

Los análisis de diversidad de los transectos dan indicio de que los muestreos realizados muestran un buen promedio de diversidad de especies, a pesar de que en algunos sitios la dominancia este expresada por la presencia de árboles de gran porte o por arbolitos en regeneración, esto puede ser también un indicio para decir que se trata de bosques en estado de regeneración natural. El transecto 3 muestra los mejores valores de diversidad como lo muestra el índice de Shannon, además la dominancia de las especies es baja pues el Simpson 1-D así lo muestra con valores de 0,9.

Tabla 6 índices de diversidad alfa para cada uno de los transectos de bosque secundario de galería (Datos por el autor analizados con el programa Past ver 2.1)

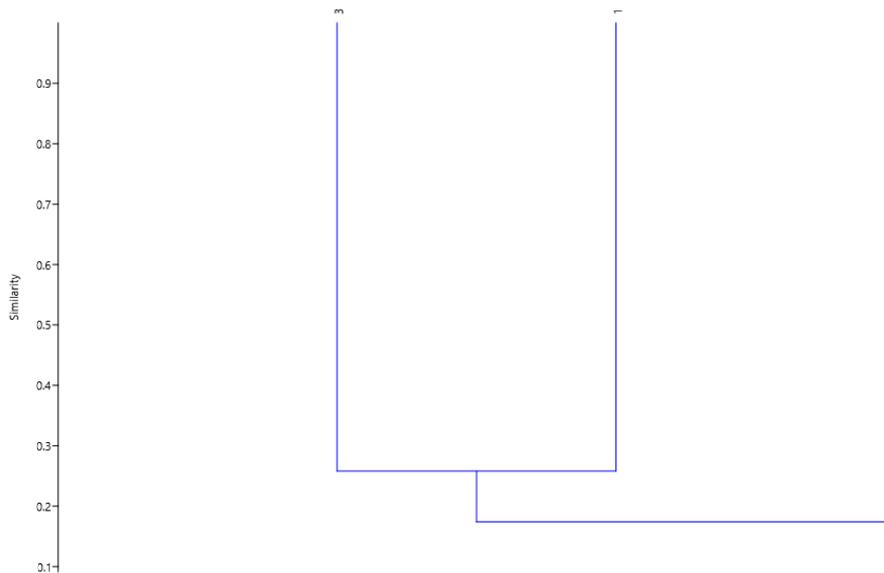
Transecto	Shannon	Simpson 1-D
1	2,483	0,885
2	2,099	0,8075
3	2,824	0,916

### Diversidad Beta

Para realizar el análisis de diversidad beta se aplicó el índice de Jaccard, esto con el fin de establecer que tan parecidos en cuanto a composición de especies fueron los muestreos, tal como se observa en la figura 36, los transectos que mayor afinidad presentaron fueron el tres y el uno, la menor similitud se presentó en el transecto dos.



Figura 35 Índice de similaridad de Jaccard para los transectos realizados en la cobertura de bosque secundario de galería



### Resultados de servicios ecosistémicos para la cobertura bosque secundario de galería

Se calculó la acumulación de biomasa aérea en kg y el carbono aéreo almacenado en Kg/ha por especie en cada uno de los tres transectos realizados; además, se realizó el cálculo de biomasa aérea para la cobertura en general. Se debe tener en cuenta que estos valores son tomados de estimaciones realizadas con ecuaciones alométricas, para obtener valores más precisos se deberían hacer estudios in situ y aumentar la cantidad de parcelas analizadas.

Para el transecto uno, la especie que mayor biomasa y carbono acumulo fue *Protium sp 2* con 28,9 kg de biomasa y 14,4 kg/ha de carbono, seguida de *Mabea nitida Spruce ex Benth.*, con 14,09 kg de biomasa y 7,04 kg/ha de carbono, otras especies como *Myrcia sp 3*, *Siparuna guianensis Aubl.*, *Aniba sp 1* son también importantes para la acumulación de biomasa en el transecto.

Para el transecto dos, la especie *Helicostylis aff. tomentosa* (Poepp. & Endl.) Rusby, fue la que mayor acumulación de biomasa obtuvo con 37,9 kg y 18,9 kg/ha de carbono este dato está estrechamente relacionado con su abundancia en el transecto. Especies como *Talisia aff. cerasina (Benth.) Radlk.*, y *Compsonera sp 1*, también fueron importantes como acumuladoras de biomasa y carbono en el transecto.



Por último, en el transecto tres, la especie *Annona sp 2* fue la que mayor biomasa acumuló con 22,12 kg y 11,06 kg/ha de carbono; esto está estrechamente ligado a su abundancia. La anterior condición pasa también con *Talisia aff. cerasina* (Benth.) Radlk. Con 17,5 kg de biomasa acumulada y 8,75 kg/ha de carbono, esta especie es igualmente abundante en el transecto. Especies como *Bellucia grossularioides* (L.) Triana con 6,01 kg de biomasa aérea y 3,00 kg/ha de carbono, a pesar de que no es una especie abundante es un árbol de gran porte, con un diámetro grueso y maderas densas lo que la hace importante en el momento de realizar la estimación de estos atributos.

Para estimar la biomasa acumulada y el carbono en kg/ha para cada transecto se realizó la sumatoria de los datos obtenidos por parcela y este número fue dividido en el área total de la parcela en este caso 0,01 ha como resultado de esto se tienen que la parcela uno hay una biomasa acumulada de 9074,4 kg, y un carbono total en de 4536,7 kg/ha. Para el transecto dos una biomasa total de 11152,7 kg y 5562,6 kg/ha de carbono. Para el transecto tres una biomasa total de 11236,7 kg y 5617,9 kg/ha de carbono. Como se muestra en los datos el transecto que más biomasa y carbono acumularon fue el número tres.

Se obtuvo el dato de biomasa aérea total para la cobertura bosque secundario de galería sumando las biomásas totales y dividiéndolas en el área total muestreada es decir 0,03 ha, de esto se obtuvo que la biomasa total acumulada para la cobertura es de 10487,6 kg y el carbono acumulado es de 5239,06 kg/ha.

Figura 36 acumulación de biomasa aérea (Kg) y carbono (Kg/ha). Para las especies encontradas en el transecto 1 de bosque secundario de galería

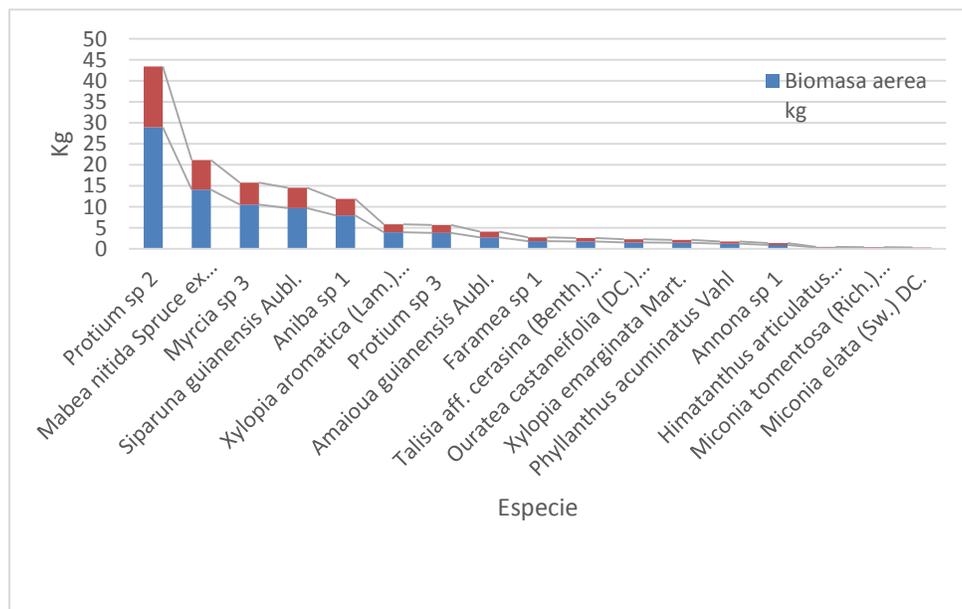


Figura 37 acumulación de biomasa aérea (Kg) y carbono (Kg/ha). Para las especies encontradas en el transecto 2 de bosque secundario de galería.

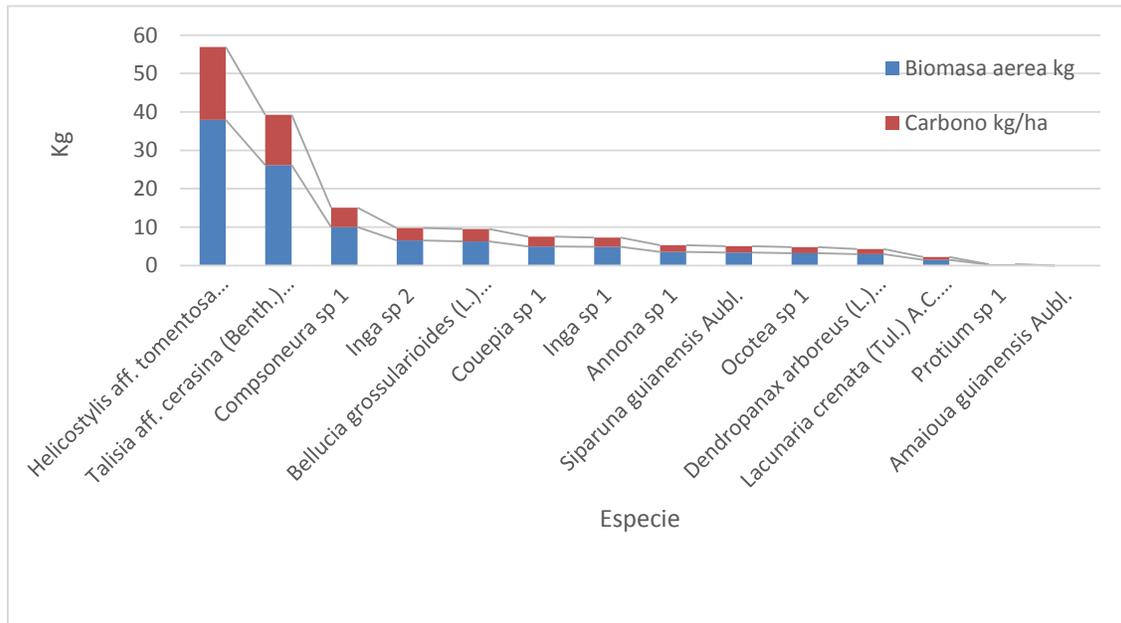
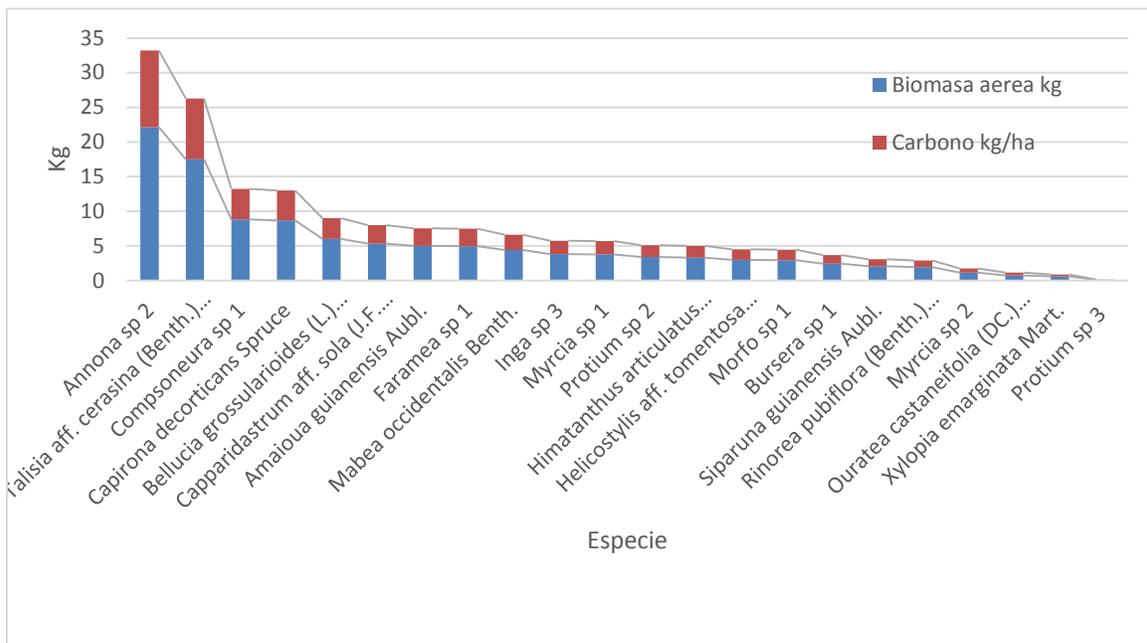


Figura 38 acumulación de biomasa aérea (Kg) y carbono (Kg/ha). Para las especies encontradas en el transecto 3 de bosque secundario de galería.



### 1.1.2.5.2 *Plantación forestal de Caucho*

En la plantación forestal de caucho se realizaron un total de nueve transectos distribuidos de a tres en diferentes edades de siembra así: 1997, 2008, 2011, cada transecto con un área de 0,01 ha. Los tiempos de siembra poseen plantas de diferentes alturas y diámetros de tallo DAP.

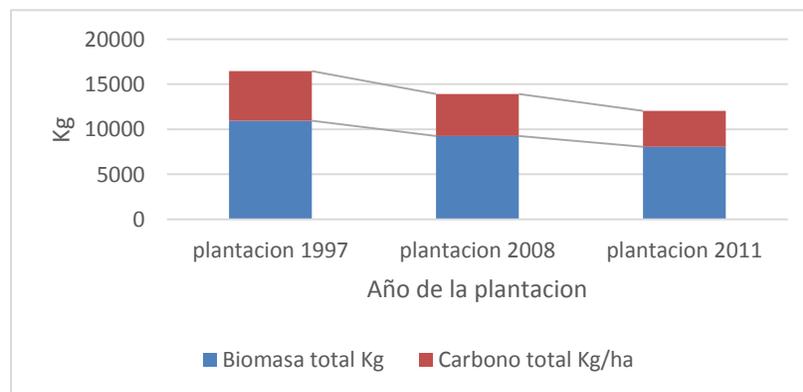
**Plantación de caucho 1997** esta se caracteriza por tener arboles adultos y en etapa de producción con plantas que poseen alturas promedio de 15,9 m y los DAP en promedio 21,5 cm. En estas plantaciones aún se sigue realizando la extracción del látex. En estas plantaciones se realizaron tres transectos con un área total muestreada de 0,03 ha

**Plantación de caucho 2008** esta se caracteriza por tener arboles maduros en etapa de producción de látex estas plantaciones presentan alturas promedio de 13 m y DAP en promedio de 18 cm. En estas plantaciones se realizaron tres transectos con un área total muestreada de 0,03 ha

**Plantación de caucho 2011** esta se caracteriza por tener árboles en estado juvenil los cuales aún no son objeto de aprovechamiento de látex. Estas plantaciones se encuentran el aturas promedio de 10,5 m y DAP en promedio de 15,2 cm. En estas plantaciones se realizaron tres transectos con un área total muestreada de 0,03 ha.

### **Biomasa aérea y carbono acumulado para cada una de las edades de plantación**

*Figura 39 Biomasa total en Kg y Carbono total en Kg/ha para tres edades diferentes de siembra de Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.*



Como se observa en la figura 40, los valores más altos de biomasa y carbono almacenado se encuentran en la plantación 1997 ya que estos árboles presentan las mayores alturas y diámetros de tronco (DAP); conforme la plantación se hace más madura, aumenta su capacidad de almacenar biomasa y carbono.



### 1.1.2.5.3 Pastizales

En esta cobertura se realizaron tres transectos de los cuales uno fue ubicado en un pastizal con uso ganadero, en donde se observó la dominancia absoluta de una gramínea forrajera; los dos transectos restantes se ubicaron en pastizales con 10 años de abandono; en estos sitios se observó que la diversidad de especies fue mayor ya que su condición permite que hierbas de otras familias se establezcan, se observó además que en estos pastizales abandonados se están llevando a cabo procesos de regeneración vegetal asistida, esto, mediante la siembra de especies comunes en sistemas silvopastoriles. Es importante destacar que es baja o nula la presencia en estas siembras de especies nativas comunes en los bosques de galería muestreados. A nivel de composición en esta cobertura se registraron un total de 13 familias y 37 especies, (Tabla 5).



Tabla 7. Familias con número de especies encontradas para la cobertura de pastizal

Familia	Número De Especies
Amaranthaceae	1
Asteraceae	4
Cyperaceae	3
Euphorbiaceae	5
Fabaceae	5
Gentianaceae	2
Lamiaceae	2
Malvaceae	1
Onagraceae	1
Phyllanthaceae	2
Plantaginaceae	1
Poaceae	8
Rubiaceae	2

Figura 40 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto uno de pastizal.

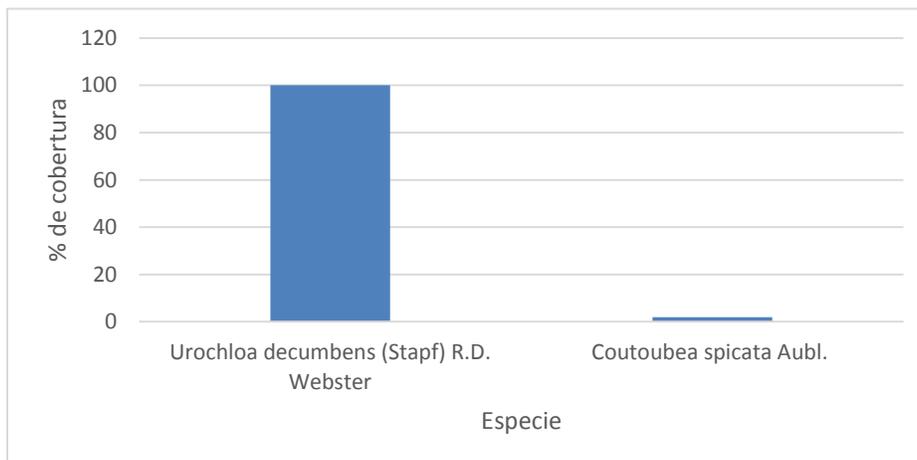
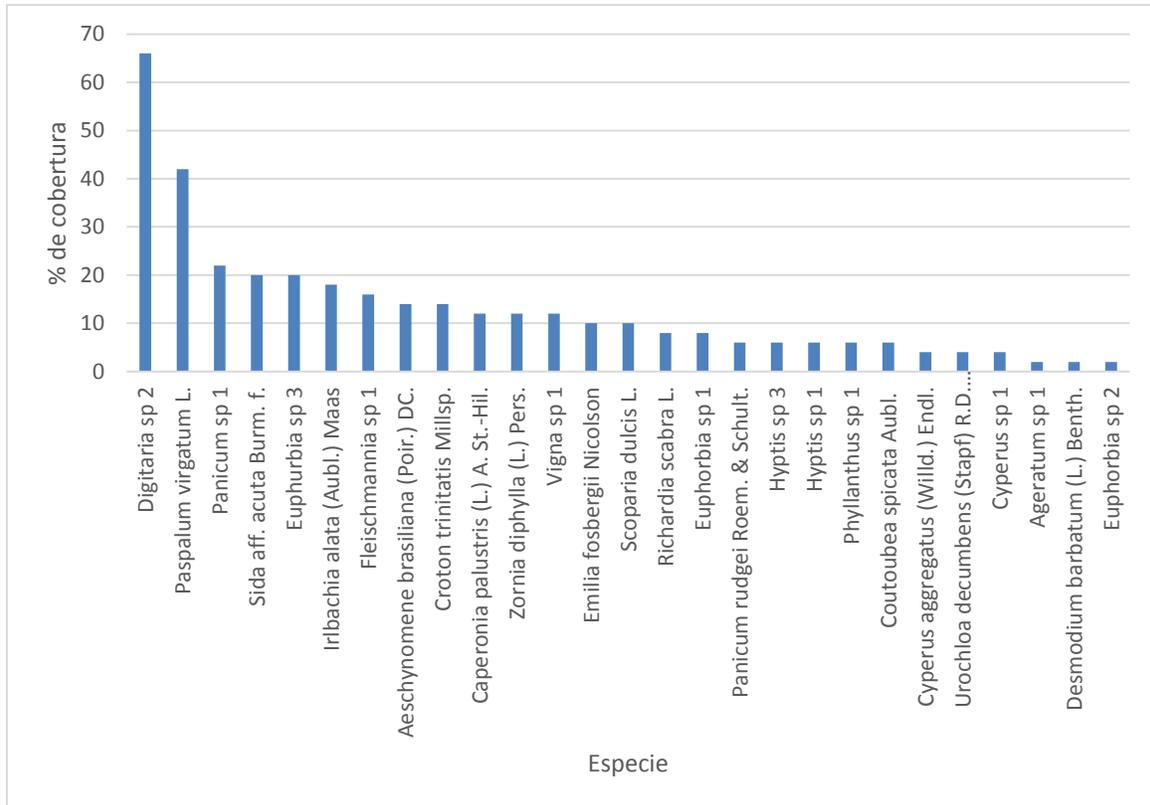


Figura 41 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto dos de pastizal.



En cuanto a los porcentajes de cobertura para cada uno de los transectos realizados en la figura 41, se observa el comportamiento del pastizal con uso ganadero en donde se evidencia la dominancia absoluta de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster, la cual es una gramínea sembrada en potreros de ganadería activa, además de ser una especie de rápido crecimiento es muy competitiva y no permite el arribo de otras especies; esta gramínea aprieta los suelos y también se puede reproducir asexualmente, la especie *Coutoubea spicata* Aubl., es típica de sabanas del meta y crece en bordes de camino y esporádicamente en pastizales activos de ganadería.

En la figura 42 se observan los porcentajes de cobertura para el transecto dos en donde la dominancia es compartida por varias especies, es claro que se trata de un pastizal abandonado porque la riqueza de especies es mayor, a pesar de ello las tres primeras especies *Digitaria sp 2*, *Paspalum virgatum* L., y *Panicum sp 1*, son gramíneas que consume el ganado.

Es importante destacar que el proceso de convertir una cobertura de pastizal a algo parecido a un rastrojo bajo (si esto se quisiera en una sabana) dura varios años y más cuando se trata de un proceso pasivo. Se destaca en estos pastizales el arribo de varias familias de herbáceas que aportan materia orgánica al suelo y son facilitadoras para el arribo de pioneras intermedias.



En la siguiente figura se observan los porcentajes de cobertura para las especies encontradas en el transecto tres en este sitio la dominancia de cobertura es para Emilia fosbergii Nicolson, la cual es un arvense común en pastizales abandonados y bordes de camino, en este punto de muestreo se observa que la dominancia de la familia poaceae es compartida por asteraceae, la abundancia de algunas asteraceae se puede deber a que es un sitio donde las hierbas pueden crecer más altas y las gramíneas se ven disminuidas debido a que el sombrío no favorece su óptimo desarrollo.

Figura 42 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto tres de pastizal.

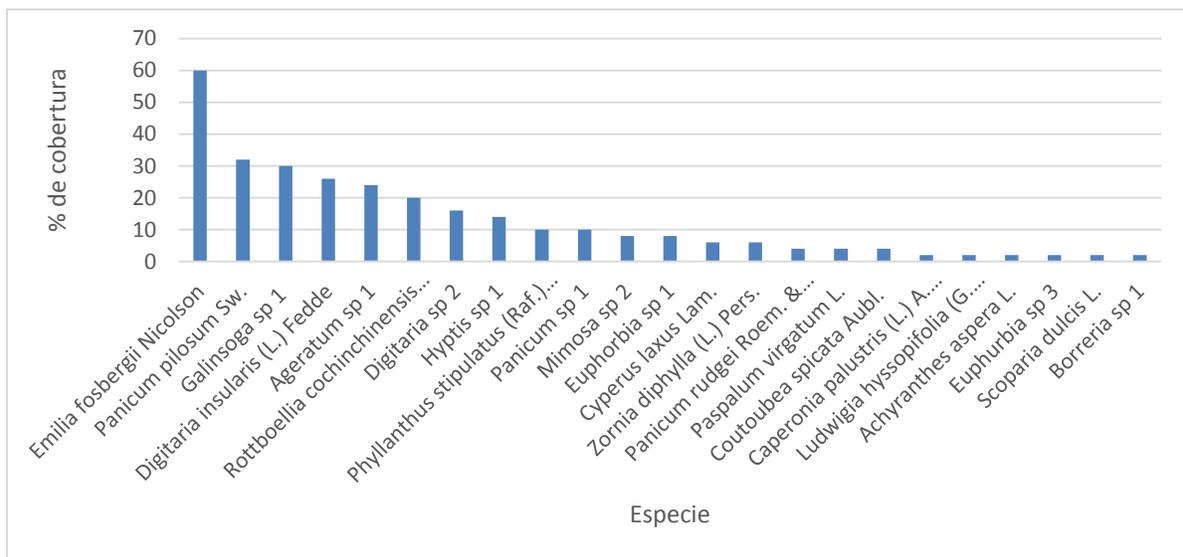
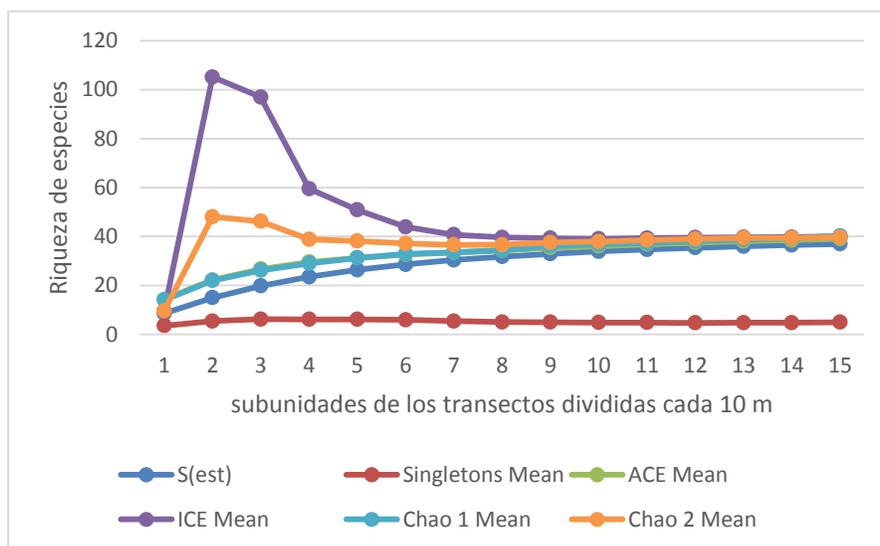


Figura 43 Curva de acumulación de especies para la cobertura de pastizal.



En la figura 44 se observa la curva de acumulación de especies, la cual fue graficada mostrando las subunidades en las que se divide un transecto cada 10 m para un total de 15 subunidades, la curva refleja que el muestreo realizado en los pastizales fue representativo y con el número de levantamiento de vegetación realizados se logró tener un buen estimativo de la riqueza de especies presentes en los pastizales, sin embargo se deben abarcar más sitios ya que los muestreos solo se limitaron a una localidad.

En cuanto a los índices de diversidad (Tabla 8), se tiene que en el transecto uno la dominancia de especies es casi absoluta por la gramínea forrajera *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster. El transecto dos muestra los mejores valores de diversidad y baja dominancia, en este sitio se colectaron varias especies las cuales solo aparecieron una o dos veces en el muestreo, es por eso que la dominancia de las gramíneas en este punto es compartida por otras familias de herbáceas.

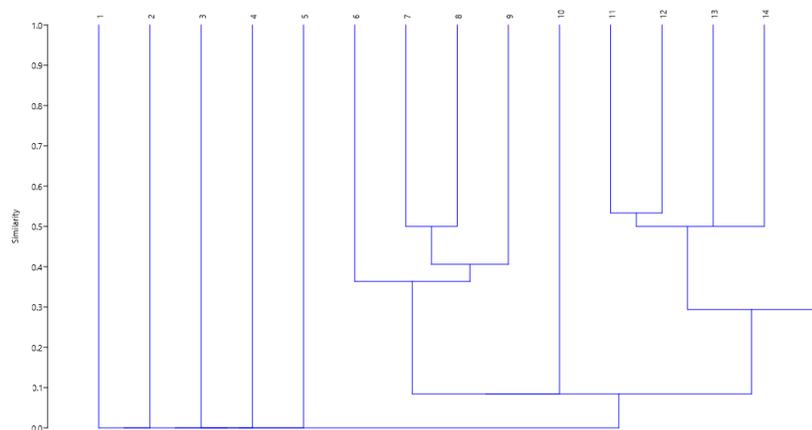


**Tabla 8.** Índices de diversidad alfa para los transectos realizados en la cobertura de pastizal

Transecto	Shanon	Simpson 1-D
Transecto 1	0,0965	0,038
transecto 2	2,923	0,9243
Transecto 3	2,668	0,9063

### Diversidad beta

*Figura 44 Índice de similaridad de jaccard para los transectos realizados en la cobertura de pastizales.*



En la figura anterior se muestran el agrupamiento de similaridad para los transectos realizados en pastizales los datos del transecto uno (1-5) pertenecen al pastizal de ganadería activa donde la dominancia de una especie es



absoluta, ya los muestreos del (6-10) y (11-15) los cuales corresponden a los transectos dos y tres respectivamente, muestran que comparten cerca del 0,1 de similaridad, este valor es bajo debido a que cada sitio ofrece características diferentes para el establecimiento de varios tipos de hierbas, en el transecto dos (6-10) es un sitio expuesto a la radiación solar y hay bajo porcentaje de sombra mientras que en el transecto tres (11-15) las condiciones favorecen el establecimiento de otros grupos de plantas, pues hay mayor sombra.

#### 1.1.2.5.4 Cultivos de caña

Los muestreos en esta cobertura se realizaron principalmente en los bordes de las calles de las siembra, ya que el interés principal era el de conocer cuáles eran las plantas herbáceas que crecían asociadas a esta cobertura; el cultivo de caña que se seleccionó para realizar los muestreos se encontraba en la localidad de la finca la nueva. Los suelos que no están cultivados, corresponden a las anteriormente mencionadas calles y son suelos principalmente arenosos y con buen porcentaje de humedad, sitios propicios para el desarrollo de arvenses de las familias Cyperaceae, Poaceae y Asteraceae. La densidad y cobertura de plantas arvenses en general es baja debido a que estos sitios se encuentran en permanente limpieza por parte de personal de encargados de la finca. En cuanto a composición se reportan 12 familias que agrupan a 29 especies.

Tabla 9. Familias con número de especies encontradas en la cobertura de cultivo de caña

Familia	Número De Especies
Poaceae	9
Cyperaceae	5
Asteraceae	3
Fabaceae	3
Lamiaceae	2
Euphorbiaceae	1
Gentianaceae	1
Lytraceae	1
Melastomataceae	1
Phyllanthaceae	1
Rubiaceae	1
Salicaceae	1

En cuanto a los porcentajes de cobertura para las especies se observa una dominancia principalmente de hierbas caracterizadas por ser malezas de cultivos. En la figura 46 se muestra el porcentaje de cobertura para el primer transecto, en el cual la dominancia de cobertura es para *Panicum* sp 2, *Digitaria* sp 3 y *Digitaria* sp 1, que son plantas principalmente de crecimiento estolonífero que pueden llegar a colonizar grandes extensiones, además de ser comunes en cultivos y bordes de camino.



En la figura 47 se observan los porcentajes de cobertura para las especies colectadas en el transecto dos la cobertura de las herbáceas es menor debido principalmente a factores como la limpieza de caminos, a pesar de ello se observa que la cobertura está dominada por *Digitaria* sp 1 una planta estolonifera muy resiliente y de rápido crecimiento.

Se observa la dominancia de cobertura esta compartida entre especies de las familias Euphorbiaceae, Asteraceae y Poaceae se trata de un sitio expuesto a alta radiación solar y con suelos propensos a inundaciones.



Figura 45 Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto uno de cultivo de caña.

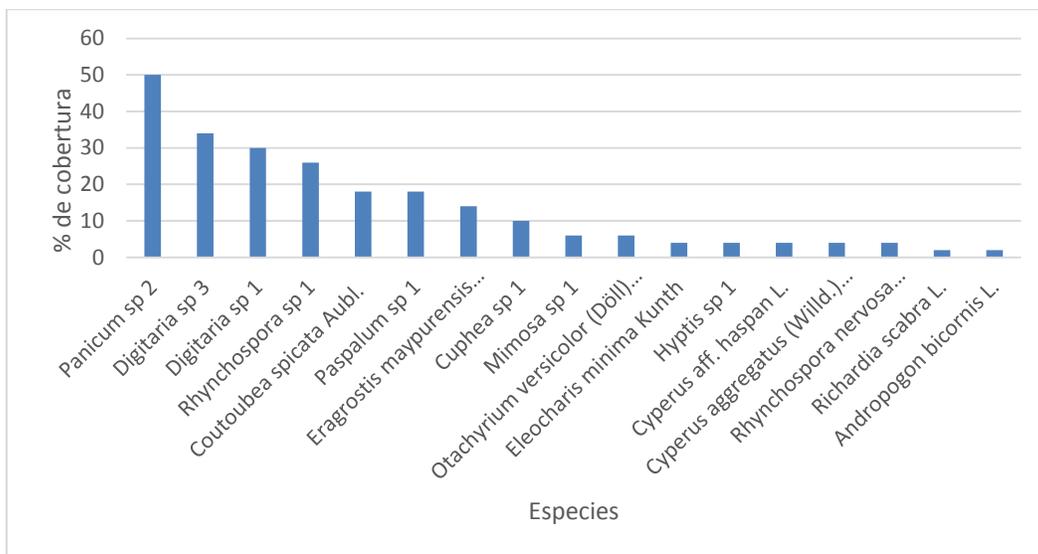


Figura 46. Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto dos de cultivo de caña.



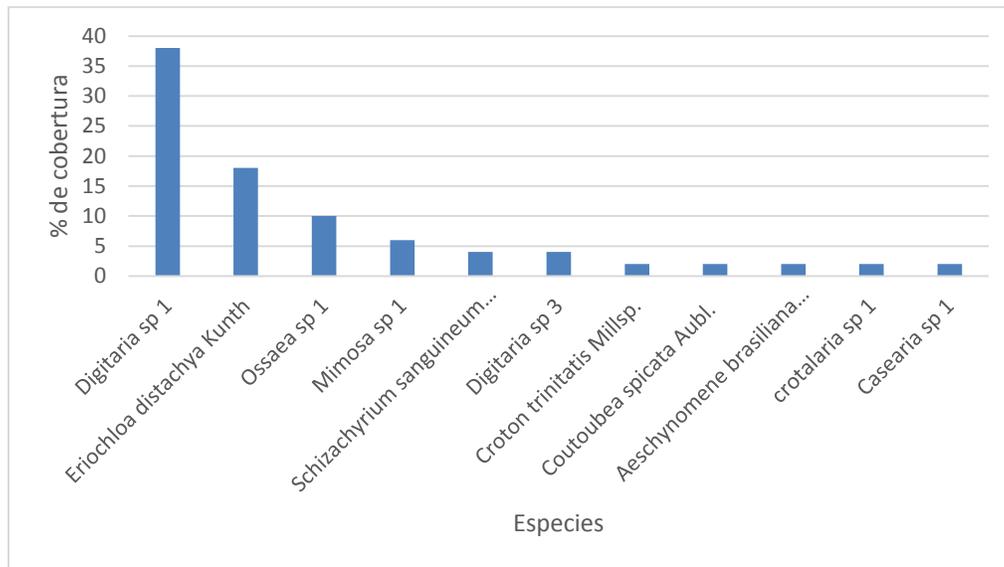


Figura 47. Porcentaje de cobertura para las especies muestreadas en el transecto tres de cultivo de caña.

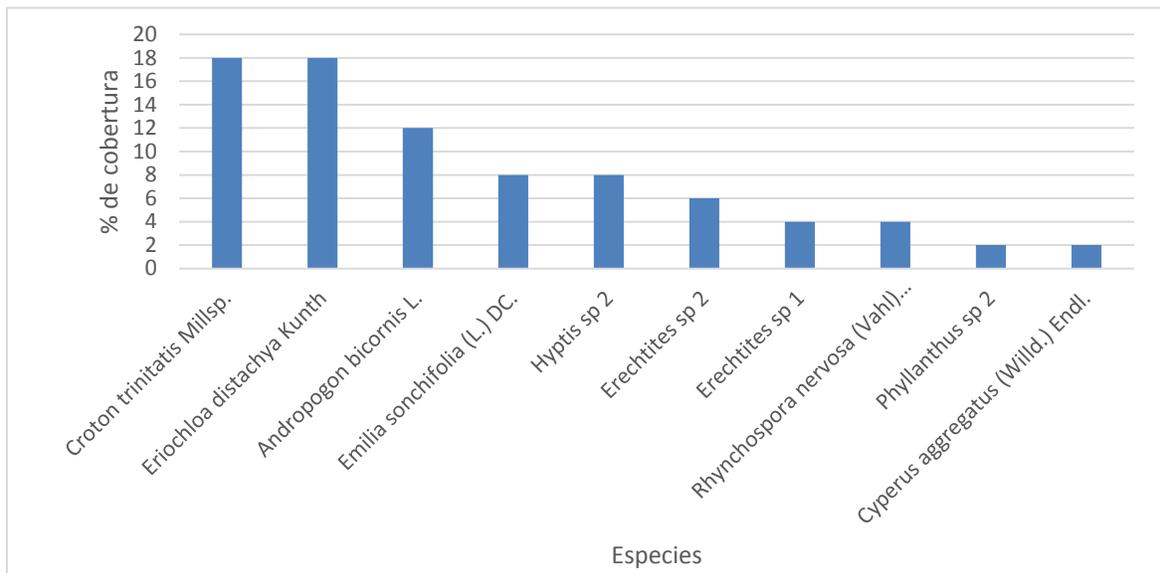
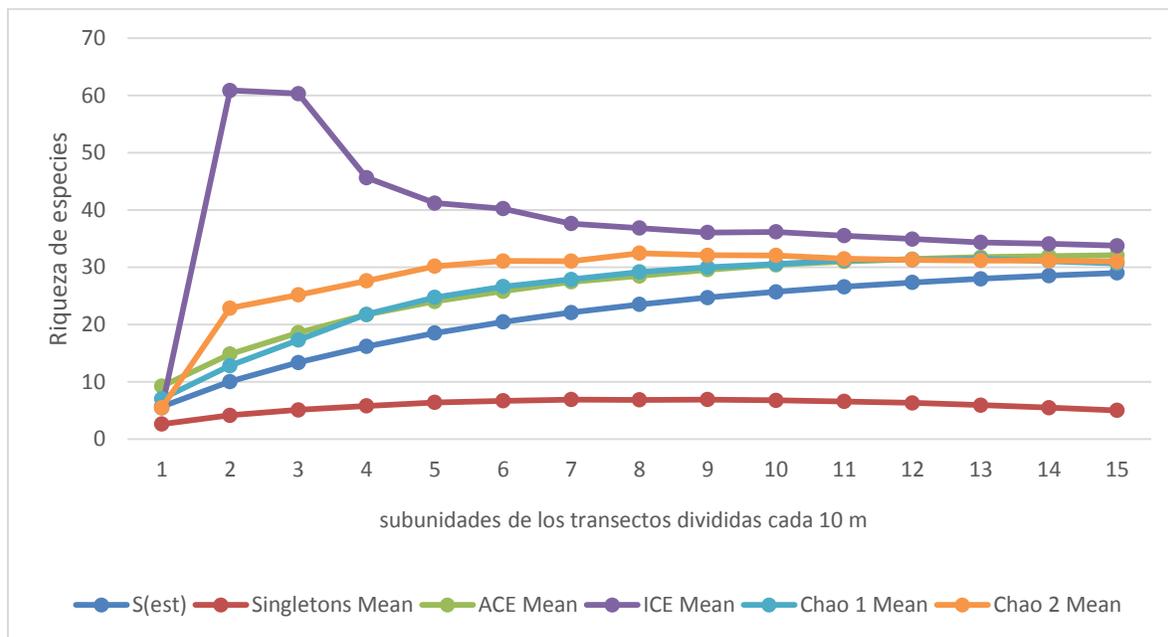


Figura 48. Curva de acumulación de especies para los transectos realizados en la cobertura de caña.





En la figura anterior se muestra la curva de acumulación de especies para los muestreos realizados; los datos muestran de la misma manera que fueron presentados para la cobertura de pastizal divididos por cada una de los subtransectos es decir que para los tres muestreos se graficaron 15 subunidades. En general se observa que con los muestreos realizados se puede llegar a estabilizar la curva de acumulación de especies, pero según lo observado en campo harían falta por lo menos tres transectos más para conocer la verdadera riqueza de especies de arvenses que están creciendo en estos cultivos.

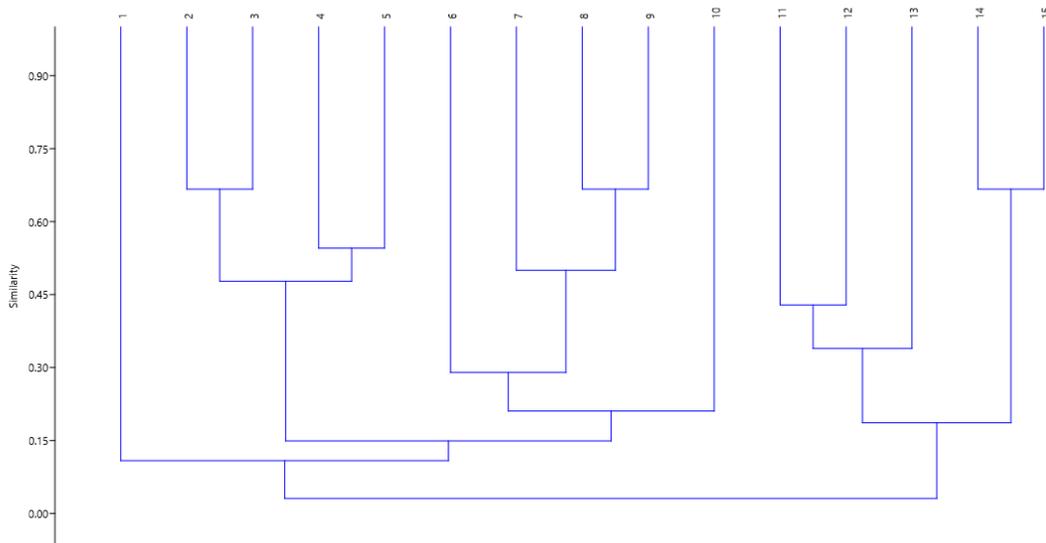
Tabla 10. Índices de diversidad alfa para los muestreos realizados en la cobertura vegetal de cultivo de caña de azúcar

Transecto	Shanon	Simpson 1-D
Transecto 1	2,465	0,8897
Transecto 2	1,704	0,7377
Transecto 3	2,068	0,8519

En la tabla anterior se muestran los resultados de diversidad la diversidad más baja fue presentada en el transecto dos ya que como se dijo anteriormente este punto fue sometido a limpieza por parte de los encargados de cuidar los cultivos de caña, la dominancia es relativamente alta ya que solo unas pocas especies tienen la capacidad de resiliencia y rápido crecimiento después de un disturbio. El transecto uno es el que mejor diversidad presenta este se ubica en un sitio enrrastrojado que no ha sido aún limpiado por los trabajadores.



Figura 49 Índice de similitud de jaccard para los transectos realizados en la cobertura de cultivo de caña.



En la Figura 49 se muestra el índice de similitud entre los transectos realizados, los muestreos que tienen mejor afinidad son el uno (1-5) y el dos (6-11), estos sitios comparten una similitud cercana al 0,13 que en realidad es un bajo número de especies compartidas, las cuales son principalmente gramíneas de crecimiento estolonífero.

#### 1.1.2.6 *Discusión*

Las coberturas vegetales que se encuentran en el polígono designado para el presente estudio hacen parte de un conjunto de subunidades en donde interactúan los paisajes agrícolas, ganaderos, grandes extensiones de monocultivos (cucho, caña de azúcar y arroz) y por último y no menos importante las coberturas naturales como lo son los bosques de galería los cuales Según Fajardo (2000), representan cerca del 16% de las coberturas rurales en el municipio de Puerto López y se caracterizan por ser un componente de gran importancia para el paisaje sabanero ya que ellos protegen los bancos de los ríos y evitan los procesos erosivos de la tierra además de ser los reguladores de los caudales de los caños en temporadas secas.

A nivel de composición de especies los bosques muestreados están representados por 20 familias, 27 géneros y 37 especies en un área total de muestreo de 0,03 ha es decir tres transectos esta composición de especies es muy baja debido principalmente a que no se realizaron el total de transectos propuestos por Gentry (1982), en donde para tener un representatividad de alguna cobertura boscosa es recomendado realizar por lo menos 10 transectos de estas dimensiones, lo anterior se corrobora con la curva de acumulación de especies, en donde esta aun presenta un crecimiento exponencial y no muestra indicios de nivelación.



También en el manual de métodos para el desarrollo de inventarios de diversidad de Villarreal et al (2004) se recomienda tener un área mínima de muestreo de 0,1 ha; si bien eso es importante, hay que destacar otras variables que entran en juego en el desarrollo del presente estudio ya que existían limitaciones de acceso a las coberturas por los permisos de entrada a predios privados; por lo anterior, se decidió realizar un mínimo de tres transectos en cada una de las coberturas, con el fin de tener datos medianamente comparables.

En estudios como el de Cabrera & Rivera (2016), para bosques de galería asociados al río Pauto en el departamento del Casanare, con un área de muestreo de 0,9 ha, registraron 56 familias, 127 géneros y 185 especies, lo cual corrobora una vez más que aún hace falta por conocer cerca del 70% en cuanto a composición de especies en los bosques del presente estudio.

Un atributo importante que fue estimado en estos bosques fue el de acumulación de biomasa aérea, lo cual se implementó mediante el uso de ecuaciones alométricas estas, tienen en cuenta atributos de las especies como el DAP, la altura total de las plantas y las densidades de madera. Se debe tener en cuenta que las estimaciones de carbono y biomasa aérea acumulada en los bosques tropicales son un factor de gran importancia ya que están relacionadas con el ciclaje del carbono global (Phillips et al 2011). Las metodologías de medición de biomasa aérea en Colombia han sido desarrolladas principalmente por Alvarez et al (2012), Phillips et al (2011), Yepes et al (2011), estos autores han desarrollado un aserie de ecuaciones alométricas a fin de llegar a conocer de forma indirecta las reservas de carbono presentes en los bosques naturales de Colombia, dichas reservas según Phillips et al (2011) pueden oscilar entre 11.439.558.114 t y 16.780.305.317 t para los bosques naturales del país.

Para este estudio se llegó a estimar la cantidad de biomasa aérea acumulada en los bosques de galería este valor 10487,6 kg de biomasa aérea y 5239,06 kg/ha de carbono, se debe tener en cuenta que estos valores son estimaciones hechas con una muestra muy pequeña lo cual puede representar un sesgo, ya que estudios como el de Torres-Torres et al (2017), los cuales llegaron a realizar una estimación de la biomasa aérea y el carbono almacenado en bosques del pacifico colombiano, establecieron un área mínima de muestreo de 0,1 ha para poder llegar a realizar estimaciones estadísticamente válidas.

En cuanto a las plantaciones forestales de caucho las cuales representan cerca de 5000 ha sembradas en los predios de la plantación Mavalle s.a.s, son sitios con un alto potencial de acumulación de biomasa y secuestro de carbono, ya que aparte de ser arboles de aprovechamiento por su latex están cumpliendo funciones ecosistémicas de fijación de CO<sub>2</sub>; estas coberturas son de gran importancia en el momento de llegar a realizar estimaciones de capacidad de secuestro de carbono.

Con relación a este tema se han realizado estudios como el Moreno et al (2005), quienes lograron establecer los porcentajes de acumulación de biomasa y potenciales de secuestro de carbono en plantaciones de caucho de diferentes regiones de Colombia, estos autores ven en la posibilidad de llegar a cuantificar este servicio como



una entrada adicional de recursos económicos para los productores de caucho ya que estas plantas albergan gran cantidad de biomasa durante su ciclo productivo y se comportan de manera muy similar a coberturas boscosas. Para las plantaciones de Mavalle s.a.s. se logró determinar que con forme la plantación es más antigua mayor es su capacidad de acumular biomasa y por consiguiente de acumular carbono como se refleja en la Figura 18.

Una cobertura mas que fue muestreada y evaluada en el presente estudio es la que se encuentra dominada por vegetación de estrato herbáceo o rasante, se trata de plantas que no tienen tallos lignificados y su ciclo de vida solo dura un par de años, sin embargo estas plantas son económicamente importantes sobre todo para los ganaderos pues en las localidades visitadas la práctica principal de ganadería es la de tipo extensivo donde el ganado se alimenta a voluntad principalmente de gramíneas forrajeras como la braquiaria *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster la cual es una especie dominante en los potreros de ganadería activa.

Si bien existen estos pastizales dominados por una sola especie como es el caso del transecto uno realizado en pastizal, existen otro tipo de pastos enmalezados o rastrojados los cuales se encuentran en situación de abandono principalmente porque se busca incentivar procesos de regeneración natural, en estos pastizales se observó que la riqueza de especies es alta.

Esta vegetación herbácea también fue muestreada en sitios aledaños a cultivos de caña de azúcar en donde técnicamente se les denomina con el nombre de arvenses las cuales según García et al (1975), son plantas que representan una amenaza para los agricultores ya que estas compiten con las plantas sembradas y roban recursos nutricionales, es por esto que gran parte de los recursos económicos que se invierten en un cultivo están destinados al control y erradicación de estas plantas. Estas denominadas arvenses

Se debe tener en cuenta que a pesar de lo negativo que puedan llegar a ser las arvenses para los agricultores según Blanco & Leyva (2007), las arvenses cumplen un rol muy importante dentro del agroecosistema pues son las encargadas de prevenir procesos erosivos en suelos altamente degradados, permiten el ciclaje de nutrientes pues sus ciclos de vida son cortos y su biomasa se incorpora al sistema de forma relativamente rápida, además pueden ser hábitat de especies beneficios que pueden actuar como controladoras biológicas de plagas de los cultivos. Además de esto la vegetación herbácea también puede llegar a jugar un rol importante en el momento de realizar cuantificaciones de estimación de secuestro de carbono y ciclaje de nutrientes en el suelo, ya que al tener ciclos de vida cortos su biomasa es incorporada al sistema con relativa facilidad.

No se logró estimar la biomasa de las plantas herbáceas ya que no se cuenta con una metodología como la de las plantas arbóreas la cual permite hacer estimaciones de manera indirecta; para el caso de las hierbas la mediciones deben hacerse de forma directa hallando peso en fresco y después procesando el material en laboratorio para hallar el peso en seco, si bien es un método muy informativo y que puede arrojar muy buenos datos también es un método tedioso y que conlleva mucho tiempo lo cual por razones logísticas en el presente



estudio no se implementó. Para las herbáceas se estimaron en este estudio los porcentajes de cobertura con los cuales se llegó a establecer cuáles especies eran dominantes en cada transecto como resultado de esto se tiene que la dominancia de los pastizales y plantaciones de caña están dadas por plantas de la familia Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae.

#### 1.1.2.7 Conclusiones

Los muestreos realizados son un primer buen diagnóstico para conocer la riqueza de especies presentes en el polígono del área de estudio, aunque es importante tener en cuenta que los muestreos realizados no están mostrando la diversidad total de las especies, por lo que se hace necesario realizar más muestreos con el fin de conocer mejor la riqueza de especies de estas coberturas vegetales. Esto también aplica para las mediciones de biomasa aérea y acumulación de carbono ya que en una mayor área se pueden llegar a realizar mejores estimaciones.

Los bosques de galería son de gran importancia para el agroecosistema ya que de él se proveen recursos como el hídrico, usado a diario por agricultores y ganaderos, se debe propender por su conservación y también por el cuidado de sus especies tratando de evitar prácticas como la entresaca selectiva de especies de interés forestal, lo cual causa daños en la estructura y composición de los bosques.

#### 1.1.2.8 Recomendaciones

En el caso de la vegetación herbácea se deben realizar colectas de material en fresco de las especies con el fin de realizar estudios de biomasa, esto con el fin de conocer el potencial de acumulación de biomasa que tienen estas plantas.

En las parcelas de regeneración asistida que se encuentran en la empresa Mavalle s.a.s se recomienda realizar siembra de especies nativas y propias de bosques de galería ya que las especies sembradas actualmente a pesar de ser nativas no son propias de este tipo de bosques.

### 1.1.3 Escarabajos coprófagos en el ciclaje de nutrientes

La subfamilia Scarabaeinae es un grupo altamente diverso de escarabajos con cerca de 5.700 especies descritas en el mundo (Scholtz et al., 2009), de las cuales unas 1.300 especies habitan en el trópico y 283 se registraron en Colombia en el 2001 (Medina et al., 2001), sin embargo se estima que esta cifra puede llegar a 400 especies (Cultid et al., 2012). La principal característica ecológica de este grupo, es el aprovechamiento del excremento de vertebrados como fuente de alimento, siendo además utilizado como sustrato para la nidificación, actividad que incluye el traslado y protección del excremento en galerías al interior del suelo y el cuidado parental de la



cría (Halffter, G. y Halffter, 1989). Sin embargo, sus hábitos alimenticios y de nidificación, no se restringen a este único recurso, pues algunas especies son carroñeras y otras detritívoras, pueden alimentarse de frutos en descomposición, hongos, e incluso pueden ser depredadores de quilópodos, estar asociados a nidos de hormigas o a bromelias (Morón y Aragón, 2003).

De gran importancia para el funcionamiento de los ecosistemas, los escarabajos coprófagos participan en una amplia gama de procesos naturales entre los que se destacan el reciclaje de nutrientes, el mejoramiento de las condiciones del suelo, el control de parásitos e insectos vectores de enfermedades y la dispersión secundaria de semillas, que los relaciona directamente con la regeneración natural de los bosques e importantes servicios ecosistémicos (Nichols et al., 2007).

Debido a que muchas especies de escarabajos dependen de bosques nativos, los ensamblajes de escarabajos coprófagos son altamente vulnerables a la fragmentación y transformación de los hábitats naturales (Klein, 1989; Nichols et al., 2007; Gardner et al., 2008). Por lo tanto, han sido ampliamente estudiados como indicadores ecológicos de disturbios antrópicos (Halffter y Favila, 1993; Nichols et al., 2007; Gardner et al., 2008), y recientemente se han propuesto como un grupo clave en el monitoreo de procesos de restauración ecológica puesto que se relacionan directamente con la diversidad de vertebrados, reflejando procesos de colonización, abandono o uso de las nuevas coberturas por parte de los mismos (Spector, 2006; Nichols, et al., 2008; Cultid-Medina y Medina, 2015).

### ¿Por qué son importantes?

Los escarabajos Scarabaeinae, en conjunto con otros grupos de invertebrados como: moscas, lombrices, entre otros coadyuvan en: el **Ciclaje de nutrientes (excremento y carroña de vertebrados)** Al enterrar el excremento evitan la pérdida de Nitrógeno por volatilización del amoníaco (NH<sub>3</sub>), estimulando condiciones aeróbicas que favorecen bacterias amonificantes responsables de la mineralización del N, por tanto se incrementa la fertilidad del suelo al aumentar la disponibilidad de N para absorción por las plantas a través de la mineralización, además de otros nutrientes como: P, K, N, Ca y Mg. Las especies de mayor tamaño son mucho más eficientes en la limpieza de pastos, en ausencia de estos se puede perder hasta un 75% del ciclaje de excremento en pasturas); **la Bioturbación** (desplazamiento y mezcla de partículas del suelo) dado que aumentan la aireación y porosidad del suelo, contribuyen a la descompactación del mismo y mejoran las condiciones de las relaciones de mutualistas con las micorrizas **y el Control biológico**, generando disminución significativa en la larva de nematodos de estrongilo (parásitos intestinales equinos) emergente del estiércol de ganado (Bryan 1973), la reducción en hasta 15 veces de la aparición de *Ostertagia ostertagi* (gusano parásito estomacal) con el aumento de 5 veces de la población de escarabajos en relación con pastos libres, y 3.7 veces con niveles naturales de escarabajos (Pastos de EEUU) (Fincher, 1973), disminución en poblaciones de moscas que reducen la productividad del ganado y que representan una enorme carga financiera para los productores de ganado por gastos en control (Pastos de EEUU) (Byford et al., 1992) y de los huevos de anzuelo y gusano redondo en casi el 100% en pastos (Miller, 1961), por cuatro especies de *Canthon* y *Phanaeus*.



- i. **Tienen Alta sensibilidad** ante cambios ambientales y perturbación antrópica
- ii. **Los métodos de muestreo son sencillos y estándar**, por lo que el inventario de estos insectos es económico, práctico y representativo en poco tiempo. Hace parte de la “evaluación rápida del ecosistema”, comprobándose su efectividad en un alto porcentaje. No es necesario realizar identificaciones a nivel de especie para aplicar los índices, sino que basta con realizar el reconocimiento a nivel de familia.
- iii. **Son taxonómicamente accesibles** a comparación de otros grupos de insectos
- iv. **Tienen alta correlación con otros taxones**, especialmente con mamíferos
- v. **Poseen una amplia distribución geográfica**, lo que permite comparaciones en diferentes escalas espaciales y temporales
- vi. **Son utilizados en el monitoreo de la biodiversidad o como indicadores de salud ambiental**

#### 1.1.3.1 *Fase de reconocimiento*

Se realizó la salida de campo en el municipio de Puerto López en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela, en los predios de la Vereda Remolino: Finca La Nueva y Cafam, predios de la empresa MAVALLE y en la Finca La Esmeralda. En cada uno se tomaron diferentes coberturas vegetales representativas del paisaje de la zona: Pastizales con fines de ganadería, plantación de caña, bosque de galería y cultivo de caucho, para este último, se seleccionaron tres diferentes “edades” que están relacionadas con el año en el cual fueron sembrados: 1997, 2008 y 2011. La identificación y selección de cada una de las coberturas se hizo a partir de visitas preliminares a la microcuenca.



Figura 50 Ubicación de las coberturas de muestreo en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela

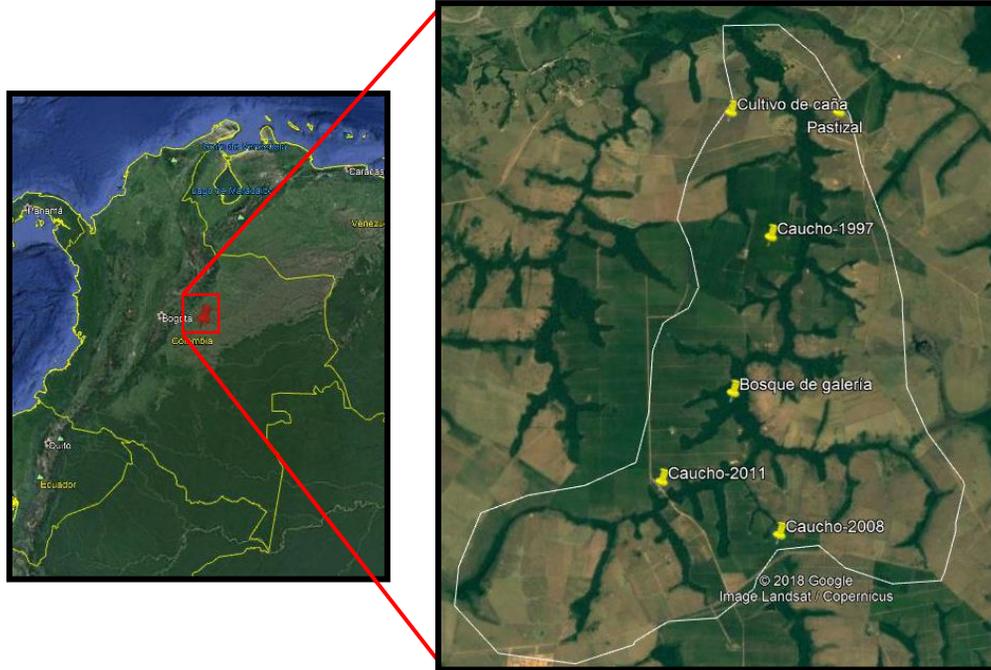


Figura 51 Coberturas muestreadas en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela. A) Pastizal B) Plantación de caña. C) Bosque de Galería. D) Cultivo de caucho-1997. E) Cultivo de caucho-2008. F) Cultivo de caucho-2011

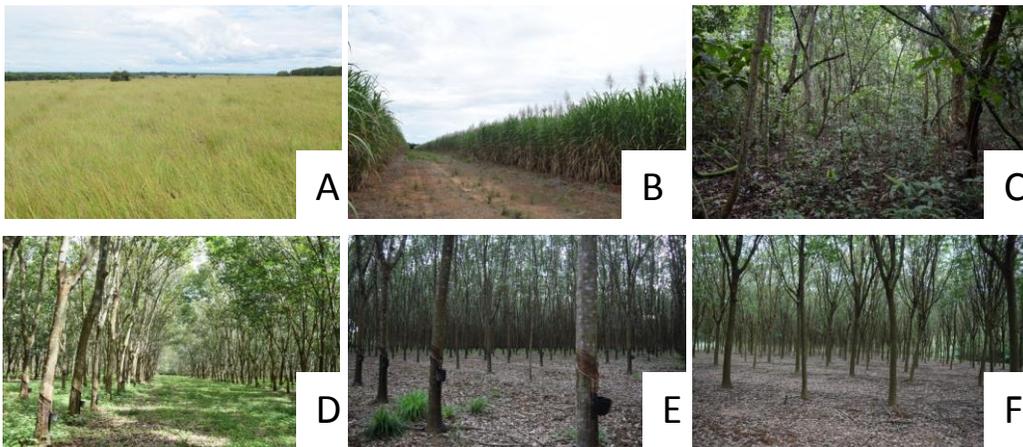


Tabla 11 Puntos de muestreo

					Coordenada	
	Finca La Nueva	Cafam	Finca La Esmeralda	MAVALLE	Latitud	Longitud
Pastizal		X			72°32'45.4"W	4°16'31.5"N
Cultivo de Caña		X			72°34'17.6"W	4°16'38.9"N
Bosque de Galería				X	72°34'4.8"W	4°13'33.7"N
Cultivo de Caucho 1997				X	72°33'32.8"W	4°11'57.2"N
Cultivo de Caucho 2008			X		72°34'54.9"W	4°12'34.5"N
Cultivo de Caucho 2011				X	72°34'11.3"W	4°15'7.1"N



### 1.1.3.2 Metodología de muestreo

La metodología aplicada para el muestreo de escarabajos coprófagos se basó en lo descrito por Cultid *et al.* (2012), que consiste en instalar trampas de caída tipo “pitfall” cebadas con excremento humano y con carroña (mollejas de pollo). Las trampas con cebo consisten en enterrar a ras de suelo un vaso de 14 onzas, el cual contiene la mitad de su capacidad una solución de agua y alcohol en proporción 1/1 (Fig. 53A). El cebo fue colocado dentro un cuadro de tela de tul negra de aproximadamente 30cm<sup>2</sup> suspendido por un palillo a una altura de 10cm para que los insectos sean atraídos a la trampa de caída por medio del olor (Villarreal *et al.*, 2006) (Fig. 53B). Los vasos junto al cebo se cubren con un plato plástico sostenido por palillos de madera en forma de techo para evitar la colmatación de la trampa por efectos de la precipitación que se presenten en la zona de estudio (New, 1998; Díaz *et al.*, 2007) (Fig. 3C). Este tipo de trampas con atrayente es una de las técnicas más eficientes a la hora de capturar una muestra significativa de la riqueza y abundancia relativa de especies de escarabajos coprófagos en una localidad (Villarreal *et al.*, 2006) (Fig. 53D).

Se instalaron 6 trampas por cobertura, distanciadas una de la otra por mínimo 50m, en un transecto recto siempre y cuando las condiciones del terreno lo permitieron, para un total de 36 en todo el muestreo. Cada trampa fue revisada a las 24, 48 y 72 horas de instaladas y la hora de revisión, fecha, tipo de trampa tipo de cobertura se documenta en el formato para toma de datos de campo. El material colectado en cada revisión fue transportado en bolsas de cierre hermético tipo “ziploc” etiquetadas con el número de trampa, el tipo de cobertura, la fecha y el tipo de cebo utilizado, desde la zona de muestreo hasta el campamento, donde las muestras fueron fijadas en alcohol al 96% para su transporte al laboratorio de entomología del Museo de Historia Natural “Luis Gonzalo Andrade” de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.



Figura 52 Metodología Trampas pitfall o de caída. A) Montaje de trampas. B) Montaje del cebo. C) Trampa pitfall. D) Escarabajos capturados en la trampa.



### 1.1.3.3 Fase de laboratorio

La identificación taxonómica de los especímenes se hizo con ayuda de claves especializadas (Génier, 1998; Medina y Lopera-Toro, 2000; Génier y Kohlmann, 2003; Vaz de mello et al., 2011; Edmonds y Zidek, 2012; Sarmiento-Garcés y Amat-García, 2014), además, debido a la ausencia de revisiones recientes de géneros con una alta diversidad en Colombia como: *Canthon*, *Canthidium*, *Onthophagus* y *Uroxys* (Medina y González, 2014; Martínez-Relevo y Medina, 2017), se hizo necesario la comparación con la Colección de Referencia de Escarabajos Coprófagos del Instituto Humboldt (CRECC) para poder asignarle una morfoespecie, las cuales están nombradas con un código único formado por el nombre del género, la abreviatura de especie (sp.). más un número único acompañado de la letra H, letra que indica que el ejemplar de referencia se encuentra en la colección del Instituto Humboldt (Medina y González, 2014). La CRECC es una colección nacional donde se ha unificado las identificaciones de las especies de escarabajos coprófagos de toda Colombia, cada una sometida a una rigurosa revisión por medio de la comparación con descripciones originales, comparaciones con otras especies, y con la verificación taxonómica de morfología externa y genitalia de macho (Medina y González,



2014). Las muestras serán depositadas en la colección de Entomología del Instituto Humboldt, siguiendo las especificaciones de etiquetado y catalogación de ejemplares de esta, junto con una base de datos siguiendo el formato de la plantilla Darwin Core 4.0.

#### 1.1.3.4 *Análisis de datos*

##### 1.1.3.4.1 *Composición*

Además de presentar el listado de especies, se hizo un análisis de las especies amenazadas presentes durante el muestreo y la especificidad de hábitat.

##### 1.1.3.4.2 *Representatividad/ esfuerzo de muestreo*

Para dar fiabilidad al muestreo y estimar el esfuerzo requerido para conseguir la totalidad de especies en la microcuenca de Piedra Candela, se realizó una curva de acumulación de especies (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Para estimar el número de especies esperadas se utilizaron los estimadores no-paramétricos Chao 1, Jackknife 1 y Bootstrap por medio del programa EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013). El primer estimador le otorga una mayor relevancia al número de especies raras (Magurran, 2004), mientras que los siguientes se basan en la presencia o ausencia de las especies y su distribución dentro de las muestras (Moreno, 2001).

##### 1.1.3.4.3 *Diversidad alfa*

Debido a las dificultades que surgen a la hora de poder comparar los distintos índices que describen la diversidad (Simpson, Shannon, Shannon-Wiener, Margalef... etc.) ya que cada uno de ellos se expresan en diferentes unidades, el análisis e interpretación se vuelve tedioso al momento de realizar comparaciones. Por lo anterior, es que se emplearon los análisis de diversidad verdadera basados en los números efectivos de especies a partir de la transformación de  $qD$  (Moreno et al., 2011) para los análisis de diversidad alfa en cada una de las ventanas.

El exponente  $q$  determina la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de cada especie, es decir, la influencia de las especies raras o comunes sobre la medida de la diversidad (Jost, 2006). Así, la diversidad de orden cero ( $q = 0$ ) es insensible a las abundancias de las especies, por lo que es equivalente a la riqueza de especies; para la diversidad de orden uno ( $q = 1$ ) todas las especies son incluidas con un peso proporcional a su abundancia; y, por último, en la diversidad de orden 2 ( $q = 2$ ) se da preponderancia a las especies más comunes (Hill, 1973; Moreno et al., 2011). Los análisis estadísticos para la diversidad alfa se realizaron mediante el programa R con el paquete estadístico iNEXT (Hsieh et al., 2016)



#### 1.1.3.4.4 *Diversidad beta*

El análisis de diversidad beta será realizado entre coberturas en cada una de las ventanas, por medio de un dendrograma de similitud basado en el índice de Jaccard, el cual valora la composición entre sitios, dando como resultado valores entre 0 cuando no hay especies compartidas hasta 1 cuando los sitios presentan las mismas especies (Moreno, 2001). Los análisis fueron hechos por medio del programa PAST 3 (Hammer et al., 2001).

#### 1.1.3.4.5 *Servicios ecosistémicos*

Para poder determinar la importancia de los escarabajos coprófagos se tuvieron en cuenta sus funciones ecosistémicas; para lo anterior, se usaron 3 características en combinación para poder identificar los grupos funcionales o gremios de especies que componen las comunidades de escarabajos coprófagos en cada una de las ventanas siguiendo los criterios de Barragán et al., (2011). La primera tiene que ver con la reubicación del recurso, del cual se derivan tres categorías: A) telocopridos o rodadores, son aquellos que al llegar al estiércol forman una esfera y la ruedan por cierta distancia y luego la entierran, o muy esporádicamente la dejan en la superficie del suelo. B) paracopridos o cavadores, entierran porciones de estiércol en túneles que se extienden directamente hacia abajo o en un ángulo oblicuo al sitio donde originalmente se depositó el estiércol. C) endocopridos o residentes, son los escarabajos que viven y anidan dentro del estiércol. Esta información sobre reubicación del recurso y anidación fue basada en (Halffter y Edmonds, 1982). La segunda característica es el tamaño del escarabajo, generalmente se usa la longitud total y las especies son categorizadas en pequeñas cuando el tamaño total es de menos 10 mm y las especies grandes de más 10 mm. La tercera característica usada es la dieta, especies coprófagas tienen una fuerte afinidad al excremento y las especies necrófagas prefieren la carroña.

#### 1.1.3.4.6 *Especies con alto valor de conservación*

Los criterios utilizados para categorizar a las especies de alto valor de conservación, para cada una de las ventanas de estudio, están basados en los usados en Martínez-Relevo y Medina (2017). Cuando la especie cumple con el criterio, la casilla correspondiente será marcada con un “Si”, de esta manera se consideraron especies con alto valor de conservación a las que cumplieron con el 75% de los criterios establecidos.

1. Tamaño. Las especies de mayor tamaño son más importantes ecológicamente debido a que pueden llegar a remover mayores cantidades de excremento, además, necesitan mayores cantidades de excremento por lo que se asocian a zonas mejor conservadas. Si el tamaño de la especie es mayor a 1cm se considera grande.
2. Frecuencia de colecta. Se da prioridad a las especies con baja frecuencia de captura debido a que sus poblaciones pueden estar afectadas por pérdida o transformación de la cobertura. Se seleccionan a especies con frecuencias menores al 10% del total de capturas del muestreo.



3. Estacionalidad. Selecciona especies que estén presentes durante las diferentes épocas del año: seca y lluvia.
4. Movilidad. Este criterio selecciona a especies sin capacidad de cruzar espacios con condiciones inadecuadas o que solo se pueden mover por la cobertura vegetal asociada, de manera que encontrarlas en otras coberturas, como por ejemplo sabanas, puede ser el resultado de desplazamiento por las barreras y no por los corredores.
5. Distribución. Selecciona especies registradas en un solo hábitat, cobertura vegetal y/o ecosistema en el área de estudio. Aquellas especies que son encontradas en dos o más hábitats se les consideran de distribución amplia.
6. Funcionalidad. Con este criterio se busca seleccionar especies que se detecten en un solo atrayente, denominadas especies estenófagas o especializadas en un solo recurso alimenticio.
7. Singularidad genética. Este criterio se relaciona a la importancia de los endemismos con relación a la taxonomía de la especie. De igual manera, establece prioridad a especies con importancia de investigación según criterios de los investigadores. También se consideran si es la única especie por género presente en cada departamento o en área de estudio.
8. Grupos funcionales. Este criterio tiene en cuenta la forma de relocalización del alimento: endocoprído, telecoprído y paracoprído. Por lo que se seleccionan especies con hábitos paracoprídos y telecoprídos considerados patrones más complejos que los endocoprídos y se relacionan a funciones ecológicas importantes, como la formación de túneles, remoción de excremento y dispersión secundaria de semillas.

### 1.1.3.5 Resultados

#### 1.1.3.5.1 Composición

En total, se colectaron 2389 individuos, 568 con cebo de carroña (26 especies) y 1821 (29 especies) con cebo de excremento, distribuidos en 14 géneros y 32 especies (Tabla 12), de las cuales a 16 se les asignó código de la CRECC y 16 fueron identificadas a especie.

El género más abundante fue *Onthophagus* con 541 individuos, representando el 22.6% del total de escarabajos colectados, seguido de *Canthon* con 479 (20.1%), *Anisocanthon* con 331 (13.9%) y *Canthidium* con 319 (13.4%). Los géneros menos abundantes fueron *Phanaeus* con el 1.0% del total (23 ind.), *Pseudocanthon* con 0.8% (20 ind.), *Coprophanaeus* con 0.8% (19 ind.), *Deltochilum* 0.5% (12 ind.) y *Trichillum* con el 0.1% (2 ind.). El género con mayor riqueza fue *Canthon* con 8 especies, seguido de *Onthophagus* con 4 y *Canthidium* junto a *Dichotomius* con 3; los géneros *Coprophanaeus*, *Eurysternus*, *Phanaeus* y *Uroxys* presentan dos especies con menos especies fueron, y *Anisocanthon*, *Deltochilum*, *Ontherus*, *Pseudocanthon*, *Sylvicanthon* y *Trichillum* solo están representados por una especie.



Tabla 12: Listado de especies colectadas y su abundancia en cada una de las coberturas vegetales en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela

Especies	Cobertura vegetal						Total
	Bosque de Galería	Cultivo de Caña	Cultivo de Caucho-1997	Cultivo de Caucho-2008	Cultivo de Caucho-2011	Pastizal	
<i>Anisocanthon villosus</i>		2	116	162	51		331
<i>Canthidium sp. 16H</i>			8	292	15		315
<i>Canthidium sp. 17H</i>		1			1		2
<i>Canthidium sp. 36H</i>				1	1		2
<i>Canthon acutooides</i>	1				2		3
<i>Canthon luteicollis</i>	60	1	3	45	24		133
<i>Canthon septemmaculatus</i>		7					7
<i>Canthon sp. 01H</i>		2	5	5	1	4	17
<i>Canthon sp. 02H</i>			2	3			5
<i>Canthon sp. 06H</i>	1	6	70	132	28	10	247
<i>Canthon sp. 07H</i>		3				19	22
<i>Canthon sp. 21H</i>	30	3		11		1	45
<i>Coprophanæus gamezi</i>		1				2	3
<i>Coprophanæus telamon</i>	9	1		2	2	2	16
<i>Deltochilum sp. 05H</i>				12			12
<i>Dichotomius mamillatus</i>	3		6	1			10
<i>Dichotomius nisus</i>	6	40	1	20	2	15	84
<i>Dichotomius podalirius</i>	2				3		5
<i>Eurysternus caribæus</i>	68		2	18	5		93
<i>Eurysternus hamaticollis</i>	1						1
<i>Ontherus appendiculatus</i>	2	107	2	13	11	23	158
<i>Onthophagus landolti</i>		3		4	2		9
<i>Onthophagus marginicollis</i>		1	3	26	30		60
<i>Onthophagus sp. 05H</i>	14		10	25	11		60
<i>Onthophagus sp. 07H</i>	210		34	95	73		412
<i>Phanaeus chalcomelas</i>	12		3	6	1		22
<i>Phanaeus haroldi</i>		1					1
<i>Pseudocanthon sp. 02H</i>		17				3	20
<i>Sylvicanthon sp. 01H</i>	169		3	7	11		190
<i>Trichillum sp. 01H</i>				1	1		2
<i>Uroxys sp. 03H</i>	6		3	13	22	1	45
<i>Uroxys sp. 04H</i>	11		2	16	28		57
<b>Total</b>	<b>605</b>	<b>196</b>	<b>273</b>	<b>910</b>	<b>325</b>	<b>80</b>	<b>2389</b>



1.1.3.5.2 *Representatividad/ esfuerzo de muestreo*

Al observar la figura de la curva de acumulación de especies (Figura 54), se infiere que el utilizar 6 trampas cebadas con excremento humano y carroña (3 para cada cebo) y tenerlas activadas por un tiempo de 72 horas, representa un muestreo representativo y de gran calidad, ya que cada una de los estimadores alcanzan la asíntota esperada, por lo que el esfuerzo de muestreo hecho en las coberturas fue suficiente para alcanzar a coleccionar la gran mayoría de especies presentes en la microcuena. Lo anterior es confirmado por medio de los análisis de los estimadores, los cuales predicen que hay entre 32 y 34 especies en la microcuena, por lo que el muestreo realizado representó entre un 94%-99% de todas las especies que se pueden llegar a encontrar



Figura 53 Curva de acumulación de especies para escarabajos coprófagos en la Microcuena de la quebrada Piedra Candela

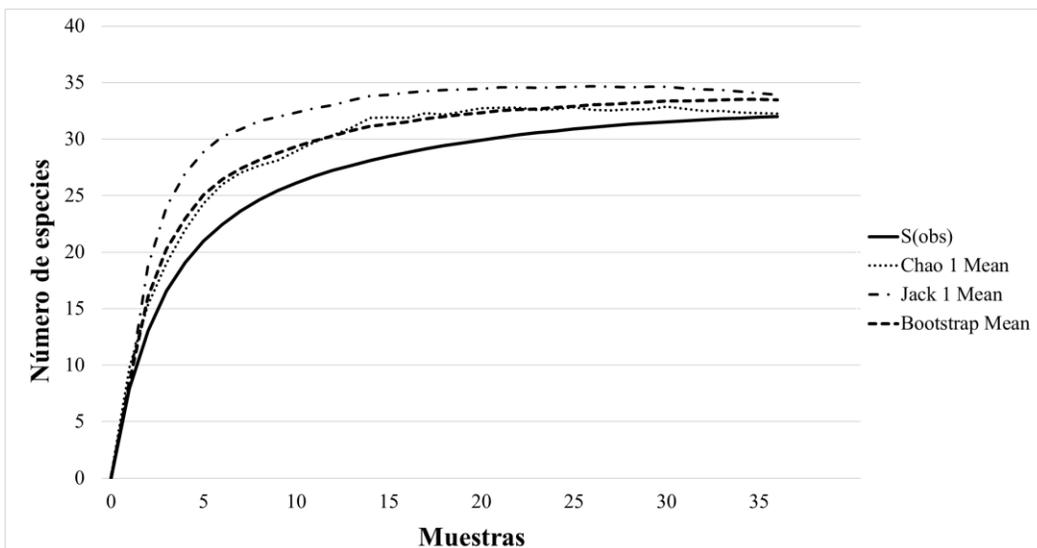


Tabla 13: Estimadores de riqueza de escarabajos coprófagos para la Microcuena Piedra Candela

Estimadores de Riqueza	Microcuena Piedra Candela	%
<b>Muestras</b>	36	
<b>Individuos</b>	2389	
<b>Riqueza</b>	32	
<b>Chao 1 Mean</b>	32	99
<b>Jackknife 1 Mean</b>	34	94
<b>Bootstrap Mean</b>	33	96

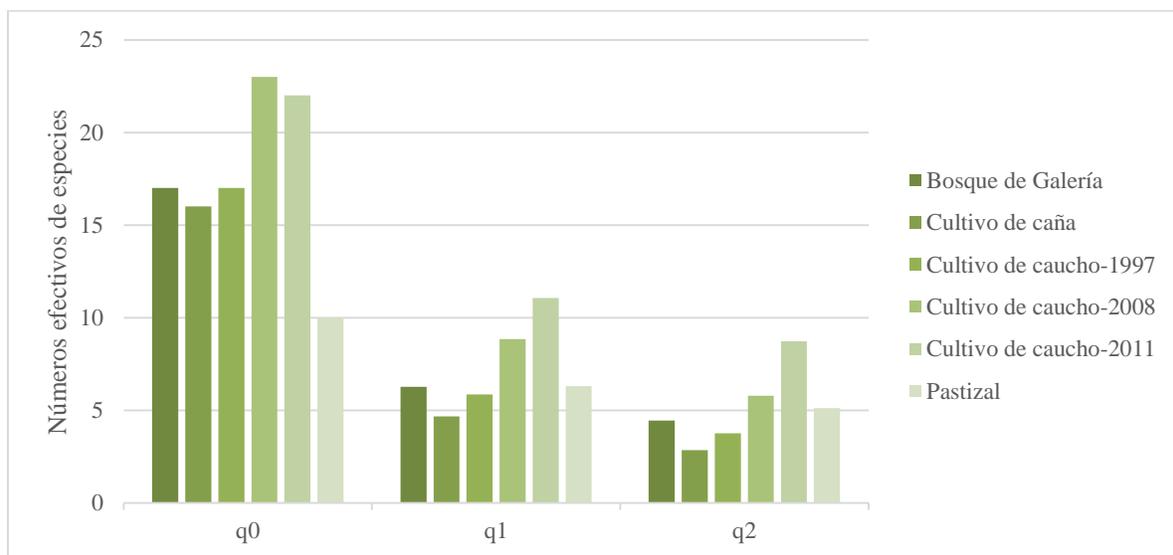


#### 1.1.3.5.3 *Diversidad alfa*

Los análisis de diversidad alfa para las diferentes coberturas en la microcuenca (Fig. 55), teniendo en cuenta la riqueza ( $q=0$ ) describen al cultivo de caucho-2008 y al cultivo de caucho-2011 como las coberturas con mayor número de especies: 23 y 22 respectivamente; un segundo grupo se evidencia, el bosque de galería y el cultivo de caucho presentan 17 especies y el cultivo de caña con 16 especies. Por último, el pastizal presenta solo 10 especies, siendo la cobertura que menor riqueza de escarabajos tiene. Al tener en cuenta la influencia de la abundancia relativa de cada una de las especies sobre la medida de la diversidad ( $q=1$ ) y teniendo en cuenta las especies más comunes, la diversidad en el cultivo de caucho-2011 es mayor, seguido del cultivo de caucho-2008, y el menos diverso el cultivo de caña.



Figura 54 Diversidad Alfa para los ecosistemas presentes en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela

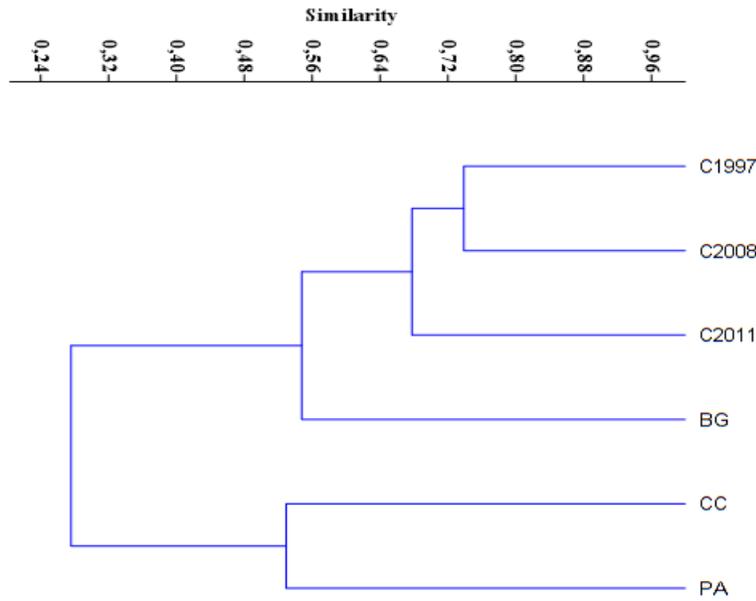


#### 1.1.3.5.4 *Diversidad beta*

Los análisis de diversidad beta basado en el índice de Jaccard muestran dos agrupaciones. Por un lado, se agrupan el cultivo de caña y el pastizal con una similaridad del 52%, y, por otro lado, los tres tipos de cultivo de caucho y el bosque de galería con una similaridad del 55%, mientras que los cultivos de caucho son similares entre sí por aproximadamente el 68% de las especies, y el cultivo de caucho-1997 y el cultivo de caucho-2008 se asemejan por un 73% de la composición de especies de escarabajos.



Figura 55 Diversidad beta. Cluster de similitud basad en índice de Jaccard para las coberturas vegetales presentes en la Microcuena de la Quebrada Piedra Candela. BG: Bosque de Galería. CC: Cultivo de caña. PA: Pastizal. C1997: Cultivo de cacho-1997. C2008: Cultivo de cacho-2008. C2011: Cultivo de cacho-2011



1.1.3.5.5 *Servicios ecosistémicos: Grupos funcionales*

En total, para la microcuena se presentan 5 grupos funcionales. El grupo más abundante son los pequeños cavadores con el 40.4% del total, seguido de los pequeños rodadores (28.9%), gran rodadores (14.3%), gran cavador (12.5%) y por último el grupo de los residentes (3.9%). En cuanto a cada una de las coberturas, los cultivos de cacho son las coberturas con mayor representatividad de cada uno, el cultivo de cacho sembrado en el 2008 es quien presenta los 5 grupos funcionales y en gran abundancia con relación a las demás, donde los grupos de pequeños cavadores y rodadores son los más abundantes con el 49.1% y 45.4% respectivamente; el cultivo de cacho-2011 tiene mayor representatividad de los pequeños cavadores (19.1%), mientras que el cultivo de cacho-1997 los pequeños rodadores con el 28% son los más abundantes. El bosque de galería los residentes (73.4%) y los grandes rodadores (67%) son los grupos dominantes sobre los demás. En pastizal solo se presenta 3 grupos funcionales: grandes cavadores (14%), pequeño rodadores (5.4%) y pequeño cavador (0.1%) (Figura 57).



Figura 56 Grupos funcionales de escarabajos coprófagos en la Microcuenca de la Quebrada Piedra Candela

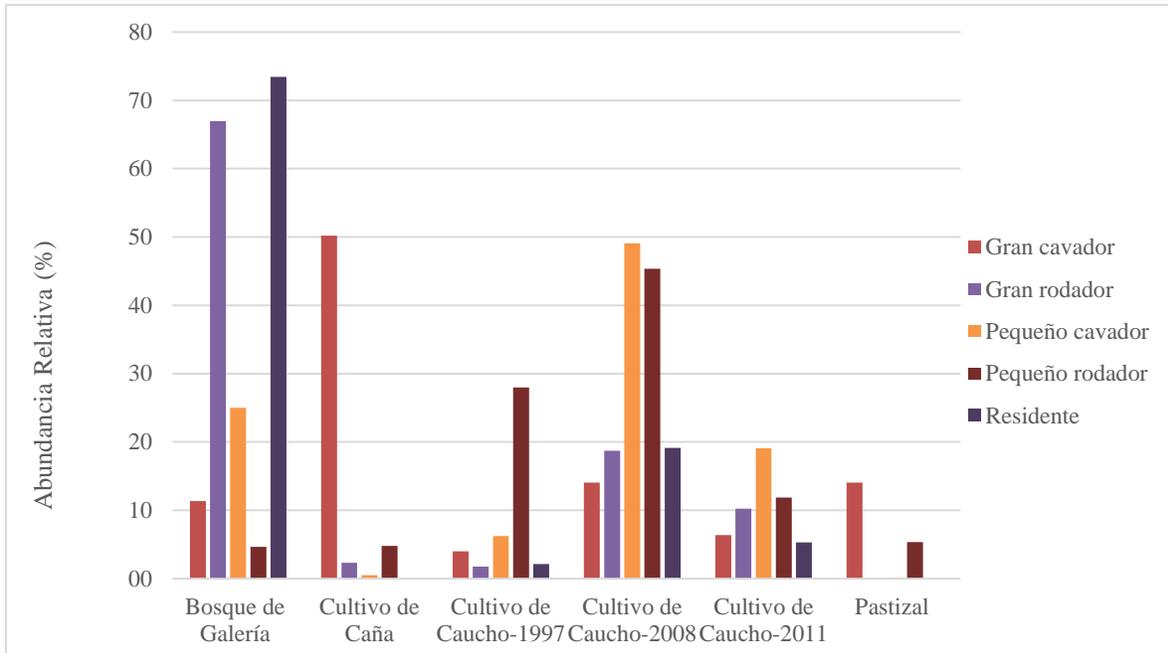


Tabla 14: Abundancia relativa (%) de los grupos funcionales presentes en cada una de las coberturas de la Microcuenca Piedra Candela

Cobertura	Gran cavador	Gran rodador	Pequeño cavador	Pequeño rodador	Residente	Total
Bosque de Galería	11.4	67.0	25.0	4.6	73.4	25.3
Cultivo de Caña	50.2	2.3	0.5	4.8	0.0	8.2
Cultivo de Caucho-1997	4.0	1.8	6.2	28.0	2.1	11.4
Cultivo de Caucho-2008	14.0	18.7	49.1	45.4	19.1	38.1
Cultivo de Caucho-2011	6.4	10.2	19.1	11.9	5.3	13.6
Pastizal	14.0	0.0	0.1	5.4	0.0	3.3
<b>Total</b>	<b>12.5</b>	<b>14.3</b>	<b>40.4</b>	<b>28.9</b>	<b>3.9</b>	

#### 1.1.3.5.6 Especies con alto valor de conservación

Teniendo en cuenta los criterios descritos, no hay ninguna especie a la cual se le pueda atribuir un alto valor de conservación, sin embargo, la utilización y aplicabilidad de estos criterios aún son muy incipientes, por lo que hay que tener cuidado con la forma en que se emplean y sobretodo, la forma en que se interpretan. A pesar de este resultado, dentro de los escarabajos colectados hay especies registradas en la lista roja UICN por lo que se



evidencia que el proceso de evaluación del estatus y criterios para evaluar los estados de conservación para las especies de escarabajos coprófagos en Colombia está apenas iniciando y seguramente muchas especies serán categorizadas en algún grado de amenaza o vulnerabilidad por sus requerimientos de hábitat y distribuciones restringidas (Martínez-Relevo y Medina, 2017).

#### 1.1.3.6 *Discusión*

##### 1.1.3.6.1 *Composición*

De los 24 géneros y 105 especies registrados para la región de la Orinoquia Colombiana (Medina et al., 2009), en la microcuenca de la quebrada Piedra Candela la riqueza observada representa el 31% de las especies y el 58% de los géneros para esta región.

En comparación con otros estudios en el departamento del Meta, se supera el número de especies y géneros a pesar de que fueron estudios en ecosistemas naturales de la altillanura. Castellanos (1999) reportan 19 especies en 9 géneros en el Parque Nacional Natural Tinigua, donde el género más abundante es *Canthon* con 4 especies; Noriega et al. (2007) en la Finca Mozambique, parte central del departamento, reportan 22 especies y 12 géneros, con *Dichotomius* como el género con mayor riqueza. Sin embargo, Amézquita (1999) reporta una diversidad similar con 32 especies y 14 géneros para Puerto Colombia en época de baja precipitación, con el género *Canthon* como el de mayor riqueza (4 especies) y abundancia; en tanto, otros estudios para ecosistemas de altillanura algunos autores reportan una mayor diversidad que la registrada en la microcuenca de la quebrada Piedra Candela: para el PNN Tinigua, Noriega (2004) reporta una mayor diversidad con 57 especies distribuidas en 15 géneros, con el género *Dichotomius* como el de mayor riqueza (10 especies), seguido de *Canthon* con 8 especies; y más recientemente, Martínez-Relevo y Medina (2017) reportan para los ecosistemas naturales del Río Bitá 17 géneros y 34 especies. Si se tiene en cuenta el gran número de especies sin identificación específica que solo han sido determinadas a género más la abreviatura “sp.”, el número de nuevos registros para la Orinoquia podría ser aún mayor y podría generar una facilidad a la hora de poder hacer comparaciones regionales, entre estudios ecológicos y en diferentes localidades y zonas del país, por ejemplo, en varias publicaciones de diferentes localidades se registra *Canthon* sp. pero estos registros no pueden ser comparados entre sí pues no se sabe si se refieren a la misma especie de *Canthon* (Medina y González, 2014)

Lo anterior evidencia una deficiencia de estudios sobre la diversidad en ecosistemas transformados de la altillanura del departamento del Meta, donde se describa no solo la riqueza y abundancia de los escarabajos coprófagos, sino también se tenga en cuenta análisis de rasgos funcionales y funciones ecosistémicas que deriven en el entendimiento de los servicios ecosistémicos que estos insectos pueden estar brindando en cada una de las coberturas de interés. Es así, que nuestros resultados pueden ser de gran interés a la hora de entender el funcionamiento del ensamblaje de los escarabajos en los paisajes agropecuarios en el departamento del Meta, y puede ser una base para estudios posteriores.



En nuestros resultados, el género con mayor riqueza fue *Canthon* con 8 especies, incluso en los estudios de referencia nombrados anteriormente. Esta alta riqueza es posiblemente debido a la gran variedad de hábitats que pueden llegar a ocupar las especies de estos géneros y sus hábitos generalistas, ya que como lo menciona Díaz (1997) muchas especies de *Canthon* están adaptadas a una gran cantidad de hábitats específicos como bosques internos, ecotonos y sabanas, presentando una amplia distribución y diversos hábitos de vida en la región neotropical (Vieira y Silva, 2012).

De todas las especies capturadas, solo una ha sido categorizada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN con algún grado de amenaza: *Canthon septemmaculatus*, la cual fue capturada en el cultivo de caña (7 individuos) y en los pastizales. Esta se encuentra en categoría de preocupación menor (LC) debido al reemplazo de las coberturas boscosas con fines de ganadería extensiva (Vaz-de-Mello et al., 2014). Este bajo número (Vaz-de-Mello, F., Larsen, T., Silva, F., Gill, B., Spector, S. & Favila, 2014b) de especies categorizadas no representa el estado de amenaza o vulnerabilidad de los escarabajos coprófagos de la Orinoquia colombiana, y como ya se había mencionado en el ítem 6.6, solo es un reflejo de la falta de conocimiento en aspectos poblaciones y ecológicos que limita aplicación de criterios para asignar las especies de escarabajos coprófagos a las diferentes categorías de amenaza según los criterios de la UICN (Martínez-Relevo y Medina, 2017).

#### 1.1.3.6.2 Representatividad/ esfuerzo de muestreo

A pesar que la curva de acumulación de especies muestra un inventario completo, aún existen registros que pueden estar siendo excluidos debido a que el esfuerzo de muestreo empleado fue el mínimo requerido para realizar inventarios de escarabajos (Cultid et al., 2012), por lo que si se aumentara este esfuerzo quizás se pueda tener una mayor cantidad de registros de especies que son típicas para los ecosistemas de la altillanura como: *Canthon triangularis* (predomina en ecosistemas de sabanas abiertas según Escobar, 2000) *Oxysternon conspicillatum*, *Gromphas lemoinei*, *Sulcophanaeus leander*, *Phanaeus hermes*, *Phanaeus cambeforti*, *Coprophanes gamezi* registrados para ecosistemas de la Orinoquia colombiana (Noriega, 2002; Medina y Pulido, 2009; Giraldo et al., 2018). Otro factor limitante para las especies antes mencionadas no capturadas puede ser las altas precipitaciones en la época de muestreo, ya que estas son especies de escarabajos cavadores de gran tamaño que hacen galerías profundas en el suelo y sus ciclos deben estar asociados a la época seca cuando pueden hacer sus nidos (Noriega et al., 2015). Esta nueva información registrada en los ecosistemas agropecuarios es de gran importancia para conocer la riqueza de escarabajos en el departamento del Meta, y por ende, en la Orinoquia Colombiana, ya que como menciona Noriega et al. (2015), de toda esta región geográfica, solo el 5.3% esta con algún registro para el grupo de escarabajos (Scarabaeidae: Sacarabaeinae), y en su mayoría en ecosistemas naturales y no transformados, lo que la convierte en la región más pobremente muestreada, teniendo en cuenta el número de localidades (32) y la cobertura (14.917km<sup>2</sup>).



#### 1.1.3.6.3 *Diversidad alfa*

La baja diversidad en los bosques de galería en comparación a los cultivos de caucho-2008 y 2011, refleja el impacto de los cambios de las coberturas naturales sobre la diversidad de escarabajos, de aquí la disminución en el número de especies, en la abundancia y los cambios en la composición (Barragán et al., 2011), además, el tamaño del bosque de galería muestreado puede estar influyendo sobre la diversidad de escarabajos, ya que en coberturas de tamaño pequeño la riqueza es menor en comparación a parches de bosque con un mayor tamaño, debido a la mayor complejidad de microhabitats y recursos que pueden brindar (Halfter y Arellano, 2001).

Otro factor al que se le puede atribuir los cambios en diversidad entre las coberturas es la época de alta precipitación en la cual se realizaron los muestreos, ya que esta tiene un efecto negativo en el número de especies, por lo que a medida que aumenta la inundación la riqueza disminuye (Uetz et al., 1979). Las inundaciones en los suelos del bosque al parecer puede ser un factor limitante a la hora del establecimiento de las poblaciones de escarabajos, ya que como lo describe Gámez (2004), algunas especies son sensibles a estos cambios en el suelo y pueden llegar a presentar una estacionalidad muy marcada, esto debido a que en épocas de alta precipitación las especies buscan suelos más aptos para la nidificación, evitando las restricciones de alta humedad que impiden el establecimiento de nidos en galerías al interior del suelo (Sowig, 1995).

Por último, la disponibilidad de recurso alimenticio puede ser otra restricción para la presencia de los escarabajos, el cual está ligado a la presencia de mamíferos, aves y reptiles, por lo que la presencia de grandes mamíferos como venados y osos hormigueros en los cultivos de caucho (Laura Amaya-Ingeniera ambiental MAVALLE SA *com pers.*), y la presencia de aves de gran tamaño como carpinteros (Martínez D.C., *obs. pers.*) puede estar induciendo un aumento en la cantidad y variedad del recurso que repercute directamente en un traslado de los escarabajos hacia estas zonas y por ende un aumento en la diversidad del ensamblaje de escarabajos (González-Alvarado y Vaz-De-Mello, 2014; Louzada et al., 2007).

#### 1.1.3.6.4 *Diversidad Beta*

Al igual que González-Tokman et al. (2018), nuestros análisis de diversidad beta, agrupa las formaciones boscosas, tanto de cultivos de caucho como al bosque de galería, y los separa de las coberturas abiertas como cultivo de caña y pastizal. En primer lugar, las similitudes entre los cultivos de caucho y el bosque de galería pueden deberse a la confluencia de estos y a las pequeñas migraciones que existen debido a las inundaciones y oferta de recurso (Ver ítem 7.3), es por esto, que el cultivo de caña y los pastizales son agrupados por separado de las demás, por ser coberturas que no presentan una cercanía con el bosque de galería o a los cultivos de caucho, pero si entre ellas. Estas similitudes, sobre todo entre los cultivos, es un fiel reflejo del flujo de individuos a causa de las similitudes en la estructura vegetal, ya que al conservar estas características sirven como corredor para los desplazamientos, por lo que la estructura vegetal define las diferencias y semejanzas



entre las condiciones bióticas y abióticas que estarían determinando la distribución de los escarabajos (Gámez, 2004), lo que explicaría también, las diferencias entre diversidad (Martínez-Relevo y Medina (2017). Aun así, este flujo puede llevar al aumento del tamaño poblacional y por ende afectar los niveles de diversidad de la comunidad de escarabajos, más no lo niveles de riqueza de especies (Amézquita et al., 1999), justo como se evidencia en nuestros resultados, donde las formaciones de los cultivos de caucho presentan el mayor número de especies, pero las mayores abundancias y especies únicas están presentes en el cultivo de caucho-2011 y en bosque de galería.

#### 1.1.3.6.5 *Servicios ecosistémicos*

En los cultivos de caucho, los grupos dominantes son los pequeños cavadores y pequeños rodadores en comparación a los grupos funcionales grandes. La competencia entre grupos grandes y pequeños juega un papel fundamental en las diferencias entre los grupos funcionales de escarabajos en cada una de las formaciones vegetales, la ausencia de especies grandes en los cultivos libera una gran cantidad de recursos, por lo que el aumento de los pequeños cavadores y rodadores se va a ver beneficiada (Lopera et al., 2014), es así que la gran abundancia de estos grupos pequeños compensan los servicios prestados por los grupos de gran tamaño, aun así, esta compensación depende en gran medida en el aislamiento de las comunidades y la calidad ambiental (Pessôa et al., 2017). Lo anterior no está bien estudiado en términos funcionales (Barragán et al., 2011), y como mencionan Loreau et al. (2001) y Hooper et al. (2005) la abundancia puede ser más importante que la riqueza en los roles funcionales de escarabajos, por lo que puede existir una compensación entre las grandes abundancias existentes de los pequeños grupos funcionales y la disminución de los grandes, en consecuencia las funciones ecosistémicas de ciclado de nutrientes, bioturbación (desplazamiento y mezcla de partículas del suelo) y controladores biológicos de insectos vectores (estados larvales) no se van a ver afectadas en gran medida. Sin embargo, cabe aclarar que esto es solo una hipótesis, y para poder dar con certeza una afirmación como la anterior, es necesario hacer estudios que no solo requieran un inventario de escarabajos coprófagos sino también sobre uso de recurso y observación de características funcionales.

Estos resultados se pueden llegar a explicar al tener en cuenta la composición del suelo, ya que en suelos con capas arenosas la habilidad de los cavadores disminuye, y la rapidez con la que las especies pueden enterrar el alimento es menor, lo que repercute directamente en el establecimiento de este grupo y se refleja en la disminución de la abundancia de estos (Hanski y Camberfort, 1991). De la misma manera, Pessôa et al. (2017) describe que, en áreas con mayor inundación existe una simplificación de las comunidades de escarabajos, caso que se demuestra en el bosque de galería, donde los grupos que dominan son los grandes rodadores y los residentes, y son muy pocos los representantes de los demás grupos funcionales. Lo anterior evidencia la necesidad de realizar estudios en épocas de alta precipitación y de baja precipitación para poder entender mejor las dinámicas de los ensamblajes de los escarabajos coprófagos.



La disminución de los grupos de gran tamaño puede deberse a que estos se ven más afectados por la pérdida de hábitat y cambio en las coberturas naturales, ya que requieren de amplios rangos para sobrevivir, lo que los hace más vulnerables a la extinción (Larsen et al., 2008). Además, son más susceptibles a los cambios en la disponibilidad del recurso, aspecto importante si tenemos en cuenta que durante los ciclos de inundación la disponibilidad de heces se restringe a áreas secas, disminuyendo la disponibilidad de este recurso y presentando una restricción para las especies más grandes (Pessôa et al., 2017), y si tenemos en cuenta que incluso en procesos de restauración de 10 años las poblaciones no llegan a recuperar la diversidad natural y original de escarabajos coprófagos (González-Tokman et al., 2018), la pérdida de los grupos funcionales de gran tamaño en los cultivos de caucho, no solo representa una pérdida en la diversidad, sino en las funciones ecosistémicas importantes que estos insectos brindan.

Los grupos de gran tamaño, son los más importantes por su abundancia y por su rol funcional, puesto que al ser individuos de gran tamaño pueden llegar a enterrar una mayor cantidad de excremento y de forma más eficiente, y a su vez, contribuyen en una mayor aireación del suelo, lo que permite un correcto y mayor ciclaje de nutrientes, además de facilitar la correcta limpieza de los pastos (Lopera et al., 2014; Martínez-Relevo y Medina, 2017). Adicionalmente, los grandes cavadores ejercen un control biológico sobre la proliferación de insectos parásitos y gusanos que usan el estiércol del ganado como sustrato para completar su ciclo de vida (Waterhouse, 1974; Flechtmann et al., 1995; Nichols et al., 2008; Vieira et al., 2008). La baja abundancia de los grandes cavadores y rodadores en las coberturas de la microcuenca tiene efectos negativos en la reducción del ciclaje del estiércol, aproximadamente del 75% del ciclaje se puede disminuir en ausencia de estos grupos (Slade et al., 2007). Otro efecto negativo sobre la baja abundancia de los grupos grandes, en este caso en el pastizal, es que las pasturas disponible para alimentar al ganado se seca y no es apetecible y la pastura pierde productividad debido a las grandes cantidades de estiércol acumuladas, por lo que la ausencia de estos grupos va a influir directamente en la alimentación de los mamíferos de la zona (Waterhouse, 1974).

#### 1.1.3.7 Conclusiones

En total, se colectaron 2389 individuos, 568 con cebo de carroña (26 especies) y 1821 (29 especies) con cebo de excremento, distribuidos en 14 géneros y 32 especies (Tabla 2), de las cuales a 16 se les asignó código de la CRECC y 16 fueron identificadas a especie.

Se registra para la cobertura de caña y pastizal con 7 individuos a la especie *Canthon septemmaculatus* la cual se encuentra en categoría de preocupación menor (LC) en la lista roja de insectos de la UICN.

La ausencia de grupos funcionales grandes en los cultivos de caucho libera una gran cantidad de recursos, por lo que el aumento de los pequeños cavadores y rodadores se va a ver beneficiada, así, la gran abundancia de los grupos de menor tamaño va a compensar los servicios prestados por los grupos de gran tamaño, aun así.



El tipo de suelo, la época de alta precipitación durante la fase de campo, y la disponibilidad y variedad del recurso alimenticio, pueden estar siendo factores que influyan en la distribución de la diversidad de los escarabajos y en la organización de los grupos funcionales dentro del paisaje.

### 1.1.3.8 Recomendaciones

Es necesario seguir con este tipo de estudios en ecosistemas agropecuarios, donde se pueda el esfuerzo de muestreo, y sobretodo, realizar muestreos en diferentes épocas del año, con el fin de poder tener resultados más dicientes sobre las dinámicas de los escarabajos coprófagos en los ecosistemas de llanuras a una escala temporal y sobre sus roles ecosistémicos.



## 1.2 Análisis de sostenibilidad

Calcular un índice para la valoración de la sostenibilidad a partir de los escenarios establecidos con los tomadores de decisiones en el convenio PE.GDE.1.4.8.1.17 (17-104 Instituto Humboldt) y de los resultados del ejercicio de campo.

### 1.2.1 Escenarios establecidos con tomadores de decisiones

Los principales escenarios establecidos con tomadores de decisiones, en cuanto a gestión de información y salidas del sistema *que se abordaron en esta fase del proyecto*, fueron:

1. La gestión de la información	Resultados obtenidos
<ul style="list-style-type: none"> <li>El fortalecimiento y efectividad de las relaciones entre el sector público y privado para la generación y acceso a la información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convenio Cormacarena – Instituto Humboldt, con Agrosavia como aliado y la participación de productores de Caucho, Caña, Ganadería</li> <li>Los resultados están en la geonetwork del Instituto Humboldt, con acceso libre</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>El incremento en la capacidad de analizar de manera sistémica la información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La socialización de los métodos de análisis de dinámica de sistemas, así como los resultados de este, permiten la comprensión de la articulación de los datos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>La capacidad empresarial de proyectar la información del paisaje a la finca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se dispone de la información por predio y por paisaje, lo que permite al empresario entender su aporte a la sostenibilidad de la microcuenca</li> </ul>
2. Salidas del sistema	Información Obtenida
<ul style="list-style-type: none"> <li>Porcentajes en conservación y en producción, características específicas de la zona de gestión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natural: Bosque Ripario 18.82%</li> <li>Otras coberturas 81.18%</li> <li>Este porcentaje representa en el indicador de heterogeneidad un valor del 47,28%, siendo el</li> </ul>



	<p>indicador más bajo y el que requiere mayor gestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La microcuenca es muy importante para la conectividad – <i>Pecarí tajacu</i>, se deben establecer las estrategias para aumentar la permeabilidad en el cultivo de Caucho</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas estratégicas de interés ambiental o determinantes ambientales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bosques de Galería – Preservación de áreas naturales en ecosistemas estratégicos</li> <li>• Áreas naturales y seminaturales - Manejo de recursos renovables como áreas de soporte</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de sostenibilidad a partir de referentes (criterios) teóricos para cada indicador de sostenibilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ver resultados capítulo</li> </ul>

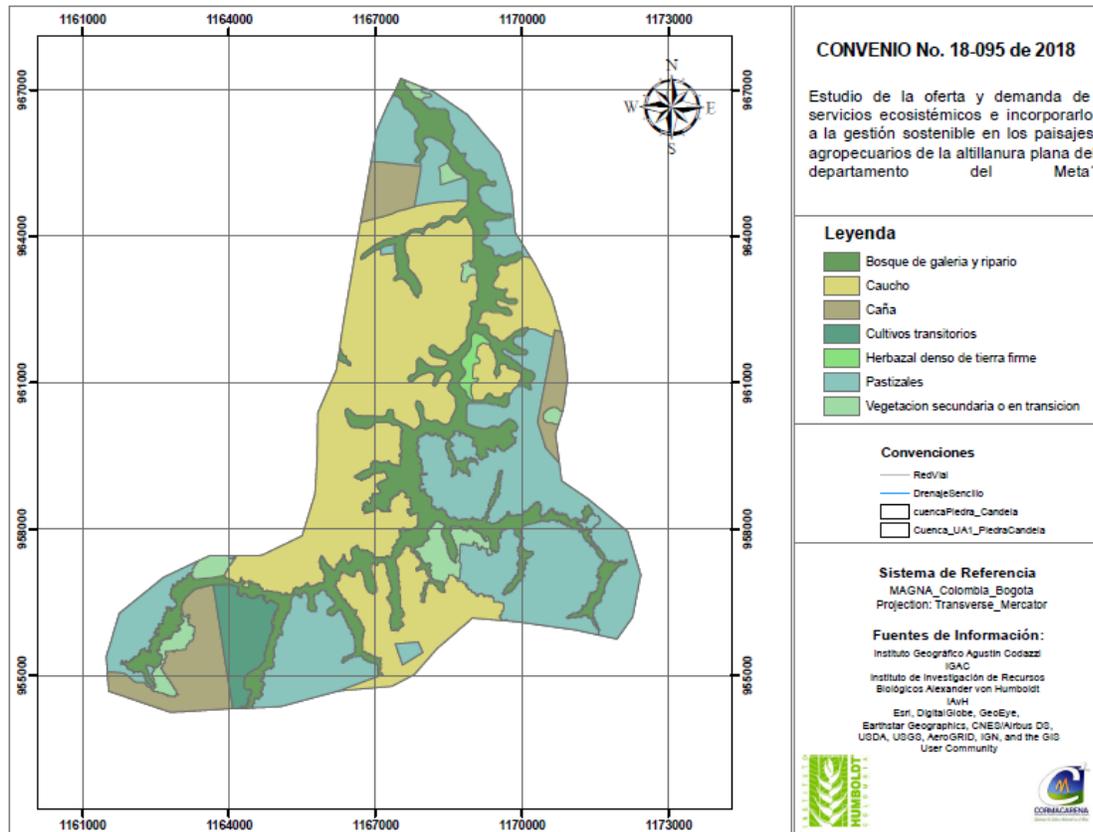
Los datos obtenidos sobre el comportamiento de los Scarabaeinos, Macroinvertebrados y Plantas en coberturas antrópicas en relación con coberturas naturales y migraciones, se utiliza para la construcción del indicador de *apertura*, del principio de *Multifuncionalidad* en el análisis de sostenibilidad.

Figura 57 Principios e Indicadores de Sostenibilidad Fuente: Bustamante C. 2018



## 1.2.2 Principios e Indicadores de Sostenibilidad

Figura 58 Coberturas Microcuenca Quebrada Piedracandela



### 1.2.2.1 Principio Multifuncionalidad

#### 1.2.2.1.1 Indicador Heterogeneidad

La Heterogeneidad es la representatividad de las áreas de los usos del suelo en el paisaje (Microcuenca para este caso).



## 1.2.2.1.1.1 Ficha metodológica Heterogeneidad de los usos del Suelo

Ficha metodológica de indicadores socioeconómicos para la Investigación en Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos para la Toma de Decisiones <b>Heterogeneidad en los usos del suelo</b> Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	
<b>Nombre del indicador:</b>	Heterogeneidad en los usos del suelo
<b>Código de identificación</b>	S-M-01
<b>Definición del indicador:</b>	La heterogeneidad en los usos del suelo es una medida de la participación porcentual que tienen las diferentes coberturas del paisaje.
<b>Fórmula de cálculo</b>	
$H = \frac{N^2 H_v - N^2 + N}{N - 1} \cdot 100\%$	
<p>Donde:</p> <p><math>H</math>: es la heterogeneidad en los usos del suelo para un cierto paisaje.</p> <p><math>N</math>: es el número de usos identificados en el paisaje.</p> <p><math>H_v</math>: Es la heterogeneidad virtual, la cual se calcula con la siguiente fórmula:</p>	
$H_v = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_i}{A_T} \right)^2$	
<p>Donde:</p> <p><math>A_i</math>: es el área de la <math>i</math>-ésima cobertura.</p> <p><math>A_T</math>: es el área total del paisaje analizado.</p>	
<b>Definición de las variables relacionadas</b>	
<p><b>Heterogeneidad virtual</b></p> <p>La Heterogeneidad virtual <math>H_v</math> es una medida auxiliar utilizada para el cálculo de la heterogeneidad en los usos del suelo de un cierto paisaje. Corresponde al promedio ponderado de áreas de las coberturas en el paisaje.</p>	
<b>Unidad del indicador:</b>	Porcentual
<b>Fuente de datos:</b>	Coberturas de usos del paisaje
<b>Periodicidad del indicador:</b>	Depende de la periodicidad de captura y reporte de la fuente de datos.
<b>Unidad espacial de análisis:</b>	La fórmula admite datos de diferentes unidades espaciales, mientras se garantice que todos utilizan la misma unidad espacial.
<b>Interpretación del indicador:</b>	Supongamos un paisaje con $n$ usos del suelo. Para valores de la heterogeneidad en los usos del suelo cercanos al 0% se dice que el paisaje es homogéneo, mientras que para valores cercanos al 100% se dice que el paisaje es heterogéneo. En el contexto de paisajes sostenibles, es deseable que el paisaje sea muy heterogéneo.
<b>Referencias bibliográficas del indicador:</b>	Redondo J.M. y Bustamante C. (2018). La heterogeneidad en los usos del suelo.



1.2.2.1.2 *Indicador Apertura*

La apertura se refiere a los intercambios que existen entre los usos del suelo en el paisaje (Microcuenca para este caso).

Apertura							
	Bosque de galería y ripario	Caña	Caucho	Cultivos transitorios	Herbazal denso de tierra firme	Pastizales	Vegetación secundaria o en transición
Bosque de galería y ripario	0,00	0,45	0,50	0,40	0,43	0,63	0,53
Caña		0,00	0,49	0,45	0,40	0,34	0,45
Caucho			0,00	0,39	0,43	0,54	0,52
Cultivos transitorios				0,00	0,44	0,39	0,37
Herbazal denso de tierra firme					0,00	0,53	0,54
Pastizales						0,00	0,52
Vegetación secundaria o en transición							0,00

Tabla 15 Valor Apertura Microcuenca Quebrada Piedracandela

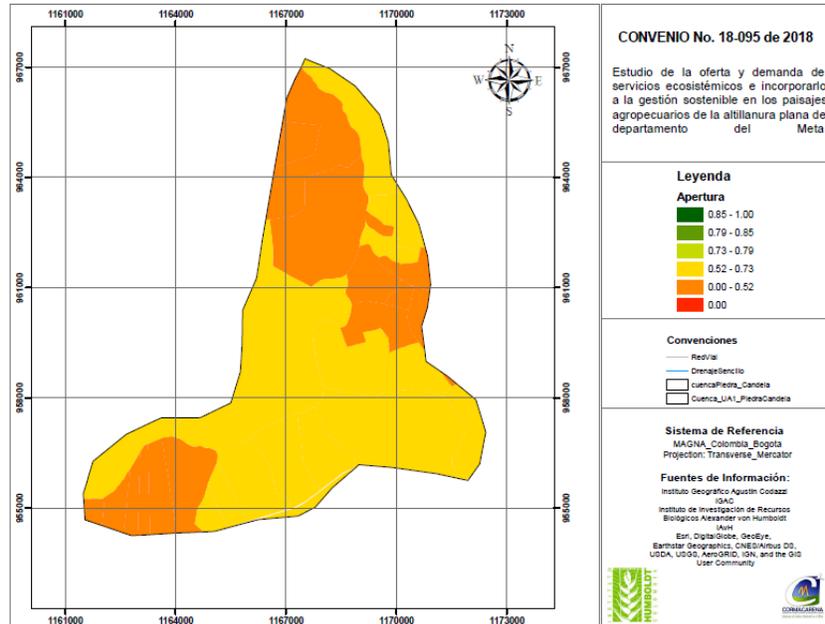


## 1.2.2.1.2.1 Ficha metodológica Apertura entre las coberturas

Ficha metodológica de indicadores socioeconómicos para la Investigación en Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos para la Toma de Decisiones <b>Apertura del paisaje</b> Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	
<b>Nombre del indicador:</b>	Apertura del paisaje
<b>Código de identificación:</b>	S-M-02
<b>Definición del indicador:</b>	Se refiere a la intensidad de los intercambios de servicios ecosistémicos que existen entre las coberturas en un paisaje, ponderadas por las áreas de las coberturas.
Fórmula de cálculo	
<p>Supongamos un paisaje con <math>m</math> subunidades paisajísticas de análisis. La apertura <math>\bar{A}</math> del paisaje es el promedio de los valores de apertura de las <math>m</math> subunidades paisajísticas:</p> $\bar{A} = \sum_{k=1}^m \frac{\bar{A}_k}{m}$ <p>Donde:  <math>\bar{A}_k</math>: es el valor de apertura de la <math>k</math>-ésima subunidad paisajística de análisis, la cual viene dada por la siguiente fórmula:</p> $\bar{A}_k = \frac{1}{(n-1) \cdot A_k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (i + j) \cdot \delta_{ij}, \text{ tales que } i, j \in A_k \text{ y } \delta_{ii} = 0$ <p>Donde:  <math>A_k</math>: es el área total de la <math>k</math>-ésima unidad paisajística de análisis.  <math>n</math>: es el número de coberturas en el paisaje.  <math>i, j</math>: es el área de la <math>i</math>-ésima y de la <math>j</math>-ésima cobertura, en la <math>k</math>-ésima subunidad paisajística de análisis, respectivamente.  <math>\delta_{ij}</math>: es un valor de intercambio de servicios ecosistémicos definido bajo el criterio de expertos, tales que <math>\delta_{ij} \in [0,1]</math> y <math>\delta_{ii} = 0</math>.</p>	
Definición de las variables relacionadas	
La apertura del paisaje es una medida de los intercambios de servicios ecosistémicos que existen entre las coberturas del suelo. Se calcula a partir de la intensidad de los intercambios de servicios ecosistémicos que han sido identificados por criterio de expertos, entre las coberturas del paisaje, ponderando con sus áreas.	
<b>Unidad del indicador:</b>	Porcentual
<b>Fuente de datos:</b>	Coberturas de usos del paisaje
<b>Periodicidad del indicador:</b>	Depende de la periodicidad de captura y reporte de la fuente de datos.
<b>Unidad espacial de análisis:</b>	La fórmula admite datos de diferentes unidades espaciales, mientras se garantice que todos utilizan la misma unidad espacial.
<b>Interpretación del indicador:</b>	Supongamos un paisaje con $n$ usos del suelo en el que se han definido $m$ subunidades de análisis. Para valores de la apertura entre las coberturas cercanos al 0%, se dice que el paisaje tiene pocos intercambios, mientras que para valores cercanos al 100% se dice que el paisaje posee muchos intercambios. En el contexto de paisajes sostenibles, es deseable que el paisaje tenga muchos intercambios.
<b>Referencias bibliográficas del indicador:</b>	Redondo J.M. y Bustamante C. (2018). Apertura entre las coberturas.



Figura 59 Mapa Apertura Microcuenca Piedracandela



### 1.2.2.2 Principio Productividad

#### 1.2.2.2.1 Indicador Oferta de Servicios Ecosistémicos

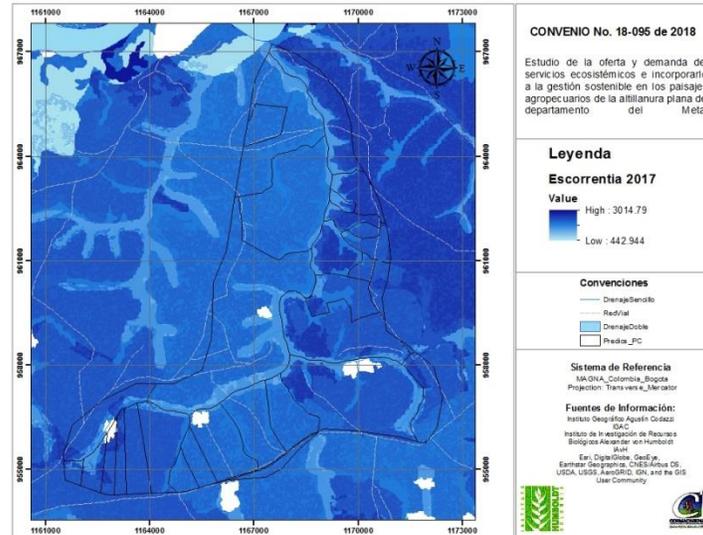
Se refiere a la cantidad de carbono fijado, nitrógeno disponible y escorrentía superficial, así como la cantidad de productos agropecuarios generados (rendimiento).

##### 1.2.2.2.1.1 Oferta hídrica: Escorrentía

Corresponde a la relación entre el índice de escorrentía y la precipitación; se realizó una relación entre esta oferta y los predios localizados dentro de la microcuenca.



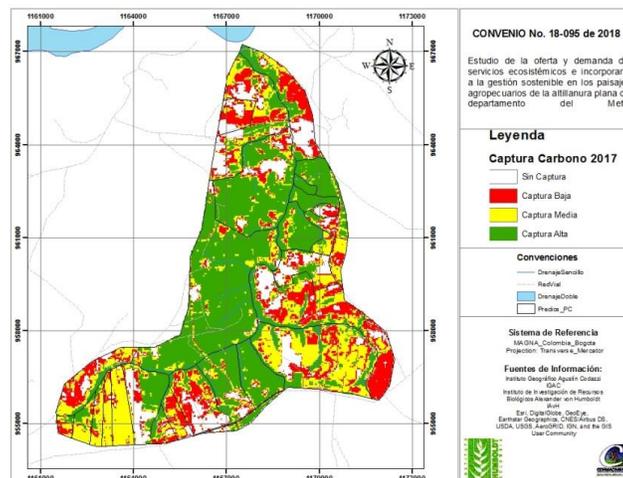
Figura 60 Oferta Hídrica – Escorrentía Microcuenca Quebrada Piedracandela



### 1.2.2.2.1.2 Captura de Carbono

Corresponde al Carbono almacenado en la biomasa para la unidad de análisis Piedra Candela para el 2017, donde cada celda o píxel contiene el Carbono almacenado en la biomasa en Ton/píxel; estos datos se promediaron y normalizaron para cada uno de los predios de la microcuenca.

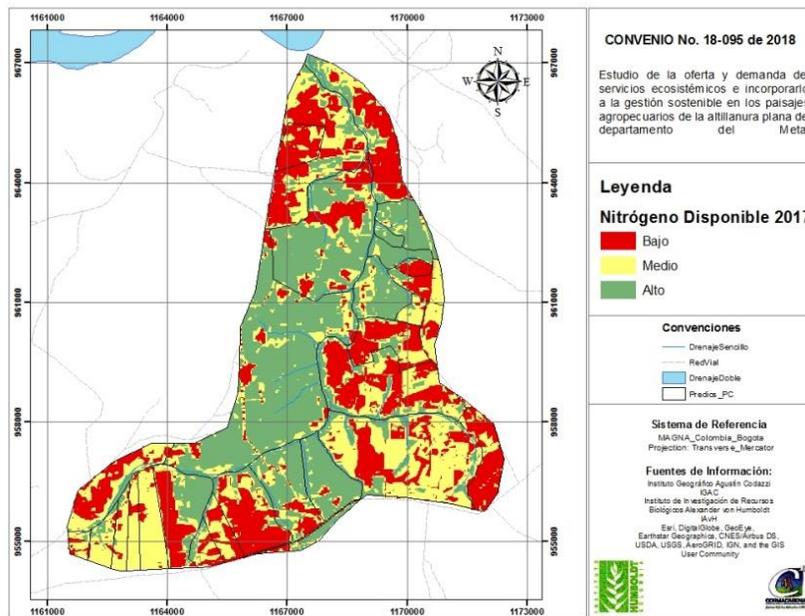
Figura 61 Captura de Carbono Microcuenca Quebrada Piedracandela



### 1.2.2.2.1.3 Nitrógeno Disponible

Corresponde al Nitrógeno almacenado en la biomasa para la unidad de análisis Piedra Candela para el 2017, donde cada celda o píxel contiene el Nitrógeno almacenado en la biomasa en kg/píxel; estos datos se promediaron y normalizaron para cada uno de los predios de la microcuenca.

Figura 62 Nitrógeno Disponible Microcuenca Quebrada Piedracandela



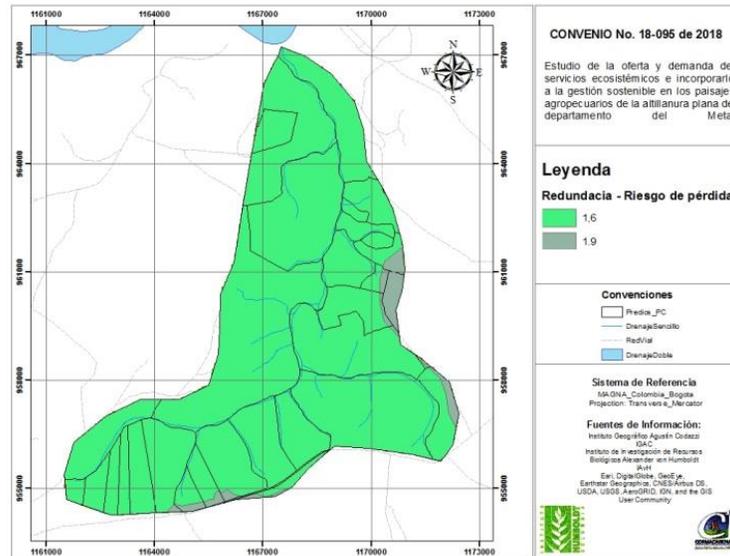
### 1.2.2.2.2 Indicador Redundancia

La redundancia se define como la capacidad que tiene el paisaje de mantener la oferta de servicios ecosistémicos demandados para cualquier valor del tiempo. Esta capacidad está íntimamente relacionada con la heterogeneidad de los usos y con la sinergia del paisaje. La demanda de estos servicios no necesariamente es constante, podría ser variable, pero depende de las prácticas desarrolladas en el sistema de producción.

Para este análisis se calculará a partir del Riesgo de Pérdida de Servicios Ecosistémicos calculado en el Plan Estratégico de la Macrocuena del Orinoco (2013). Este es el resultado de la sumatoria de las amenazas (naturales y antrópicas), la tendencia de cambio en las coberturas terrestres, el índice de escasez de agua (WPI); nivel de servicios ecosistémicos y la vulnerabilidad, calificadas de manera homogénea de 1 a 3 en los niveles bajo, medio y alto; estos datos se promediaron y normalizaron para cada uno de los predios de la microcuenca.



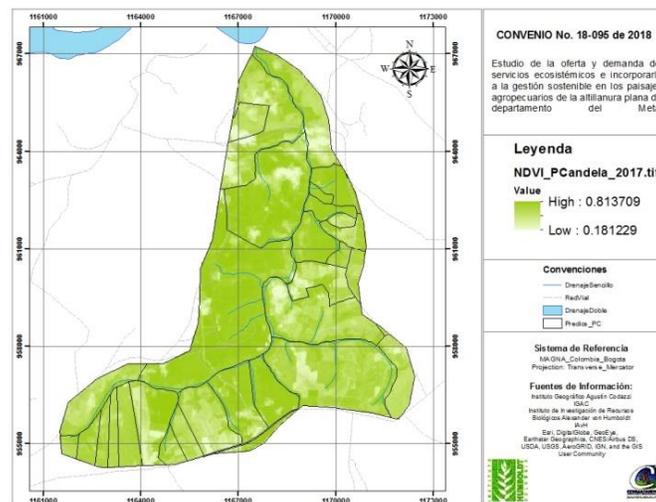
Figura 63 Redundancia Microcuenca Quebrada Piedracandela



1.2.2.2.3 *Indicador Eficiencia*

La eficiencia es la diferencia porcentual entre la biomasa esperada y la biomasa real obtenida del paisaje. Para el caso de este análisis corresponde al NDVI para la unidad de análisis, para 2017 respecto a cada predio, donde cada celda o píxel contiene el valor del índice normalizado de vegetación, que fue promediado y normalizado para obtener el valor por predio.

Figura 64 Biomasa Microcuenca Quebrada Piedracandela



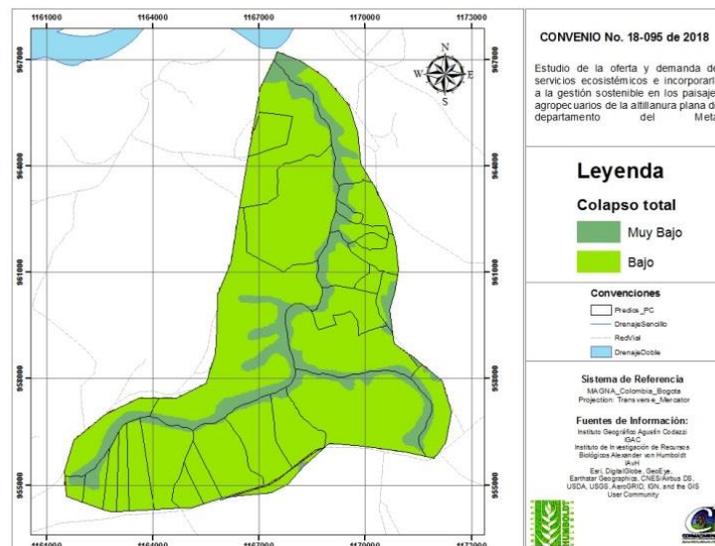
### 1.2.2.3 Principio Bienestar (Ecosistémico para este estudio)

#### 1.2.2.3.1 Indicador Probabilidad de Colapso Ecológico

La probabilidad de colapso de la diversidad biológica se toma de la “identificación de áreas prioritarias y aproximaciones de conservación y manejo del territorio en las zonas operativas de Ecopetrol” - Planeación Ambiental para la conservación de la biodiversidad en las áreas operativas de Ecopetrol (González M,F et al Instituto Humboldt Ecopetrol 2015), como el posible cambio o transformación al que están sometidos los ecosistemas debido a una alteración en su estabilidad y diversidad, que causa una reducción en su capacidad de proveer servicios ecosistémicos, resiliencia y su efecto amortiguador, al igual que su resistencia a la invasión y otros atributos funcionales (MacDougall et al. 2013 en Hernández-Manrique et al).

Para la generación de esta capa, se consideraron las diferentes interacciones entre amenazas y vulnerabilidades a partir de varios algoritmos para el cálculo de riesgo de pérdida de biodiversidad basados en las relaciones encontradas entre variables de amenaza como motor de pérdida, transformación, pérdida y fragmentación de ecosistemas, introducción de especies exóticas, cambio climático y sobreutilización del suelo, y de vulnerabilidad según el tamaño, forma y unicidad de biomas y ecoregiones, obteniendo rangos de probabilidad de colapso Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja.

Figura 65 Probabilidad de Colapso Ecológico Microcuenca Quebrada Piedracandela

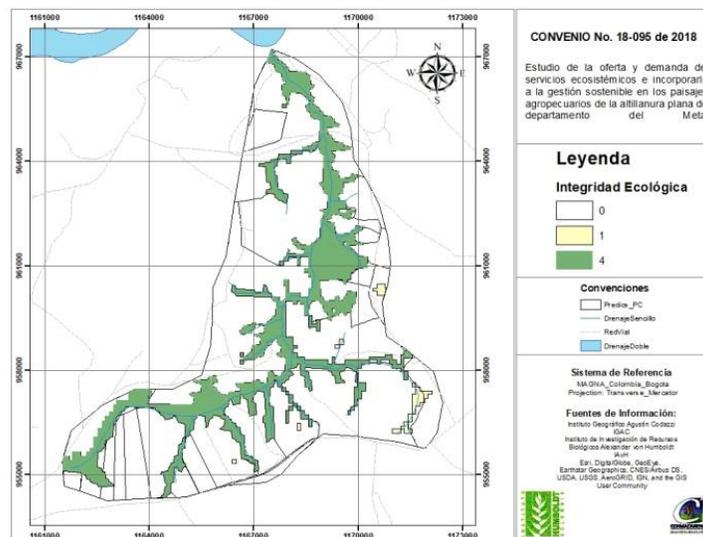


### 1.2.2.3.2 *Indicador Integridad Ecológica*

A partir de la información cartográfica de integridad ecológica del paisaje del estudio Planeación Ambiental para la conservación de la biodiversidad en las áreas operativas de Ecopetrol (González M,F et al Instituto Humboldt Ecopetrol 2015), obtenida a partir del análisis de fragmentos de la misma cobertura según su forma y proximidad, clasificada en baja, media, alta, muy alta y área transformada, siendo mayor la integridad cuando los fragmentos son de mayor área, y tienen mayor continuidad o proximidad.



Figura 66 Integridad Ecológica



1.2.3 Cálculo Índice de Sostenibilidad

Tabla 16 Matriz de valores de los indicadores de sostenibilidad

Predio	Probabilidad de colapso ecológico	Integridad ecológica	Redundancia	Servicios ecosistémicos	Eficiencia	Heterogeneidad	Apertura	Indicador local de sostenibilidad
1	0,8809	0,9756	0,9143	0,7400	0,7672	0,8295	0,5115	80,27%
2	0,8809	0,8780	0,9143	0,8505	0,8379	0,7345	0,5536	80,71%
3	0,8809	0,2927	0,9143	0,8475	0,7917	0,6812	0,5554	70,91%
4	0,9893	1,0000	0,9143	0,7752	0,9948	0,3353	0,5249	79,05%
5	0,6638	0,5854	1,0000	0,7837	0,8476	0,6762	0,6300	74,09%
6	0,9349	0,1463	1,0000	0,7760	0,8973	0,0181	0,5400	61,61%
7	0,8809	0,5854	0,9143	0,8573	0,8412	0,7526	0,4313	75,18%
8	0,8809	0,9106	0,9143	0,7507	0,9811	0,4806	0,5290	77,82%
9	0,8809	0,5854	0,9143	0,8933	0,8995	0,9616	0,4851	80,29%
10	0,8809	0,5854	0,9143	0,7680	0,9247	0,7233	0,5365	76,19%
11	0,8809	0,4878	1,0000	0,7752	0,7341	0,4590	0,5812	70,26%
12	0,8809	0,9756	0,9143	0,7567	0,9147	0,3975	0,5109	76,44%
13	0,6638	0,7805	1,0000	0,7761	0,7909	0,2099	0,6300	69,30%
14	0,8809	0,7805	1,0000	0,8491	0,8066	0,5056	0,4281	75,01%
15	0,6638	0,0000	0,9143	0,7533	0,6497	0,0053	0,4151	48,59%
16	0,8809	0,5854	0,9143	0,8871	0,8311	0,5174	0,4586	72,50%
17	0,8809	0,0000	1,0000	0,8606	0,8591	0,0272	0,4504	58,26%
18	0,8809	0,5854	0,9143	0,9102	0,8676	0,8925	0,4685	78,85%
19	0,8809	0,3902	0,9143	0,9288	0,7636	0,6526	0,5587	72,70%
20	1,0000	0,5366	1,0000	0,8178	0,7420	0,0751	0,6300	68,59%
21	0,8809	0,3902	0,9143	0,8609	0,9984	0,7399	0,5000	75,50%
22	0,8809	0,3902	0,9143	0,9373	0,9784	0,8507	0,4958	77,82%
23	0,9893	0,5268	1,0000	0,8766	0,7931	0,7322	0,6300	79,26%
24	0,8809	0,5854	0,9143	0,9134	0,9953	0,5128	0,5298	76,17%
25	0,8809	0,3902	1,0000	0,8731	0,8409	0,8322	0,4737	75,59%
26	0,9893	0,7805	1,0000	0,8642	0,7197	0,5955	0,4999	77,84%
27	0,8809	0,5854	0,9143	0,9267	1,0000	0,4393	0,5280	75,35%
28	0,9349	0,3659	1,0000	0,8823	0,8114	0,5741	0,4365	71,50%
29	0,6638	0,5854	0,9143	0,8590	0,7350	0,3995	0,5813	67,69%
30	0,6638	0,5854	1,0000	0,8592	0,8790	0,3419	0,4911	68,86%
								Mínimo 48,59%
								Máximo 80,71%



Figura 67 Valor de los indicadores por principio de sostenibilidad

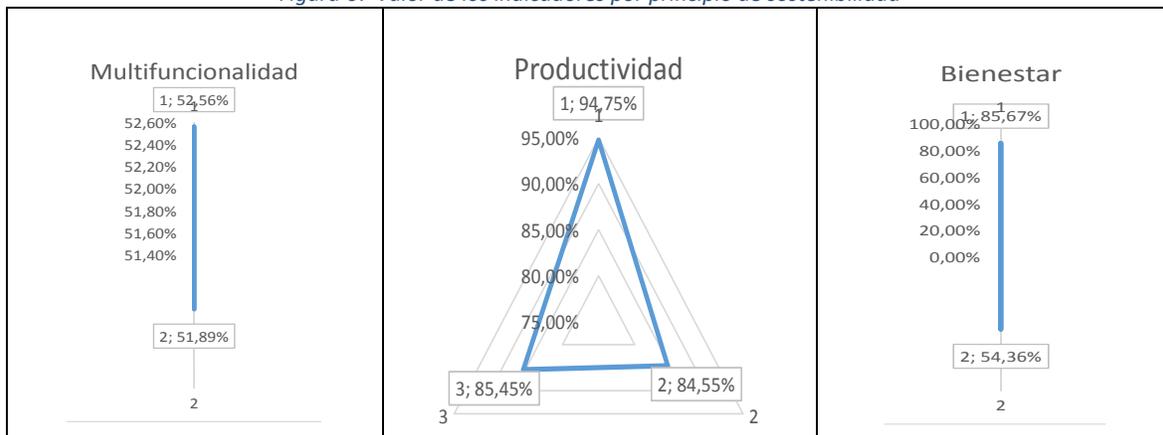
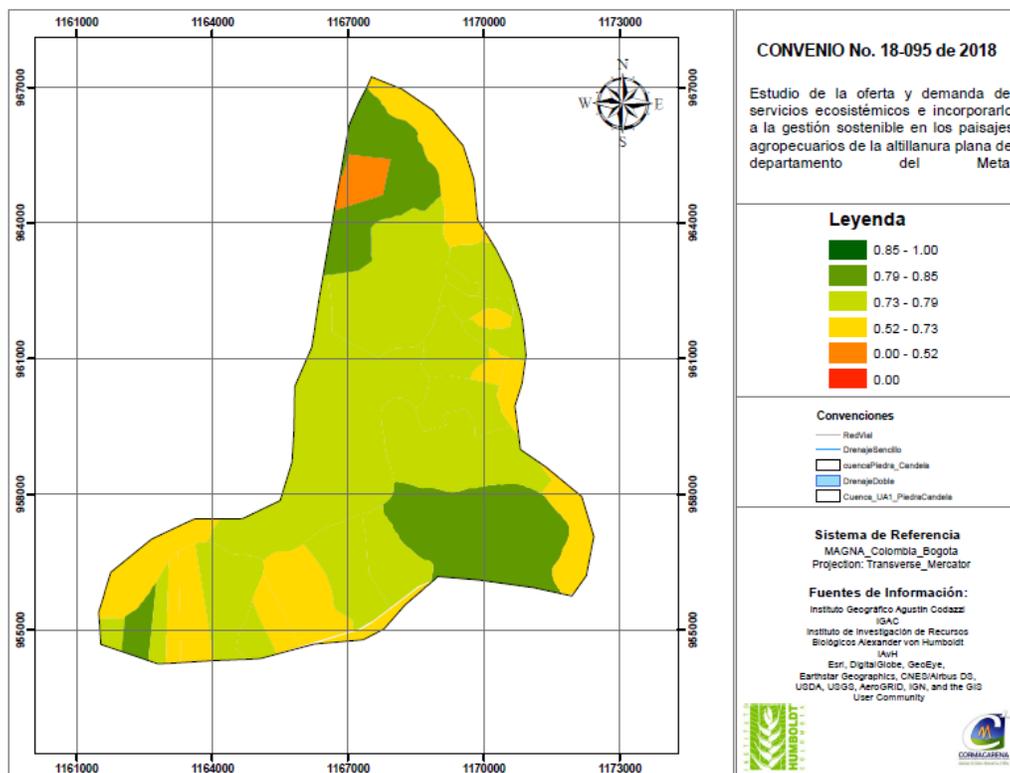


Tabla 17 Indicadores de sostenibilidad a escala de paisaje

Indicadores del paisaje	Probabilidad de colapso ecológico	Integridad ecológica	Redundancia	Servicios ecosistémicos	Eficiencia	Heterogeneidad	Apertura
Promedio por indicador	86,31%	56,17%	94,86%	84,03%	84,98%	53,18%	51,98%
Principios	Bienestar		Productividad		Multifuncionalidad		
Promedio por principio	71,24%		87,96%		52,58%		
Indicador de sostenibilidad del paisaje	73,07%						

Figura 68 Mapa Análisis de Sostenibilidad



El análisis a partir de la articulación de los indicadores permite establecer tanto el estado general de la microcuenca, como los factores que están afectando de manera más representativa la sostenibilidad de esta. De manera general, la microcuenca presenta un valor de sostenibilidad medio y, para este caso, la gestión hacia la sostenibilidad (a partir de estos indicadores y, aclarando que es importante ampliar el análisis en criterios sociales y productivos y, en la medida de lo posible, incorporar otros servicios ecosistémicos) debe enfocarse en incrementar la heterogeneidad de la microcuenca y la integridad ecológica de los ecosistemas allí presentes, favoreciendo los principios de multifuncionalidad y bienestar ecológico, siendo los predios que requieren mayor gestión los número 6, 15 y 17.



## 2 Documento con la propuesta de la estrategia de inteligencia colectiva hacia la sostenibilidad y gestión eficiente de Servicios Ecosistémicos en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta

### 2.1. Principios Inteligencia colectiva <sup>1</sup>

Para Pierre Levy (2004), las comunidades inteligentes, surgen como parte de la necesidad cada vez más sentida de gobernarse en situaciones de desterritorialización acelerada, en este contexto el invento de nuevos modos de regulación política y social aparece como una de las tareas que, con mayor urgencia, se imponen a la humanidad, deseable cuando se persigue una profundización de la democracia, depende además de la salvación pública cuando condiciona la solución de los problemas graves y complejos de nuestro tiempo.

La visión unificante de la diversidad solo contribuye a dinamizar la inteligencia colectiva si es inmediatamente distribuida, retomada a cargo de forma autónoma por los actores sociales que informan las estrategias y las prácticas que contribuyen, en cambio, a hacer variar la imagen de la dinámica colectiva (Levy, 2004).

Dentro del texto de este mismo autor se pueden identificar los que serían los principios de la inteligencia colectiva:

1. Producción del conocimiento denominado socialmente distribuido, donde la identificación de los problemas y la investigación dedicada a solucionarlos se hace a través de una compleja interacción entre especialistas, usuarios y otros actores organizados en redes de colaboración. Este modo de producción de conocimiento abre amplias oportunidades para una mayor participación ciudadana en la definición de políticas de Ciencia y Tecnología, permitiendo que efectivamente se consoliden como políticas públicas, sometidas al debate público, respondiendo al interés público y contrarrestando las tendencias tecnicistas y excluyentes.
2. Convoca a un nuevo humanismo que incluye y ensancha el “conócete a ti mismo” en “aprendamos a conocernos para pensar juntos” y que generaliza el “pienso, luego existo” en “formamos una inteligencia colectiva, luego existimos como comunidad eminente”. Lejos de fusionar las inteligencias individuales en una especie de magma indistinto, la inteligencia colectiva es un proceso de crecimiento, de diferenciación y de reactivación mutua de las singularidades. La imagen inestable que emerge de sus competencias, de sus proyectos y de las relaciones que sus miembros mantienen en el espacio del conocimiento constituye para un colectivo un nuevo modo de identificación, abierto, vivo y positivo.

---

<sup>1</sup> Para revisar conceptos tratados en este aparte revisar el Anexo 1. Glosario ampliado



3. Acceso a la información sobre los determinantes y sobre las posibles soluciones de los problemas, las nuevas tecnologías de información y comunicación ofrecen enormes posibilidades para la disminución de esas inequidades, permitiendo que los diversos actores sociales tengan acceso a la información necesaria para que asuman un mayor control. El gran desafío es como incorporar y dominar estas tecnologías de manera que este potencial se realice y que las inequidades no se amplíen.
4. Articular agendas de investigación participativas que respondan a múltiples intereses y necesidades.

Otros autores más recientes han vinculado de manera indirecta la noción de participación, sobre el metaconcepto de sistema socioecológico y la resiliencia.

van Oosten, et al., (2017), hablan de capacidad de innovación, como una forma de innovación social dentro de un contexto espacial, reordenando las interacciones sociales de una manera que se alineen mejor con las preocupaciones compartidas (los desafíos comunes) sobre el paisaje como el ordenamiento territorial, la gobernabilidad, la reconversión, entre otros y para esto enfatiza en el desarrollo de capacidades centradas en:

1. 'Pensar' el paisaje y lo que implica la capacidad de comprender su identidad, dinámica, fuerza y potencial, y actuar estratégicamente sobre él.
2. Lograr coherencia interna, que implica liderazgo y la capacidad de facilitar redes de múltiples partes interesadas, establecer una visión común, aprovechar las relaciones de poder y gestionar los conflictos;
3. Hacer que las instituciones trabajen con enfoque de paisaje, lo que implica reconocer y capitalizar las instituciones endógenas, garantizar los derechos de acceso a los recursos y beneficios, y el enlace con marcos y mercados de políticas externas.
4. Gestionar los recursos, lo que requiere un conocimiento profundo de la dinámica de los recursos y la gestión de la información espacial que alimentan la planificación espacial participativa y la toma de decisiones.

Dentro de esta línea de gestión colaborativa del paisaje, WWF como parte de su trabajo en paisajes sostenibles centrado en la gobernanza, identificó cinco elementos o pasos clave para lograr la gestión integrada del paisajes a través de la participación (Chatterton, Ledecq, & Dudley, 2016):

1. Unión de los actores para el diálogo cooperativo y la acción en una plataforma multi actores.
2. Emprendimiento de un proceso sistemático para intercambiar información y discutir perspectivas para lograr una comprensión compartida de las condiciones del paisaje, los desafíos y las oportunidades.
3. Permitir la planificación colaborativa para desarrollar un plan de acción acordado.
4. Implementación del plan por los actores, prestando atención al mantenimiento de los compromisos de colaboración.
5. Monitoreo de la gestión adaptativa y la rendición de cuentas, que se alimenta en las rondas de diálogo, intercambio de conocimientos y el diseño de nuevas acciones de colaboración.

Siendo la participación el eje de la inteligencia colectiva, Joshua Farley (2018), propone que para estimular la participación es posible cimentar en la creación de una identidad de grupo y la identificación y enfrentamiento hacia una desafío común. Ya que no se pueden enfrentar los problemas comunes desde un enfoque



individualista, competitivo. La herramienta mayor será la psicología humana, la interacción desde las esferas morales, como darles complementariedad a las visiones de cada uno encontrando un punto de unión, sin esperar que lo resuelvan todo.

## 2.2. Propuesta de Inteligencia Colectiva

En un primer momento la propuesta se centra en fortalecer la capacidad para 'pensar' de manera participativa el sistema, desde este punto de vista lo más importante es establecer un espacio donde los asistentes a los espacios de construcción se sientan libres y cómodos de expresar sus ideas e interactuar a partir de una guía sutil del facilitador en los siguientes temas.

Vale la pena aclarar que el facilitador propone unos puntos a discutir, pero los participantes son libres de proponer cambios, priorizar temas, usar o no las guías propuestas, que se encuentran en cada aparte de este documento, complementarlas, modificarlas.

### 2.2.1. Inicio

Presentación de los principios de inteligencia colectiva: El objetivo de este primer punto es lograr que se comprendan los fundamentos de esta corriente, especificando que es, que no es y en qué se diferencia de otras propuestas.

A partir de allí la tarea es construir de manera conjunta en los siguientes temas:

### 2.2.2. Identificación del desafío común con respecto a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos

Se genera este producto en conjunto para definir el desafío<sup>2</sup> Aspectos fundamentales para la sostenibilidad.

Se presenta el contexto geográfico de la unidad de análisis, esta información proviene de los análisis técnicos desarrollados en anteriores convenios con la corporación autónoma.

También se presentarán los resultados de los cambios temporales identificados en el trabajo técnico previo en relación con la provisión de agua, carbono y nitrógeno. Estas características podrán ser retroalimentadas en referencia a actividades llevadas a cabo a lo largo del año como quemas, fertilización, crecidas etc.

---

<sup>2</sup> Se propone la palabra desafío, pero una de las preguntas claves allí es, ¿cuál es el término a partir del cual definimos las preocupaciones comunes? Puede ser: problema, obstáculo, reto, etc. Lo importante es dejar claras las implicaciones que tienen cada palabra y estar de acuerdo en que aquello que abarcan es sobre lo que quiere operar.



Con respecto a la identificación del asunto o los asuntos de importancia a analizar, (sostenibilidad y gestión eficiente de los Servicios Ecosistémicos), aunque este es un objetivo que se encuentra previamente definido, se espera usarlo como eje central de las discusiones en torno a la BD y los Servicios Ecosistémicos.

Tabla 18. Cuadro para identificación de aspectos importantes en la sostenibilidad y gestión eficiente de Servicios Ecosistémicos

Sostenibilidad y gestión eficiente de los Servicios Ecosistémicos		
Recurso	Importancia	Desafío común



Se debe dejar claro que, en este primer momento, el desafío identificado no se resolverá en este espacio. Permanentemente se estarán recordando la pautas de participación (ver Anexo 2. Pautas de participación), esto con el fin de garantizar el escenario propicio de expresión para todos los participantes.

**2.2.3. Identificación de roles con respecto al desafío frente a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos**

La pregunta orientadora en este punto es: ¿cuál es su rol, en referencia al desafío común identificado en el numeral anterior?

*A partir del taller se intentará llegar a la información de la*

Tabla 19, de esta forma se identificarán qué instituciones clave, formales e informales, tienen relación con la toma de decisiones dentro del sistema focal (unidad de análisis). Es importante establecer si uno o más de estos, mejoran o restringen la flexibilidad para abordar los desafíos a medida que surgen, estos problemas hacen referencia a los umbrales y drivers relacionados.



Tabla 19. Identificación de aspectos clave sobre actores que operan en el territorio

Instituciones formales e informales clave				
Desafío (componentes claves)	Rol	Institución	Favorece la flexibilidad (S=si, N=No)	Desfavorece la flexibilidad (S=si, N=No)
1				
2				
Nivel de decisión				
Desafío	Rol	Nacional, departamental, municipal, veredal	Injerencia en temas relacionados con procesos ecológicos (S=si, N=No)	Mejoras sugeridas
1				
2				
Aplicación de las normatividad y cumplimiento				
Desafío	Rol	Es efectiva la aplicación de la	Mejoras sugeridas	



		normatividad en relación con el desafío (S=si, N=No)			
1					
2					
Mapeo de relaciones y conflictos					
Parte interesada	Rol	Poder (Formal) Fuerte, intermedio, débil	Poder (Informal) Fuerte, intermedio, débil	Conflictos con otros actores	Mecanismo de solución de conflictos
1					
2					

Fuente: Fuente: adaptado de Resilience Alliance, 2010

Se debe determinar además en que escalas se están tomando las decisiones que afectan al sistema focal en referencia a los temas principales de preocupación, aquí se evalúa si existe un efectivo cumplimiento de las reglas, estas y su aplicación pueden ser formales o informales, pero los responsables de la aplicación deben ser vistos como legítimos por los usuarios de los recursos (Resilience Alliance, 2010).

A partir del desarrollo del punto, se construye la red social de interacciones principales de la unidad de análisis o sistema focal.

#### 2.2.4. Identificación de componentes claves para la construcción del conocimiento frente al desafío

Debido a la naturaleza del proyecto los componentes giran alrededor de los conceptos alrededor de los socioecosistemas.

##### 1. Identificación de los componentes clave del sistema socioecológico



## 2. Identificación de límites del sistema socioecológicos

La identificación de los temas más importantes es decisiva para la construcción de los acuerdos de monitoreo y el diseño del recorrido en campo

Una vez que se han determinado las principales preocupaciones en referencia diferentes elementos del paisaje Tabla 18, es necesario identificar los componentes clave del sistema socioecológico que se relacionan directamente con ellos. Esto permitirá determinar aquellas componentes claves del sistema (variables biofísicas y sociales) de importancia para la adaptación y la resiliencia.



Tabla 20. Usos directos e indirectos de los recursos naturales clave suministrados por el sistema y las partes interesadas

Desafío sobre los Servicio ecosistémico	Usos		Usuarios	
	Directos	Indirectos	Dentro de la unidad de análisis	Fuera de la unidad de análisis

## 3. Identificación de disturbios en el presente y el futuro relacionadas con el desafío identificado

Las perturbaciones, las interrupciones del sistema y la incertidumbre en torno al momento y la magnitud de tales eventos, presentan desafíos para la gestión de los sistemas socioecológicos y la provisión de servicios de los ecosistemas.

En este punto se busca identificar que disturbios han afectado históricamente el sistema focal, a partir del producto logrado en el taller, sobre la definición del sistema desafío común. Los driver relacionados con el desafío Se tendrán en cuenta perturbaciones singulares (Ejemplo, arados, brotes de enfermedades) y las perturbaciones continuas (ejemplo eventos en curso de erosión, degradación).





Tabla 21. Alteraciones del sistema en la unidad de análisis y sus atributos.

Escala temporal	Perturbación	Tipo de perturbación Singular=S Continua=C	Frecuencia	Tiempo de recuperación	Componentes más afectados (suelo, agua...)	Magnitud del impacto (bajo, alto, medio)	Cambios en la severidad a través del tiempo
Pasado							
Presente							
Futuro							

Fuente: adaptado de Resillience Alliance, 2010

4. Desarrollo del perfil histórico del sistema en referencia a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos

El objetivo aquí es identificar las principales variables de control que han dado forma al sistema y que continúan configurándolo. El perfil histórico se hace para las escalas espaciales identificadas en la primera parte del numeral:

(la escala focal unidad de análisis, así como por debajo y por encima de esta), luego se identifican las conexiones de escala cruzada, los eventos en una escala que fueron causados o resultaron de eventos en otra escala.



Para este ejercicio se identifican los tiempos, períodos donde ocurrieron los principales eventos que cambiaron el sistema<sup>3</sup> (Ejemplo de tipo ambiental sequías, inundaciones, heladas, introducción de plagas, epidemias, de tipo económico como entrada a nuevos mercados, nuevas tecnologías, de infraestructura como caminos, presas, etc.), políticas y demográficas etc.) (Resillience Alliance, 2007) .

Tabla 22. Identificación perfil histórico del sistema entre escalas

Año	Eventos Escala superior	Eventos Unidad de análisis	Eventos Escala inferior

#### 4. Identificación de Estados múltiples

A partir de la línea de tiempo elaborada en el numeral anterior se identificarán las fases del ciclo de adaptación a través de las cuales el sistema se ha movido a lo largo del tiempo. Aunque se trata de identificar transiciones se hará énfasis en describir los factores clave que impulsaron el sistema a través del ciclo.

Se seleccionan uno o más indicadores clave de los que se tenga información cuantitativa (volumen de manera extraída, de pesca, cantidad de agua extraída, etc.) para inferir los cambios en el tiempo.

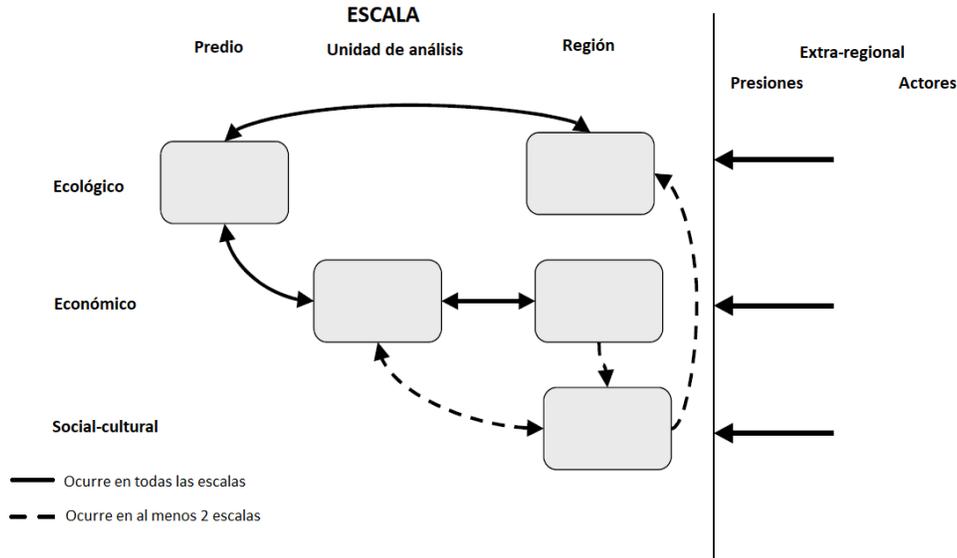
A partir de este ejercicio se identificarán umbrales en el sistema que hallan sucedido o que se esperan se sobrepasen en el futuro y su relación entre escalas y actores, la actividad se puede hacer por elemento: suelo, agua, carbono, nitrógeno o de forma integrada.

<sup>3</sup> Se determinará con el resto del equipo el periodo de tiempo adecuado para la construcción del perfil histórico.



También se quiere identificar el tipo de variables que han impulsado dichos cambios (driver) en su dimensión temporal, en cuanto a si son lentas o rápidas<sup>4</sup>.

Figura 69. Múltiples umbrales que interactúan entre escalas y dominios



Fuente: adaptado de (Kinzig et al., 2006)

Tabla 23. Umbrales, drivers de tipo lento transiciones

Desafío	Driver	Umbrales	Escala			Transiciones positivas derivadas	Transiciones negativas derivadas	Nivel de certeza
			R	UA	P			

R: regional

<sup>4</sup> Dado el tamaño de la unidad de análisis será necesario establecer los periodos de tiempo para clasificar los drivers en lentos o rápidos con el equipo de trabajo.

UA: Unidad de análisis

P: Predial

La Tabla 23, permitirá organizar los aportes para estructurar lo identificado para los umbrales de posible preocupación asociados con las variables lentas identificadas en el numeral 4. Para cada uno de los umbrales se marca la escala o escalas y se le asigna un nivel de certeza de 1 a 3, donde 1 indica una alta certeza (cuantitativa y basada en evidencia), 2 indica un nivel medio de certeza y 3 indica una Bajo nivel de certeza.

102

### 2.2.5. Desarrollo del modelo mental de cambio

Los socioecosistemas tienden a moverse a través de diferentes fases en su dinámica, conocidos como ciclos adaptativos.

#### 2.2.5.1. Análisis prospectivo, desarrollo de escenarios

Un escenario es una narrativa estructurada sobre un posible camino futuro de un sistema socioecológico, se desarrollarán de tres a cinco escenarios, que se ajusten a la gama de futuros plausibles.

Un pequeño número de escenarios obliga a los participantes a priorizar las variables más críticas, si se usaran más escenarios, sería imposible para las personas comprender el trascendencia. La comparación de algunos escenarios revela factores de cambio, mayores incertidumbres, opciones para la acción y resultados plausibles (Resilience Alliance, 2007).

Teniendo en cuenta los drivers identificados anteriormente y el desafío, se propondrán tres escenarios posibles en términos de cambios en el uso de la tierra, migración y cambios demográficos, cambio climático, desarrollo económico, posibles cambios futuros en los flujos de Servicios Ecosistémicos deseados<sup>5</sup>.

Usando el cuadro Tabla 23 modificada, Tabla 24, se identifican de nuevo los drivers en los escenarios posibles planteados para la unidad de análisis.

---

<sup>5</sup> Se hace una propuesta planeados los escenarios para ver respuestas frente al cambio en la provisión de Servicios Ecosistémicos, pro se alentará a los participantes a hacer otras propuestas, modificarlos.



Tabla 24. Instrumento para análisis prospectivo

Desafío	Driver	Umbrales	Escala desde la que proviene la presión			Transiciones positivas derivadas	Transiciones negativas derivadas	Nivel de certeza	Actores que modulan
			R	UA	P				

### 2.2.6. Síntesis de resultados del análisis del SSE

Es importante para este punto lograr ilustrar lo construido participativamente y abordarlo en un solo bloque para que las piezas se vean todas juntas.

En su primera parte lo importante es definir si lo presentado en materia de Servicios Ecosistémicos en el taller 1, aporta o no al desafío común, que alcance aporta este conocimiento y que faltaría.

Los demás puntos desarrollados en el taller 2, aparte 2.2.4, permiten concluir que se debe trabajar en la transformación, por ejemplo, si el reto es que el sistema se dirige hacia un umbral crítico o los roles de los actores clave en la toma de decisiones están demasiado centralizados e ineficaces, se entra a diseñar la estrategia de inteligencia colectiva hacia la transición deseada.

Si por el contrario se determina que la trayectoria del sistema va hacia un estado deseado, la estrategia apuntará a mantener los factores determinantes de esta trayectoria y la gestión de las amenazas del sistema.

#### 2.2.6.1. Transformación/ mantenimiento de estados deseados

El proceso de desarrollo de la estrategia se puede facilitar trabajando a través de lo siguiente:

- Identificar oportunidades de creación de confianza en el sistema y diseño del plan para su implementación.
- Diseño de un plan para mejorar el intercambio de conocimientos entre las partes interesadas y formalización los mecanismos para obtener aportes de todos los niveles de gobierno.



• Considerar las formas de generación de capital y confianza y diseño de la estrategia de fomento en el sistema focal:

- 1) Inversiones estratégicas para asegurar la salida deseada de Servicios Ecosistémicos
- 2) Incorporación del conocimiento ecológico en las estructuras institucionales
- 3) Creación redes sociales y ecológicas
- 4) Combinación de diferentes formas de conocimiento para aprender
- 5) Incentivos para la participación de los interesados
- 6) Identificación y abordaje de vacíos de conocimiento
- 7) Desarrollar experiencia

### 2.3. Resultados de la implementación de una estrategia de inteligencia colectiva

Se llevaron a cabo dos talleres uno el día 14 de noviembre y otro el día 17 de diciembre de 2018. Los resultados obtenidos con respecto a la presentado en el segundo producto de este contrato como propuesta de estrategia colectiva, se presenta a continuación.

#### 2.3.1. Identificación del desafío común con respecto a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos

Se presentó el contexto geográfico de la unidad de análisis, esta información proviene de los análisis técnicos desarrollados en anteriores convenios con la corporación autónoma.



A modo seguido se expusieron los resultados de los cambios temporales identificados en el trabajo técnico previo en relación con la provisión de agua, carbono y nitrógeno.





Con respecto a la identificación del asunto o los asuntos de importancia a analizar, se hizo un ejercicio de lluvia de ideas para identificar las palabras claves que se podrían usar para la construcción del enunciado del desafío común



Cada participante escribió en una o varias cartulina una palabra clave que respondiera a: "¿Cuál es el desafío que enfrentamos frente al uso de Recursos Naturales, para mantener y/o mejorar el bienestar?"



Tabla 25. Frases construidas con los participantes a partir de las palabras claves para la construcción del desafío común

<p>Aprovechamiento sostenible de RN, tal que permita su distribución equitativa con su distribución <u>equitativa</u> con transformación local con valor agregado para llegar a <u>mercados diferenciados</u>.</p> <p>Cómo <u>conservar y manejar</u> los RN en el contexto de <u>transformación acelerada</u> del territorio. <b>Bienestar social</b></p> <p>Cómo mantener el <u>equilibrio</u> de los Ecosistemas en áreas productivas. <u>Integrar</u> a todos los <u>miembros de la sociedad</u> para lograr su propia <u>sostenibilidad/sustentabilidad</u>.</p> <p><u>Sinergia</u> acciones concertadas entre actores académicos, sociales, económico, en torno al uso y conocimiento de los RN y el equilibrio.</p> <p><b>Observaciones Importantes:</b> Fijación de políticas y <b>normatividad para el uso del suelo</b> – mientras no haya una intervención oficial que obligue esto sea cumplido, no pasa nada. No podemos esperar que las políticas nos resuelvan los problemas, es mas probable buscar soluciones locales que esperar que el Estado controle todas las situaciones.</p>
--

Las palabras subrayadas y en negrilla son aquellas que se discutieron en plenaria como las que deberían ir en el enunciado del desafío común. Partir de esto se hicieron tres propuestas de párrafos para escoger cual sería el que mejor describía lo que es el desafío común para los participantes.

Las opciones fueron las siguientes:

1. Mantener el equilibrio y productividad de los socioecosistemas de la altillanura a partir de la conservación y manejo de los recursos naturales y la integración y sinergia de los miembros de la sociedad, de tal forma que se garantice el bienestar socioambiental
2. Mantener el equilibrio y productividad de los socioecosistemas de la altillanura a partir del conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales, la integración y sinergia de los miembros de la sociedad y la comunicación abierta de tal forma que se garantice su sostenibilidad
3. Promover, mantener, garantizar la sostenibilidad de los socioecosistemas de la altillanura, a partir del conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales, la integración y sinergia de los miembros de la sociedad y la comunicación abierta.

El enunciado que se escogió para el desafío común fue la opción 2





Tabla 26. Enunciado del desafío común

2. Mantener el equilibrio y productividad de los socioecosistemas de la altillanura a partir del conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales, la integración y sinergia de los miembros de la sociedad y la comunicación abierta de tal forma que se garantice su sostenibilidad

### 2.3.2. Identificación de roles con respecto al desafío frente a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos

La pregunta orientadora en este punto es: ¿cuál es su rol, en referencia al desafío común identificado en el numeral anterior **Tabla 26**.

Dentro de estas respuestas podemos identificar dos grupos de actores, empresariales e institucionales

Tabla 27. Roles identificados por los participantes

Actores empresariales
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión propia para la conservación, diálogos y extensión a la comunidad mediante campañas y programas de capacitación y conocimiento en temas de conservación de áreas, BIOENERGY tiene un programa robusto de conservación en la actualidad cuenta con más 256 hectáreas de bosque nativo reforestadas, con material vegetal producido en su vivero dentro las especies podemos mencionar balsa, congrio, flor morado, flor amarillo, caracaro, yoplo ect</li> <li>• Apoyo técnico, documental, conservación de áreas de interés mediante monitoreo</li> </ul>



<p>continuó</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• promoción del conocimiento en la preservación y conservación de los recursos naturales.</li> </ul>
<p>Actores Institucionales</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo de campo y SIG</li> <li>• Investigación en la valoración de los SE para un uso adecuado del territorio</li> <li>• Participación en la definición de los indicadores de sostenibilidad y poder cuantificar el impacto causado por las diversas actividades productivas que establecen en el territorio.</li> <li>• Apoyar dentro de la entidad para continuar con el proyecto</li> <li>• Investigador apoyar desde la investigación básica y aplicada el conocimiento de los indicadores de salud ecosistémica que permitan establecer programas, planes y/o acciones tendientes a alcanzar niveles aceptables de sostenibilidad y sustentabilidad</li> <li>• Contribuir al conocimiento y la gestión del componente ambiental del territorio</li> <li>• Estructuración del convenio específico de cooperación entre el Instituto Humboldt y Agrosavia para seguir trabajando sobre los Servicios Ecosistémicos</li> </ul>

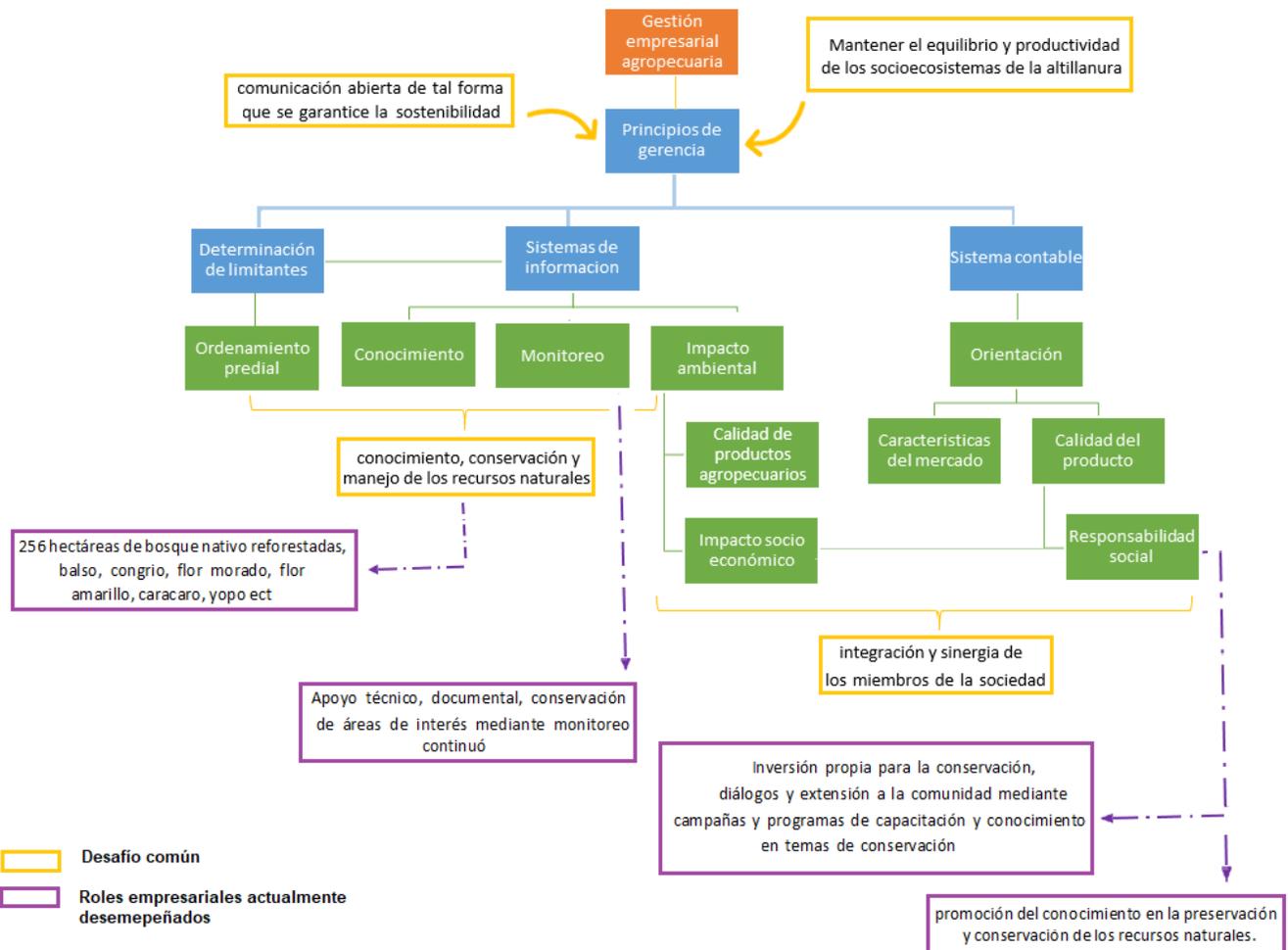
A partir de esta identificación de roles es posible ubicar estas acciones dentro de la gestión empresarial visibilizando como estos se articulan aportando al desafío común.

Dado que estas empresas poseen una política de sostenibilidad ya desarrollada es importante que incluyan elementos de monitoreo, transparencia en el uso y compartir de la información.

En la siguiente figura se observa como se muestra cómo encaja el desafío común en la gestión empresarial y algunas de las acciones que ya vienen desarrollando las empresas en este sentido.

*Figura 70. Integración del desafío común en la gestión empresarial agropecuaria*





Fuente: Adaptado de Bustamante (2009)

### 2.3.3. Documentación salida de campo para monitoreo participativo de la biodiversidad en paisajes agropecuarios

Como parte del ejercicio de campo para identificar, de manera participativa, las especies presentes relacionadas con la prestación de los Servicios Ecosistémicos de provisión de agua, ciclaje de nutrientes y fijación de carbono en la quebrada Piedra Candela, como unidad de análisis, se llevó a cabo una salida de campo en las instalaciones de la empresa Mavalle el día 15 de noviembre del presente año.



El ejercicio incluyó el día 14 de noviembre una socialización del trabajo de campo llevado a cabo por el biólogo en distintas coberturas de la unidad de análisis microcuenca quebrada piedra candela y hallazgos preliminares.

El día 15 se hicieron ejercicios prácticos con personal de la empresa. Todo el proceso fue documentado en video y fotografías que se anexan en este informe como insumo a la futura elaboración de material divulgativo para el monitoreo de la biodiversidad en paisajes agropecuarios.

Los grupos taxonómicos trabajados fueron, macroinvertebrados para identificación de la calidad de agua, coleópteros coprófagos y coberturas vegetales.

El enlace de descarga del material audiovisual es el siguiente:

<https://1drv.ms/f/s!Aqsyd2Ez6HPJgocqu8spi5UBxKnJ3A>

**3 Documento que contenga la descripción de los indicadores a ser medidos y reportados en el tiempo, que contribuyan a la gestión eficiente en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta, así como los avances de los acuerdos de monitoreo de Servicios Ecosistémicos hacia la sostenibilidad y gestión eficiente en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta, con al menos dos empresas del sector agropecuario.**

Los indicadores son adoptados debido a su capacidad de resumir, concentrar y condensar la enorme complejidad del entorno dinámico a una cantidad manejable de información significativa (Godfrey y Todd, 2001 en Singh et al., 2012), mediante la conceptualización de los fenómenos y la evaluación de las tendencias y la identificación de los puntos calientes, los indicadores simplifican, cuantifican, analizan y comunican información compleja (Warhurst, 2002 en Singh et al., 2012).

Se decidió enfocarse en aquellas investigaciones que se centraran en el uso de índices, ya que estos constituyen aproximaciones conmensuralistas que se construyen agregando diversas variables asumidas como componentes de un fenómeno y a las cuales se le asigna un peso relativo con respecto al resto a la hora de sumar todos los efectos (Quiroga, 2001). Poseen grandes ventajas en la lectura final, ya que muestra una visión agregada de varios indicadores medidos a través de variables, a nivel práctico debido a su naturaleza matemática, pueden montarse y cambiarse los valores de entrada obteniendo un sistema simple de seguimiento donde no se cambia la estructura si no la salida en relación con la información ingresada. Los aspectos para tener en cuenta en la construcción de un índice incluyen la selección de las variables, ponderaciones fuentes de datos, elección del período base.

Para la elaboración de este aparte se revisó el producto: “revisión, selección, análisis y sistematización de indicadores de sostenibilidad concomitantes con estudios de servicios ecosistémicos en paisajes agropecuarios a



nivel nacional e internacional” de 2017. Este documento identificó 70 artículos internacionales enfocados a la determinación de índices y cálculos de sostenibilidad, estos fueron revisados de nuevo con el fin de seleccionar aquellos que se centraran en escala predial y del paisaje, incluyeran aproximaciones participativas y fueran sencillos de entender y manejar por un público más amplio como productores, empresarios y tomadores de decisiones de nivel municipal.

Una vez realizada este filtro se seleccionaron seis propuestas:

- Índice de valor natural: Esta investigación identifica tres componentes cuantificables (cabezas de ganado por hectárea, hábitat lineal en mts/ha y porcentaje de praderas manejadas) estos se combinan en un solo índice para evaluar el estado del valor de la naturaleza en finca (Boyle et al., 2015). Para llegar a esta conclusión se hacen varios análisis estadísticos para hallar las variables más relevantes a incluir en un índice simplificado de salud.
- Índice multidimensional de medios de vida MLI: Índice cuantitativo basado en información secundaria a escala regional busca dar soporte al desarrollo sostenible a través de la mejora del bienestar de los medios de vida de los pobladores y hacer frente a la vulnerabilidad (Donohue & Biggs, 2015).
- Índice de salud de la finca: Creado para apoyar a los productores a gestionar la biodiversidad y fomentar el pensamiento ecológico, el índice una herramienta a escala de finca que complementa las herramientas existentes de evaluación al integrar múltiples métricas y resultados adecuados para la toma de decisiones integrada a la evaluación anual (Quinn, Brandle, & Johnson, 2013).
- Índice regional de integridad ecológica RIEI: El objetivo principal fue la establecer una manera de desarrollar un índice compuesto de integridad ecológica a nivel regional a través de diferentes indicadores / índices de composición, estructura y función relacionados con la fragmentación, representatividad, susceptibilidad y conectividad del paisaje (Reza & Abdullah, 2011).
- Modelado de sostenibilidad usando aves como indicador: Modeló el tamaño de la población de cinco aves en agroecosistemas como indicador de sostenibilidad para la diversidad de especies (SISD) incluyen niveles de compensaciones bajo de frentes escenarios de uso (Gottschalk et al., 2010).

Índice taxonómico cruzado para cuantificar la salud de la biodiversidad en fincas: Desarrolla un índice de sostenibilidad usando taxones que se puede usar para evaluar tanto la salud actual de las fincas como los impactos de futuros de cambios en la intensificación. Reconocen que la conservación de la biodiversidad es solo uno de los muchos factores que deben considerarse al definir la sostenibilidad y el índice aporta como una herramienta para guiar el desarrollo de sistemas agropecuarios sostenibles (Butler et al., 2009).

### 3.1. Identificación de las entradas, requerimientos de procesamiento y lectura final de los índices

Se hizo una lectura detallada para identificar las entradas, requerimientos de procesamiento y lectura final Tabla 28.



Tabla 28. Escala, entradas, requerimientos de procesamiento y lectura final de las propuestas de índices para medición de indicadores de sostenibilidad,

Fuente	Indicador propuesto	Información de entrada	Cálculos requeridos	Lectura e interpretación	Escala
Development of a nature value index for pastoral farmland—A rapid farm-level assessment (Boyle et al., 2015).	Índice de valor natural	Encuesta (aspectos productivos) Información geográfica polígono predio Levantamiento flora Determinación de hábitats Índices de diversidad, riqueza y abundancia <sup>6</sup> .	Análisis estadísticos (correlación Pearson, clúster, análisis de componentes principales, regresiones). Normalización de variables Espacialización de datos	las fincas con un puntaje mayor a 4.5 en el índice se clasifican como granjas HNV (alto valor natural).	Predial
Monitoring socio-environmental change for sustainable development: Developing a Multidimensional Livelihoods Index (MLI) (Donohue & Biggs, 2015).	Índice multidimensional de medios de vida MLI	Estudios de cambio climático Variables socioeconómicas y naturales <sup>7</sup> Cartografía básica	Normalización de variables Análisis estadísticos (correlación) Espacialización de datos	De cero a uno, donde los valores cercanos a 1 son los mejores y los cercanos a cero los peores.	Regional
A farm-scale biodiversity and ecosystem services assessment tool: The healthy farm index (Quinn et al., 2013).	Índice de salud de la finca	Elementos de biodiversidad y servicios ecosistémicos medidos en la finca <sup>8</sup>	Estandarización Ponderación	De 0 a 1, siendo los valores cercanos a 1 los de mayor salud en cuanto a biodiversidad y Servicios Ecosistémicos	Predial con posibilidad de usar a nivel regional

<sup>6</sup> Ver Anexo 4. Variables empleadas en el cálculo índice valor natural

<sup>7</sup> Ver Anexo 5. Variables usadas para el cálculo del índice multivariado de medios de vida MLI

<sup>8</sup> Ver Anexo 6. Variables usadas para el cálculo del Índice de salud de la finca



Fuente	Indicador propuesto	Información de entrada	Cálculos requeridos	Lectura e interpretación	Escala
Regional Index of Ecological Integrity: A need for sustainable management of natural resources RIEI (Reza & Abdullah, 2011).	Índice regional de integridad ecológica RIEI	Variables de cuatro grandes componentes: fragmentación, susceptibilidad del ecosistema, conectividad del paisaje y representatividad.  Provenientes de satélites y fuentes de información secundaria <sup>9</sup> .	Análisis de componentes principales o análisis multivariado  Ponderación  Estandarización  Coeficiente de sensibilidad  Espacialización y análisis de información geográfica	De 0 a 4, donde 4 es excelente y cero es la peor calificación. Pero se puede establecer este rango diferente.	Paisaje
Modelling land-use sustainability using farmland birds as indicators (Gottschalk et al., 2010).	Modelado de sostenibilidad usando aves como indicador <sup>10</sup>	Modelos de distribución espacial de especies de aves	Análisis invariado  Modelos de diversidad de especies  Espacialización y análisis de información geográfica	De 0 a 1 siendo los valores cercanos a 1 los más deseados.	Paisaje  Predio
A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity (Butler	Índice taxonómico cruzado para cuantificar la salud de la biodiversidad en fincas <sup>11</sup>	Información secundaria sobre requerimientos de las especies de so grupos taxonómicos seleccionados	Modelos de correlación, regresión, para determinar el riesgo de impacto de intensificación	Las especies con una puntuación de riesgo estandarizada igual a su POS (punto de sostenibilidad)	Paisaje adaptable a predio

<sup>9</sup> Ver Anexo 7. Variables usadas para el cálculo del Índice regional de integridad ecológica RIEI.

<sup>10</sup> Ver Anexo 8. Variables usadas para el cálculo de sostenibilidad del uso del territorio usando especies de aves.

<sup>11</sup> Ver Anexo 9. Variables usadas para el cálculo de Índice taxonómico cruzado



Fuente	Indicador propuesto	Información de entrada	Cálculos requeridos	Lectura e interpretación	Escala
et al., 2009).		(abejorros, mariposas, mamíferos, plantas de hoja ancha y aves).	sobre los grupos taxonómicos.  Ponderación de valores  Calculo de la incertidumbre	obtuvieron una puntuación de cero, las puntuaciones más negativas se atribuyeron a las especies más alejadas del POS y las puntuaciones positivas se atribuyeron a las especies con tasas de crecimiento anual positiva.	



### 3.2. Análisis de los índices en términos de las ventajas y desventajas desde el enfoque participativo, la facilidad de recolección de información, requerimientos de procesamiento y uso en una plataforma multiactor para la toma de decisiones

Estas propuestas fueron analizadas en términos de las ventajas y desventajas desde el enfoque participativo, la facilidad de recolección de información, requerimientos de procesamiento y uso en una plataforma multiactor para la toma de decisiones Tabla 29.

Tabla 29. Ventajas y limitaciones de los índices propuestos

Nombre	Ventajas	Limitaciones
Índice de valor natural	El estudio concluye que a mayor número de áreas seminaturales mayor biodiversidad y que otro factor importante es la densidad de ganado por hectáreas a menores densidades mayor biodiversidad.  Además, son esenciales los bosques de ribera y las áreas comunes, estas últimas sobre todo para predios con bajas	Requiere predios con al menos 20% de cobertura natural.  Se centra en fincas con actividad ganadera.  Dado que el estudio se hizo en Irlanda se debería conducir un ejercicio similar para reevaluar las variables finales para calcular el índice (porcentaje de pasturas manejadas, hábitats lineales



Nombre	Ventajas	Limitaciones
	<p>coberturas naturales.</p> <p>Utilizó como medida indirecta de áreas seminaturales, el área en pasturas manejadas por considerarla más compresible y monitoreable por los productores.</p> <p>Realizan la medición de diversas variables para concluir la construcción de un índice de tres variables.</p>	<p>(metros/hectáreas) y cabezas por hectárea). Además, los predios presentaban poca heterogeneidad de coberturas, algo poco común en Colombia.</p>
<p>Índice multidimensional de medios de vida MLI</p>	<p>Relaciona la pobreza con el contexto espacial, también temporal si se agregan series de datos.</p> <p>Retoma información secundaria de fuentes oficiales para calcular el índice.</p> <p>Se podría unir por ejemplo con el índice de sostenibilidad desarrollado por el Instituto Humboldt, estudios regionales como el PEMO, probabilidad de colapso y establecer las áreas prioritarias de intervención institucional.</p> <p>Puede ser una herramienta útil para la contextualización de otros índices como los de desigualdad y pobreza en relación con el entorno natural y sus cambios.</p> <p>Muy útil en contextos de toma de decisión por la integración de fuentes de información estudios existentes y la facilidad de lectura de las salidas</p>	<p>El índice puede aplicarse a cualquier región, pero requiere rehacer los cálculos de correlación para establecer las variables clave.</p>
<p>Índice de salud de la finca</p>	<p>Se les asigna peso individual a las variables, lo que le da flexibilidad para usar las mismas variables (se les llaman métricas) en diferentes contextos, cambiando la ponderación.</p> <p>La ponderación se hace colaborativamente entre los investigadores y productores</p>	<p>Al ser participativo se corre el riesgo de que las ponderaciones sean bajas o desconectadas de lo que pasa a escalas más amplias.</p> <p>Deja por fuera métricas de varios grupos taxonómicos de utilidad para ver el comportamiento de Servicios Ecosistémicos claves como nutrientes</p>



Nombre	Ventajas	Limitaciones
	<p>La información se puso en un excel para ser diligencia por los productores</p> <p>Propone un cálculo bastante simple bien adaptado a los productores</p>	<p>del suelo y calidad de agua.</p>
<p>Índice regional de integridad ecológica RIEI</p>	<p>Propone una visión un poco más simplificada y flexible para incorporar varios elementos clave del paisaje y expresarlo en un solo índice.</p>	<p>Es una aproximación muy técnica que requiere habilidades profesionales y de conectividad y equipo específicas lo que limita su uso en algunos contextos de baja conectividad, equipamiento o limitaciones de personal.</p> <p>No se presentó en el documento consultado ningún estudio de caso o se mencionó alguna validación en campo por lo que no se conocen las limitaciones de su uso práctico.</p> <p>Muy centrado en métricas del paisaje, deja de lado otro tipo de variables biofísicas como las climáticas.</p>
<p>Modelado de sostenibilidad usando aves como indicador</p>	<p>Como insumo académico científico, aporta una valiosa línea base para estructurar programas de monitoreo participativo que hablen del estado de la biodiversidad integrando estos dos espacios de construcción.</p> <p>Utiliza un solo grupo taxonómico que despierta un gran interés por lo que facilita la toma de datos en campo y la vinculación de actores.</p> <p>Ofrece insumos para calcular valores de compensación por proyectos especialmente agroindustriales.</p>	<p>Es un estudio muy académico que incluye un importante análisis de hábitat y distribución de especies en una región dada en relación con la presencia ausencia de estas especies de aves en distintos escenarios de uso del territorio.</p> <p>Debido a la alta diversidad de especies de aves, resultaría difícil sólo escoger 5 como se hizo en el estudio o se deberían cambiar los criterios de selección de especies dependiendo del aspecto a evaluar en el paisaje (significado de presencia de especies raras, endémicas, abundancia, riqueza).</p>
<p>Índice taxonómico cruzado para</p>	<p>Se construyó un marco de evaluación de</p>	<p>Requiere una base de datos de especies</p>



Nombre	Ventajas	Limitaciones
<p>cuantificar la salud de la biodiversidad en fincas <sup>12</sup></p>	<p>riesgo para varios grupos taxonómicos, determinando el impacto de actividades agrícolas sobre estos grupos taxonómicos debido a que afectaban abundancia y disponibilidad de recursos para estas especies.</p> <p>Permite hacer evaluación de escenarios futuros de intensificación o reducción de la intensificación de uso del suelo sobre la biodiversidad. También el impacto real sobre medidas de mitigación y otras que se cree podrían tener efectos sobre la biodiversidad.</p>	<p>en paisajes agropecuarios muy robusta para hacer los análisis solamente a través de información secundaria, la cual no se posee en el país.</p> <p>La lectura del índice es compleja, requeriría una readaptación para poder hacer una lectura más práctica para los productores y tomadores de decisiones.</p> <p>No se incluye nada en relación con el agua.</p>

Dado que se contemplaron dos escalas de medición, teniendo en cuenta las ventajas y limitaciones Tabla 29 de las metodologías evaluadas, se propone:

A nivel regional, debido a la ventajas en divulgación sencilla de resultados e integración de diversos estudios a escala regional y la inclusión de variables sociales, se recomienda el índice multivariado de modos de vida (Donohue & Biggs, 2015). Sin embargo, se necesita incluir más variables biofísicas como las de tipo climático para mayores conclusiones acerca del Servicios Ecosistémicos de provisión de agua.

Resultaría muy útil si se conecta en el caso de la Orinoquia con los estudios de riesgo y vulnerabilidad regionales como el PEMO, probabilidad de colapso, modelos de cambio climático, otros índices de integridad ecológica que se han hecho a nivel de cuenca.

<sup>12</sup> Ver Anexo 9. Variables usadas para el cálculo de Índice taxonómico cruzado



Tabla 30. Índices propuestos y su relación con los principios e indicadores de integridad y el desafío común

Nombre	Integración principios e indicadores de integridad	Relación con el desafío común
Índice de valor natural	Dado que toma información de usos dentro del predio aporta a principalmente al cálculo de heterogeneidad y apertura.	Mantenimiento del equilibrio y productividad de los socioecosistemas.  Conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales
Índice multidimensional de medios de vida MLI	Este índice toma variables principalmente socioeconómicas y las relaciona con otros estudios especialmente aquellos de vulnerabilidad y riesgo. Aportaría principalmente a bienestar cálculo de colapso.	Integración y sinergia entre todos los miembros de la sociedad y comunicación abierta para que se garantice su sostenibilidad.
Índice de salud de la finca	Registra riqueza de especies vegetales presentes en el predio, a partir de esta información se puede calcular la cantidad de carbono en biomasa (oferta de Servicios Ecosistémicos), biomasa y por último dado que registra los hábitat, coberturas naturales y antrópicas en el predios permitiría estimar heterogeneidad y apertura.  La información de presencia de aves puede ser un proxy para oferta de Servicios Ecosistémicos y probabilidad de colapso.	Mantenimiento del equilibrio y productividad de los socioecosistemas.  Conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales  Integración y sinergia entre todos los miembros de la sociedad y comunicación abierta para que se garantice su sostenibilidad.
Índice regional de integridad ecológica RIEI	Está explícito en el nombre que se enfoca al cálculo de integridad, pero dada la información requerida permitiría estimar heterogeneidad y apertura.	Mantenimiento del equilibrio y productividad de los socioecosistemas.  Conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales
Modelado de sostenibilidad usando aves como indicador	La información de uso del paisaje es esencial en este índice por lo que a partir de ella es posible estimar heterogeneidad, apertura y eficiencia.	Mantenimiento del equilibrio y productividad de los socioecosistemas.  Conocimiento, conservación y manejo



Nombre	Integración principios e indicadores de integridad	Relación con el desafío común
	La información de distribución y presencia de aves puede ser un proxy para oferta de Servicios Ecosistémicos y probabilidad de colapso.	de los recursos naturales
Índice taxonómico cruzado para cuantificar la salud de la biodiversidad en fincas	<p>Evalúa los impactos potenciales de la intensificación agropecuaria en relación con los cambios de hábitat, alimento de varios grupos taxonómicos, el detrimento de la cantidad y calidad de estos representa el riesgo. En este sentido este índice aporta al cálculo de colapso como riesgo de pérdida de biodiversidad y de oferta de Servicios Ecosistémicos ya que entre estas especies se cuentan polinizadores y controladores de poblaciones.</p> <p>Aunque solo hace inventario de hábitats se puede a través de información espacial incluir datos de uso para calcular heterogeneidad, apertura y eficiencia.</p>	<p>Mantenimiento del equilibrio y productividad de los socioecosistemas.</p> <p>Conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales</p>



Este índice responde a las necesidades identificadas para la valoración de la sostenibilidad a partir de los escenarios establecidos con los tomadores de decisiones a escala regional. Los índices MLI, salud de finca e índice cruzado taxonómico aportarían una combinación muy interesante integrando escalas y métricas para el cálculo de sostenibilidad y el monitoreo.

Figura 71. Necesidades identificadas para la valoración de la sostenibilidad con los tomadores de decisiones a escala regional

- 1. La gestión de la información**
- El fortalecimiento y efectividad de las relaciones entre el sector público y privado para la generación y acceso a la información
  - El incremento en la capacidad de analizar de manera sistémica la información
  - La capacidad empresarial de proyectar la información del paisaje a la finca

Fuente: Instituto Humboldt. (2018)



De otro lado, a escala de finca, tal como se contempla en este proyecto como parte del monitoreo participativo regional de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos, se propone la integración de dos metodologías, de un lado el índice de salud de finca (Quinn et al., 2013) recolecta datos en campo de forma sencilla, vincula a los productores en la ponderación y la medición y de otro lado sería de mucha utilidad incluir los elementos de valoración de riesgo por actividades de intensificación del índice taxonómico cruzado (Butler et al., 2009). Estos dos índices no incluyen elementos relacionados con el agua por lo que habría que integrarlos y, para el índice taxonómico cruzado, calcular estos valores a través de ejercicios piloto, ya que no se posee el acervo de datos para hacerlo a través de información secundaria; en ese sentido, se debe establecer una línea base en paisajes representativos con diferentes intensidades de uso. Este ejercicio sería académico investigativo y sentaría las bases para poder estructurar el sistema de monitoreo en campo, una vez se tengan los cálculos previos que permitan la contextualización de los resultados.

Por ahora se puede usar el índice de salud de finca (Quinn et al., 2013) para contextualizar la información de inventarios que se llevó a cabo en piedra candela y los ejercicios de monitoreo participativo que se quieren implementar en las empresas aliadas a través de los acuerdos. A continuación, se relaciona la información disponible y su uso en los componentes del índice propuesto.



Tabla 31. Información disponible y vinculación al índice de salud de finca (Quinn et al., 2013)

	Categoría de medición del índice	Datos que se recolectan con las empresas e instituciones aliadas en Piedra Candela	Observaciones
Índice de salud de la finca (Quinn et al., 2013)	Diversidad de ecosistemas Servicios de provisión Servicios de regulación	<p>En el caso de piedra candela, se ha hecho un ejercicio previo según capa de coberturas 2012. Esta actualización se haría con el apoyo de empresas con presencia en la microcuenca Bioenergy y Mavalle. A partir de lo identificado en el taller del 17 de septiembre, estas empresas hacen verificación de coberturas adyacentes al menos una vez al año.</p> <p>En los acuerdos de monitoreo se propondrá que estos datos sean aportados con la periodicidad en los que se toman para poder actualizar el cálculo.</p>	
	Servicios de provisión Servicios de regulación	<p>Mediciones de caudales bianuales llevadas a cabo por empresas vinculadas: Las empresas vinculadas en este proceso de inteligencia colectiva, ubicadas en el Caño Piedra Candela llevan a cabo dos mediciones de caudales al año, por lo que se sugiere realicen toma de datos de macroinvertebrados según guía generada con los resultados del trabajo de campo contrato 18-130.</p>	<p>El índice no incluye medición de taxones o características relacionadas con provisión de agua, por lo que deberían incluirse. Al integrar el índice cruzado taxonómico (Butler et al., 2009) se deberán escoger especies clave para elaborar la matriz de riesgo.</p>
	Diversidad de especies	<p>En las actividades de plateo y recolección de látex de los árboles de caucho se propone que durante estas labores agrícolas se instalen las trampas y se haga la recolección de los animales colectados. Se haría lista de chequeo de identificación de los principales morfoespecies capturadas según guía generada con los resultados del trabajo de campo contrato 18-130.</p>	<p>Este índice no incluye grupo taxonómico de escarabajos, tampoco el índice cruzado (Butler et al., 2009). Se deberá incluir como parte de diversidad de especies y para la integración con el índice taxonómico cruzado se deberán calcular las matrices de riesgo para escarabajos.</p>
	Diversidad de especies	<p>Durante la recolección de látex puede hacerse reconocimiento de aves y mamíferos presentes.</p>	



### 3.3. Contenido y los procedimientos para la realización de acuerdos de monitoreo orientados a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del Departamento del Meta

Una vez que las partes acuerdan trabajar juntas, comienzan las actividades para diseñar el acuerdo de conservación real. Es de resaltar que se debe hacer explícito que cualquiera de las partes es libre de retirarse del acuerdo, si, en algún momento, consideran que no se puede negociar un acuerdo satisfactorio.

122

#### 3.3.1. Etapas para establecer acuerdos

Se reconocen varias etapas para establecer acuerdos sólidos y duraderos:

- Aproximación metodológica: En esta etapa se identifica la metodología propuesta para el monitoreo participativo.
- Establecimiento del objetivo y enfoque: se formula la definición de qué se quiere lograr y como se debe proceder, en este caso llegar a acuerdos de monitoreo orientados a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos en los paisajes agropecuarios de la altillanura. Para esto uno de los objetivos podrá ser el montaje de un piloto basado en la participación plena y efectiva de todas las partes interesadas.
- Identificación de actores y espacios: En esta etapa se desarrolla un diagnóstico para identificar qué actores vienen participando y a través de qué espacios o mecanismos, así como a aquellos actores que es necesario involucrar (Sandoval, Porras, & Schneider, 2015). Esta etapa incluye, además:
  - Diseminación de información y fortalecimiento de capacidades para esto se llevan a cabo reuniones de diseminación de información con actores de la región, se propicia el intercambio de experiencias entre actores que ya hayan estado involucrados en proyectos similares, el propósito es de impulsar un proceso donde todos los involucrados puedan participar, tomar decisiones informadas y ser empoderados técnicamente.
  - Articulación multinivel para la participación de los actores involucrados: se identifican espacios ya existentes que podrían aportar a diseminar información y fortalecer capacidades, así como si es necesario la creación de nuevos para lograr articular una plataforma multinivel.
- Fortalecimiento de la gobernanza gestión eficiente de servicios ecosistémicos en los paisajes agropecuarios: Para garantizar una gobernanza se deben reforzar las acciones a través del acompañamiento en el ejercicio de sus funciones y el fortalecimiento de capacidades de sus miembros, dando especial atención a los funcionarios de las empresas vinculadas y a los profesionales de las corporaciones autónomas con el fin de que puedan acompañar los procesos empresariales y comunitarios.



### 3.3.2. Propuesta de contenido de los acuerdos de monitoreo

#### **ACUERDO DE VOLUNTADES PARA LA CONSOLIDACIÓN, FORTALECIMIENTO Y DESARROLLO DE UN PLAN DE MONITOREO ORIENTADOS A LA SOSTENIBILIDAD Y GESTIÓN EFICIENTE DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LOS PAISAJES AGROPECUARIOS DE LA ALTILLANURA PLANA DEL DEPARTAMENTO DEL META**

Los abajo firmantes, en representación de la Autoridad Ambiental, los entes territoriales, empresas, organizaciones sociales, las Instituciones de Educación Superior, ubicadas y con injerencia en la altillanura plana del departamento del Meta,

#### **CONSIDERANDO QUE:**

En la Constitución Política de 1991, el país elevó el manejo y protección de los recursos naturales y el medio ambiente, en otras palabras, la biodiversidad, a la categoría de norma constitucional, mediante el reconocimiento de la obligación del Estado y de las personas de proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación (Art. 8), del derecho de los colombianos a tener un ambiente sano (Art. 79) y del desarrollo sostenible como el modelo que orienta el crecimiento económico, el mejoramiento de la calidad de vida y del bienestar social de la Nación, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

Que el Decreto ley 2811 de 1.974 Código Nacional de los recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente manifiesta que el ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo que son de utilidad pública e interés social. Regula el manejo de los recursos naturales renovables, la defensa del ambiente y sus elementos.

Que el estado colombiano mediante la Ley 165 de 1994. aprueba el “Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica”, en cumplimiento de los compromisos adquiridos en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992 y que este convenio tiene entre otros objetivos, la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos y por otro lado, solicita a la partes, la adopción de diversos compromisos, entre otros: elaborar estrategias, planes o programas nacionales para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica.

Que en la Décima conferencia de la partes (COP10) realizada en Nagoya, Japón, del 18 al 29 octubre 2010, se revisa y actualiza el Plan Estratégico para la Biodiversidad y se adopta en el marco de este instrumento cinco (5) objetivos y 20 metas, conocidas como Metas Aichi para la diversidad biológica. En



el marco del Objetivo C: “Mejorar la situación de la diversidad biológica salvaguardando los ecosistemas, las especies y la diversidad genética”, Meta 7: Para 2020, las zonas destinadas a agricultura, acuicultura y silvicultura se gestionarán de manera sostenible, garantizándose la conservación de la diversidad biológica.

Y que la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE 2012) hace manifiesta la necesidad de integrar los sistemas ecológicos y sociales para una gestión más efectiva en el cumplimiento de los objetivos de conocer, conservar, restaurar y usar sosteniblemente la biodiversidad; retos requieren el desarrollo de estrategias que garanticen el mantenimiento o incremento de la resiliencia de los sistemas socioecológicos y con ella, el suministro de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar humano. Que el eje temático IV. Biodiversidad, gestión del conocimiento, tecnología e información busca promover, fortalecer y coordinar la generación, recuperación, articulación y divulgación de información, conocimiento y desarrollos tecnológicos, provenientes de diferentes sistemas de conocimiento, que permitan alimentar y orientar la toma de decisiones, fortaleciendo los procesos de inventario y monitoreo de la biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos, a través de cartografía a escalas adecuadas, colección y evaluación de componentes, estructuras y funciones de la biodiversidad.

175

### ACUERDAN:

Aportar a la conservación de la biodiversidad contribuyendo al cumplimiento de los compromisos firmados por el país y con las prioridades identificadas dentro de las Estrategia y Planes de Acción Nacional sobre Biodiversidad ***a partir de la participación en la construcción y puesta en marcha de un programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta, acorde con sus roles misionales y con el fin de apoyar la ejecución de las acciones comprometidas, evaluar su desarrollo en relación con el cumplimiento de los objetivos y proponer mecanismos de mejora.***

Generar impactos netos positivos en la biodiversidad para el mantenimiento o mejora presentes que son de importancia para la conservación de la biodiversidad.

‘no causar daño’ al bienestar de Otros Actores y ocupantes del territorio

Llevar a cabo monitoreo para seguir de cerca cambios sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y mitigar los impactos negativos detectados, con el apoyo de los otros actores promotores y firmantes de este acuerdo.



Participar plena y efectivamente en los espacios dispuestos y poner a disposición la información recolectada para el fortalecimiento de la gobernanza gestión eficiente de servicios ecosistémicos en los paisajes agropecuarios.

Para ellos se comprometen a:

1. Suscribir el presente acuerdo de voluntades para construcción y puesta en marcha de un programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta.
2. Adoptar las medidas financieras, logísticas y administrativas necesarias para garantizar la consolidación y funcionamiento del programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta en su Institución o empresa.
3. Expresar su voluntad para la participación de un grupo de trabajo interinstitucional e interdisciplinario de coordinación, articulación y asesoría para la gestión, aplicación y desarrollo del programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta
4. Participar activamente en el fortalecimiento y desarrollo del programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta.
5. Apoyar la coordinación y desarrollo de las actividades que se planifiquen en el marco del programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta
6. Asignar como mínimo un representante de carácter técnico para la participación en los procesos y actividades del programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta.

176

En acuerdo con todo lo anteriormente expresado, en nombre de las instituciones que representamos, hacemos manifiesta la voluntad de participar en la consolidación, fortalecimiento y desarrollo de del programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta.

Firmado en \_\_\_\_\_, el \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019.

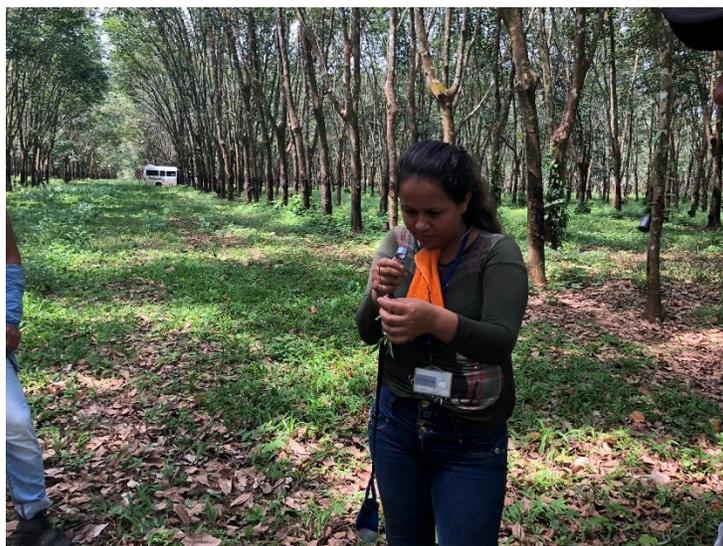
### 3.4. Avances de los acuerdos de monitoreo de Servicios Ecosistémicos hacia la sostenibilidad y gestión eficiente en los paisajes agropecuarios de la altillanura plana del departamento del Meta

Se logró avanzar en varias etapas para establecer acuerdos sólidos y duraderos



- Aproximación metodológica: En esta etapa se identificó cual sería la metodología propuesta para el monitoreo participativo, se hizo trabajo de campo para levantamiento de fauna y flora en la unidad de análisis identificada y se hizo documentación de la puesta en marcha de ejercicios de campo tipo de monitoreo participativo de la biodiversidad y Servicios Ecosistémicos en la empresa Mavalle con presencia de personal de ONG y otras empresas ubicadas alrededor del caño piedra candela.

*Figura 72. Ejercicio de monitoreo de biodiversidad*



- Establecimiento del objetivo y enfoque: se llevó a cabo el ejercicio de identificación del asunto de importancia a analizar través de un ejercicio de lluvia de ideas y posterior socialización para determinar: "¿Cuál es el desafío que enfrentamos frente al uso de Recursos Naturales, para mantener y/o mejorar el bienestar? Se formularon tres opciones y se hizo votación virtual para determinar cuál era la que más se ajustaba a la mayoría de las participantes

2. Mantener el equilibrio y productividad de los socioecosistemas de la altillanura a partir del conocimiento, conservación y manejo de los recursos naturales, la integración y sinergia de los miembros de la sociedad y la comunicación abierta de tal forma que se garantice su sostenibilidad

- Identificación de actores y espacios: a partir de los ejercicios de identificación de coberturas se mapearon todos los actores con actividades productivas ubicados en el caño piedra



candela, para la organización de los talleres se ubicaron sus datos de contacto y fueron invitados para la socialización y el ejercicio práctico en campo.

<p>Rol de los Actores empresariales</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión propia para la conservación, diálogos y extensión a la comunidad mediante campañas y programas de capacitación y conocimiento en temas de conservación de áreas, BIOENERGY tiene un programa robusto de conservación en la actualidad cuenta con más 256 hectáreas de bosque nativo reforestadas, con material vegetal producido en su vivero dentro las especies podemos mencionar balsa, congrio, flor morado, flor amarillo, caracaro, yopo etc.</li> <li>• Apoyo técnico, documental, conservación de áreas de interés mediante monitoreo continuó</li> <li>• promoción del conocimiento en la preservación y conservación de los recursos naturales.</li> </ul>
<p>Rol de los Actores Institucionales</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo de campo y SIG</li> <li>• Investigación en la valoración de los SE para un uso adecuado del territorio</li> <li>• Papel de interés es participar en la definición de los indicadores de sostenibilidad y poder cuantificar el impacto causado por las diversas actividades productivas que establecen en el territorio.</li> <li>• Seguir buscando apoyo dentro de la entidad para continuar con el proyecto</li> <li>• Investigador apoyar desde la investigación básica y aplicada el conocimiento de los indicadores de salud ecosistémica que permitan establecer programas, planes y/o acciones tendientes a alcanzar niveles aceptables de sostenibilidad y sustentabilidad</li> <li>• Mi rol sería el de un profesional que contribuya al conocimiento y la gestión del componente ambiental del territorio</li> <li>• Estructuración del convenio específico de cooperación entre el Instituto Humboldt y Agrosavia para seguir trabajando sobre los Servicios Ecosistémicos</li> </ul>

A demás como parte del proceso de diseminación de información y fortalecimiento de capacidades, se hizo una socialización del trabajo de campo llevado a cabo por el equipo de biólogos en distintas coberturas de la unidad de análisis piedra candela y hallazgos preliminares y un día de campo para desarrollar actividades prácticas de monitoreo con macroinvertebrados para identificación de la calidad



de agua, coleópteros coprófagos y coberturas vegetales. Todo el proceso fue documentado en video y fotografías que se anexan en este informe como insumo a la futura elaboración de material divulgativo para el monitoreo de la biodiversidad en paisajes agropecuarios.

*Figura 73. Espacios de construcción colectiva de desafío hacia la sostenibilidad*



Como parte de la articulación multinivel para la participación de los actores involucrados, la propuesta de inteligencia colectiva avanzó en convocar a actores de varias instituciones y ponerlos a dialogar en la definición de un desafío común y los roles para poder abordarlo desde las diferentes esferas de las empresas e instituciones participantes como Agrosavia, Cormacareana, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, BIOENERGY, Mavalle, comité de ganaderos del Meta. Se deja formulado un borrador de acuerdo para vincular a los actores a participar en la consolidación, fortalecimiento y desarrollo de del programa de monitoreo participativo de la biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos para la altillanura plana del departamento del Meta.



## ANEXOS

### Anexo 1. Glosario ampliado

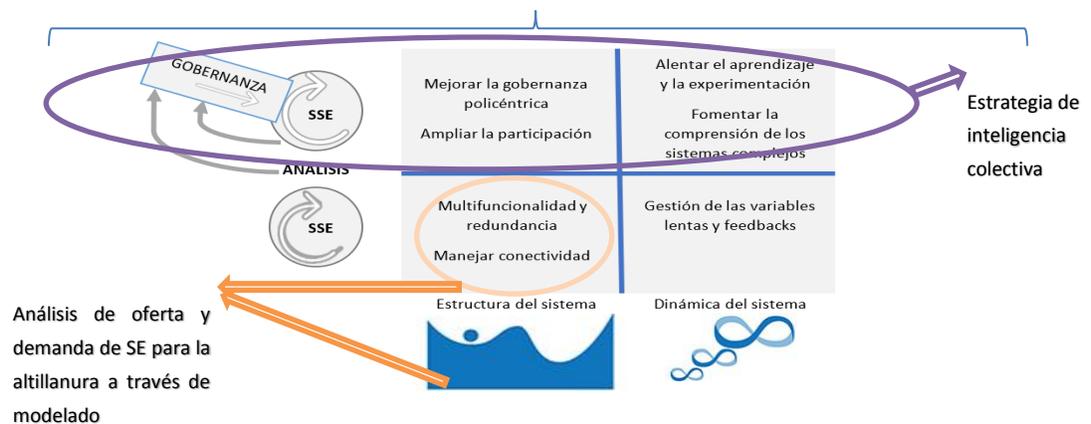
#### Resiliencia y Sistemas socioecológicos SSE

Los problemas de manejo de recursos naturales no son solo problemas ecológicos o sociales, sino que tienen múltiples elementos integrados. Estos sistemas, en los que se desarrollan aspectos culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos interactuando, se conocen como sistemas socioecológicos (Resilience Alliance, 2010). Este concepto enfatiza en la perspectiva de las interacciones entre los seres humanos y los elementos biofísicos del paisaje que le rodean.

La resiliencia en este contexto hace referencia a la capacidad del SSE para mantener un conjunto deseado de Servicios Ecosistémicos frente a perturbaciones y trayectorias de cambios. Los diferentes sectores de la sociedad valoran, necesitan y demandan variedad de Servicios Ecosistémicos, así las decisiones sobre qué Servicios Ecosistémicos se priorizan son intrínsecamente políticas (Biggs et al., 2012).

Las estrategias para mejorar la resiliencia (Biggs, Schluter y Schoon 2015 en Quinlan, et al., 2016) pueden dividirse en dos ejes: si se centran principalmente en la resiliencia de un sistema socioecológico o su gobernanza, y si se centran en la resiliencia en función de la estructura del sistema o su dinámica. Estas estrategias son complementarias y se pueden combinar, los criterios de heterogeneidad y multifuncionalidad se relacionan directamente con la estructura del sistema socioecológico SSE.

Figura 74. Ejes conceptuales de la resiliencia socioecológica



Fuente: Modificado de Quinlan, Berbés-Blázquez, Haider, & Peterson, (2016). Measuring and assessing resilience: broadening understanding through multiple disciplinary perspectives

## Paisaje

La visión de cualquier paisaje, tanto directa como representada de la forma que sea, sugiere, en una aproximación una especie de mosaico más o menos ordenado de formas y colores. Si se analiza con mayor detalle se verá que las piezas del mosaico son muy diferentes: unos tienen consistencia sólida, otras líquida, unas están dotadas de vida, otras no. Al ir profundizando la apreciación se observa que existen acusadas diferencias, que se mantiene cierto orden y que sus componentes no son de ninguna manera estáticos (Bolós, 1992).

Los paisajes son por lo tanto (van Oosten, Wigboldus, Mulkerrins, & Brouwers, 2017) son:

- Multifuncionales: mosaicos complejos heterogéneos de varios usos de la tierra
- Multi-stakeholder: Reúnen partes interesadas con intereses diferentes sobre los recursos del paisaje
- Multiescalares: se extienden a través de los límites político-administrativos y escalas

Al igual que el paisaje, el estudio de este ha atravesado diversas etapas a lo largo del tiempo:

- Génesis (1850 - 1920): En esta etapa surgen las primeras ideas físico-geográficas, sobre la interacción de los fenómenos naturales y las primeras formulaciones del paisaje como noción científica.
- Desarrollo biogeomorfológico (1920- 1930): Bajo la influencia de otras disciplinas, en particular la Geología y la Biología, se desarrollan las ideas sobre la interacción entre algunos componentes del paisaje, en particular el relieve y la vegetación.
- Establecimiento de la concepción físico-geográfica (1930- 1955): Se desarrollan los conceptos sobre la diferenciación en pequeña escala de los paisajes; el análisis de la esfera geográfica como sistema planetario, y la determinación de las leyes geoecológicas generales.
- Análisis estructuro - morfológico (1955 - 1970): la atención principal se le dio al estudio de las unidades locales y regionales, en particular la taxonomía, la clasificación y la cartografía de las unidades. El interés en los estudios renovados del paisaje se suscita en los años setenta a través de los trabajos de Bertrand, bajo los auspicios de la escuela francesa. “El paisaje no es la simple suma de elementos geográficos separados, sino que es –para una cierta superficie espacial- el resultado de las combinaciones dinámicas, a veces inestables, de elementos físicos, biológicos y antropológicos que, engarzados dialécticamente, hacen del paisaje un cuerpo único e indisoluble en perpetua evolución” (Bertrand & Tricart, 1968).
- Análisis funcional (1970 - hasta la actualidad): se han introducido métodos sistémicos y cuantitativos en el análisis del paisaje, elaborándose los enfoques para el estudio del funcionamiento, la dinámica, la evolución y el análisis informacional.



- Integración geoecológica (1985 - hasta la actualidad): la atención principal se ha dirigido al estudio de la interrelación de los aspectos de los aspectos estructuro - espacial y dinámico - funcional de los paisajes, y la integración en una misma dirección científica (Geoecología o Ecogeografía) de las concepciones biológicas y geográficas sobre los paisajes.
- Dimensión socio - geoecológica (1990 - hasta la actualidad): centrada en la articulación entre la triada categorías de los paisajes (paisaje natural - paisaje social - paisaje cultural) y la forma en que los grupos sociales utilizan, transforman y perciben a los paisajes naturales

### Gobernanza del paisaje

La gobernanza en el paisaje lo define como un espacio geográfico multi-funcional, multi-stakeholder que abarca los objetivos ambientales, sociales y económicos de los actores que allí habitan. Estos elementos se abordan de manera integrada y en conexión con dinámicas relevantes más allá del paisaje particular (van Oosten, et al., 2017).

Una forma de representar estas relaciones que ocurren en el paisaje, en relación entre procesos, función, servicios del ecosistema y bienestar humano ha sido planteado como parte del marco de trabajo de Haines-Young & Potschin (2010) y De Groot et al. (2010) en (Romero, Flantua, & Rodríguez-Erazo, 2011), presentando una distinción entre las estructuras y procesos ecológicos creados o generados por organismos vivos y los beneficios que la gente finalmente derivan. En este esquema de modelo cascada, los servicios ecosistémicos son generados por funciones del ecosistema que dependen a su vez de estructura biofísicas.

La función del ecosistema es un intermedio entre los procesos y los servicios y dentro del esquema corresponde a la capacidad de los ecosistemas para proporcionar bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas, directa e indirectamente (De Groot, 1992 en Romero, Flantua, & Rodríguez-Erazo, 2011).

El paisaje concebido como un mosaico heterogéneo de ecosistemas que cambia constantemente debido a las dinámicas de los seres humanos necesita incorporar dentro de su planificación, estrategias que vinculen de una parte el conocimiento sobre los patrones y procesos que en él ocurren y de otro lado los sistemas sociales, políticos y económicos que producen un cambio en sus estructuras de funcionamiento (Romero, Flantua, & Rodríguez-Erazo, 2011).

Como eje se propone seguir la conceptualización de Nassauer & Opdam, (2008) un enfoque de análisis del paisaje para su planificación, donde el concepto de diseño deberá responder a las necesidades futuras de la sociedad para mejorar la función del paisaje relacionándolo con los procesos-patrones que se presentan en diferentes espacios “definimos el diseño como cualquier cambio intencional de patrón



de paisaje con el propósito de proporcionar de manera sostenible servicios ecosistémicos mientras se satisfacen las necesidades sociales y se respetan los valores de la sociedad” (Nassauer & Opdam, 2008).

### Anexo 2. Pautas de participación

Para que la participación en un proceso de capacitación se convierta en una experiencia positiva y efectiva, debe ser (Candelo R, et al., 2003):

- Activa: todas las personas aportan en las discusiones y toma de decisiones.
- Crítica: los temas son considerados y analizados de forma constructiva bajo distintos puntos de vista.
- Organizada: obedeciendo unas reglas y secuencias previamente acordadas.
- Creativa: construyendo conceptos innovadores, mezclándolos y complementándolos con ideas o asociaciones nuevas.
- Equitativa: todas las personas tienen las mismas posibilidades de participar y todos los aportes tienen el mismo valor.
- Precisa: definiendo y aclarando los términos, para llegar a resultados consensuados.
- Legitimadora: buscando acuerdos con los cuales se puedan identificar todos.



Anexo 3. Resumen de actividades de la estrategia de inteligencia colectiva e insumos para su desarrollo

Actividades	Insumos		
	Taller de interacción	Taller de interacción	Documentos técnicos
	N°1	N°2	
Inicio- Introducción a la metodología	X		
Identificación del desafío común	X		
Identificación de roles frente al desafío común	X		
Delimitación de la escala temporal	X		X
Delimitación de la escala espacial	X		X
<b>Identificación de los componentes clave para la construcción del conocimiento frente al desafío</b>			
Identificación de los componentes clave del sistema socioecológico		X	
Identificación de límites del sistema socioecológicos		X	
Identificación de disturbios en el presente y el futuro relacionadas con el desafío identificado		X	
Desarrollo del perfil histórico del sistema en referencia a la sostenibilidad y gestión eficiente de servicios ecosistémicos		X	X
<b>Desarrollo del modelo mental de cambio</b>			
Análisis prospectivos, desarrollo de escenarios	X	X	
<b>Síntesis de resultados del análisis del SSE</b>	X	X	X



Anexo 4. Variables empleadas en el cálculo índice valor natural

Cod	Nombre
Ecoregion	Unidad de paisaje
Fields no	Numero de predios en la finca
To area	Total del área predial
To UAA	Área total en uso agrícola hectáreas
Hab no	Numero de hábitats registrados
Hab ex linear	Numero de hábitats no lineales
%Imp	% de pasturas mejoradas y manejadas
%SN	& de hábitat seminaturales
Spp rich	Riqueza de especies de plantas excluyendo hábitats lineales
WL(m)	Longitud de setos y líneas de árboles metros
WL(m/ha)	Longitud de setos y líneas de árboles metros por hectárea
FW (m)	Longitud de de hábitat lineales ribereños (bosques ripario) metros
FW (m/ha)	Longitud de hábitat lineales ribereños (bosques ripario) metros por hectárea
BL	Longitud de muros de piedra y bancos de arena metros.
BL (m/ha)	Longitud de muros de piedra y bancos de arena metros hectárea
Linear To (m)	Total longitud de hábitats lineales metros
Lin To (m/ha)	Total longitud de hábitats lineales metros hectárea
LU/ha	Cabezas de Ganado por hectárea
LU/ha UAA	Cabezas de Ganado por hectárea del área utilizable



--	--

Anexo 5. Variables usadas para el cálculo del índice multivariado de medios de vida MLI

VARIABLES HUMANAS

- Alfabetización en mujeres: porcentaje de mujeres adultas que pueden leer y escribir en cualquier idioma
- Expectativa de vida de los niños: porcentaje de niños nacidos en los pasados 5 años que permanecen vivos.
- Asistencia escolar: porcentaje de niños en edad escolar que van al colegio nivel primaria y básica secundaria.
- Escasez de alimentos: porcentaje de personas en riesgo de sufrir escasez de alimentos



VARIABLES FÍSICAS

- Fuentes de agua segura: porcentaje de la población que tiene acceso a fuentes de agua segura
- Sanidad básica: porcentaje de la población que tiene acceso a instalaciones sanitarias adecuadas
- Electricidad: porcentaje de viviendas con electricidad
- Acceso a vías pavimentadas: tiempo de viaje hasta la vía pavimentada más cercana

VARIABLES NATURALES

- Irrigación: porcentaje de área cultivable bajo riego
- Elevación: porcentaje del área total con una elevación mayor a 3500 mts
- Distancia a fuentes de agua: promedio distancia euclidiana hasta el río
- Calidad de suelo: porcentaje de buenos suelos sobre el total del área
- Precipitación: promedio anual de precipitación
- Pendiente:
- Densidad de cultivos: porcentaje de área cultivado sobre el área total

VARIABLES FINANCIERAS

- Valor de las fincas: Valor total de las tierras de cultivo del propietario
- Valor del ganado: valor total de venta de todo el ganado de propiedad por familia
- Acceso a servicios financieros: tiempo de viaje hasta el banco
- Remesas: Relación entre el porcentaje del ingreso nacional y la proporción promedio de remesas en el ingreso total de los hogares.

VARIABLES SOCIALES



- Castas: porcentaje de personas perteneciente a cada casta
- Redes y conectividad: porcentaje de personas que tienen acceso regular a televisión, radio y teléfono.
- Densidad población: población rural por km 2
- Distancia a la capital: Costo promedio de la distancia a la capital.



Anexo 6. Variables usadas para el cálculo del Índice de salud de la finca

Categoría	Métrica	Fuente		
Diversidad de especies	Riqueza de vegetación planeada	Cuestionario	Puntaje de biodiversidad	Índice de salud de la finca
	Riqueza ganadería	Cuestionario		
	Indicador especies de aves	Investigación y observación del productor		
	Especies nativas aves /total	Investigación y observación del productor		
Diversidad de ecosistemas	Riqueza de elementos del paisaje	Mapas de finca y cuestionario	Puntaje de biodiversidad	
	Porcentaje de áreas sin cultivos	Mapas de finca y cuestionario		
	Porcentaje de elementos raros del paisaje	Cuestionario		
Servicios de provisión	Hectáreas cosechadas	Cuestionario	Puntaje de servicios ecosistémicos	
	Oportunidades de mercado	Cuestionario		
Servicios de regulación	Porcentaje de fuentes de agua protegidas	Mapas de finca	Puntaje de servicios ecosistémicos	
	Porcentaje de áreas protegidas	Cuestionario		



	Porcentaje de coberturas naturales continuas	Cuestionario		
Servicios culturales	Satisfacción	Cuestionario		
	Tenencia	Cuestionario		

Anexo 7. Variables usadas para el cálculo del Índice regional de integridad ecológica RIEI

Componentes	Indicadores/métricas	Escala /herramientas
Fragmentación	Numero de parches, densidad de parches, área tota de los parches, promedio tamaño del parche, índice de tamaño del parche, distancia al vecino más cercano	Paisaje/ plataformas GIS
Representatividad	Porcentaje de representatividad de ecosistema circundante, porcentaje de representatividad del mismo ecosistema en la región.	De acuerdo con la UICN
Susceptibilidad del ecosistema	Bosque, área bosque ripario, zonas buffer, espacios sin parches, densidad relativa de vías, susceptibilidad a la erosión, desertificación, acidificación del suelo,	Análisis del paisaje con herramientas GIS



Componentes	Indicadores/métricas	Escala /herramientas
	salinidad del suelo.	
Conectividad del paisaje	<p>Conectividad estructural: cohesión de parches, índice de proximidad, distancia al vecino más cercano, dimensión fractal.</p> <p>Conectividad funcional: teoría de grafos, modelo de conectividad</p>	Análisis del paisaje con herramientas GIS



Anexo 8. Variables usadas para el cálculo de sostenibilidad del uso del territorio usando especies de aves

Variables predictivas	Valores beta de BD				
	Sp ave 1	Sp ave 2	Sp ave 3	Sp ave 4	Sp ave 5
<p><b>Locales:</b></p> <p>Geográficas coordenadas</p> <p>Msnm</p> <p>Pendiente</p> <p>Curvatura</p> <p>Humedad del suelo</p>					



Uso del suelo: diferentes coberturas					
<b>Matrix del paisaje:</b>					
Diversidad paisaje Shannon					
Diversidad en cultivos Shannon					
Fragmentación del paisaje					
Densidad de campo					
Densidad de borde					
Densidad de vías					
Densidad de huertas					
Porcentaje de cobertura de naturales y antrópicas (cultivos y praderas)					



Anexo 9. Variables usadas para el cálculo de Índice taxonómico cruzado

Grupo taxonómico	Tipo de información	Categorías
Abejorros	Periodos de actividad	Meses de actividad a lo largo del año
	Hábitat foráneos	Márgenes de carreteras, cultivos etc.
	Plantas	Lista de familias de plantas potencialmente usadas por los abejorros



Grupo taxonómico	Tipo de información	Categorías
	Hábitats de anidación	Márgenes de carreteras, cultivos etc.
	Requerimientos para anidamiento	Versatilidad, pastura extensiva, pastura abierta, suelo desnudo, huecos de árboles etc.
Mariposas	Periodos de actividad en los adultos	Meses de actividad a lo largo del año
	Hábitat foráneos de los adultos	Márgenes de carreteras, cultivos etc.
	Plantas usadas por los adultos	Lista de familias de plantas potencialmente usadas por las mariposas adultas.
	Periodos de actividad en las larvas	Meses de actividad a lo largo del año
	Hábitat foráneos de las larvas	Márgenes de carreteras, cultivos etc.
	Plantas usadas por las larvas	Lista de familias de plantas potencialmente usadas por las larvas de las mariposas.
Mamíferos	Dieta	Invertebrados (superficiales y en el subsuelo), material vegetal, semillas y vertebrados.



Grupo taxonómico	Tipo de información	Categorías
	Hábitat para anidación y descanso	Márgenes de carreteras, cultivos, bosque etc.
	Hábitats foráneos	Márgenes de carreteras, cultivos etc.
Plantas de hoja ancha	Hábitat	Márgenes de carreteras, cultivos etc.
	Periodo de germinación	Meses de actividad a lo largo del año
	Periodo de floración	Meses de actividad a lo largo del año
	Preferencias de nitrógeno	
	Preferencias de humedad	
	Susceptibilidad a los herbicidas	Alta o baja
Aves	Dieta verano e invierno	Invertebrados (superficiales y en el subsuelo), material vegetal, semillas y vertebrados.
	Hábitat verano- invierno	Márgenes de carreteras, cultivos etc.





Familia	Especies transecto uno bosque de galería
Annonaceae	Annona sp 1
	Xylopia aromatica (Lam.) Mart.
	Xylopia emarginata Mart.
Apocynaceae	Himatanthus articulatus (Vahl) Woodson
Burseraceae	Protium sp 2
	Protium sp 3
Euphorbiaceae	Mabea nitida Spruce ex Benth.
Lauraceae	Aniba sp 1
Melastomataceae	Miconia elata (Sw.) DC.
	Miconia tomentosa (Rich.) D. Don ex DC.
Myrtaceae	Myrcia sp 3
Ochnaceae	Ouratea castaneifolia (DC.) Engl.
Phyllantaceae	Phyllanthus acuminatus Vahl
Rubiaceae	Amaioua guianensis Aubl.
	Faramea sp 1
Sapindaceae	Talisia aff. cerasina (Benth.) Radlk.
Siparunaceae	Siparuna guianensis Aubl.

Familia	Especies transecto dos bosque de galería
Annonaceae	Annona sp 1



Familia	Especies transecto dos bosque de galería
<b>Araliaceae</b>	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.
<b>Burseraceae</b>	<i>Protium</i> sp 1
<b>Chrysobalanaceae</b>	<i>Couepia</i> sp 1
<b>Fabaceae</b>	<i>Inga</i> sp 1
	<i>Inga</i> sp 2
<b>Lauraceae</b>	<i>Ocotea</i> sp 1
<b>Melastomataceae</b>	<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana
<b>Moraceae</b>	<i>Helicostylis</i> aff. <i>tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby
<b>Myristicaceae</b>	<i>Compsonaura</i> sp 1
<b>Quinaceae</b>	<i>Lacunaria crenata</i> (Tul.) A.C. Sm.
<b>Rubiaceae</b>	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.
<b>Sapindaceae</b>	<i>Talisia</i> aff. <i>cerasina</i> (Benth.) Radlk.
<b>Siparunaceae</b>	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.

Familia	Especies transecto tres bosque de galería
<b>Annonaceae</b>	<i>Annona</i> sp 2
	<i>Xylopia emarginata</i> Mart.
<b>Apocynaceae</b>	<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson
<b>Burseraceae</b>	<i>Bursera</i> sp 1
	<i>Protium</i> sp 2



Familia	Especies transecto tres bosque de galería
	Protium sp 3
<b>Capparaceae</b>	Capparidastrum aff. sola (J.F. Macbr.) Cornejo & H. Iltis
<b>Euphorbiaceae</b>	Mabea occidentalis Benth.
<b>Fabaceae</b>	Inga sp 3
<b>Melastomataceae</b>	Bellucia grossularioides (L.) Triana
<b>Moraceae</b>	Helicostylis aff. tomentosa (Poepp. & Endl.) Rusby
<b>Myristicaceae</b>	Compsoeura sp 1
<b>Myrtaceae</b>	Myrcia sp 1
	Myrcia sp 2
<b>Ochnaceae</b>	Ouratea castaneifolia (DC.) Engl.
<b>Rubiaceae</b>	Amaioua guianensis Aubl.
	Capirona decorticans Spruce
	Faramea sp 1
<b>Sapindaceae</b>	Morfo sp 1
	Talisia aff. cerasina (Benth.) Radlk.
<b>Siparunaceae</b>	Siparuna guianensis Aubl.
<b>Violaceae</b>	Rinorea pubiflora (Benth.) Sprague & Sandwith

Familia	Especies transecto uno plantación de caña
<b>Cyperaceae</b>	Cyperus aff. haspan L.



Familia	Especies transecto uno plantación de caña
	Cyperus aggregatus (Willd.) Endl.
	Eleocharis minima Kunth
	Rhynchospora nervosa (Vahl) Boeckeler
	Rhynchospora sp 1
<b>Fabaceae</b>	Mimosa sp 1
<b>Gentianaceae</b>	Coutoubea spicata Aubl.
<b>Lamiaceae</b>	Hyptis sp 1
<b>Lytraceae</b>	Cuphea sp 1
<b>Poaceae</b>	Andropogon bicornis L.
	Digitaria sp 1
	Digitaria sp 3
	Eragrostis maypurensis (Kunth) Steud.
	Otachyrium versicolor (Döll) Henrard
	Panicum sp 2
	Paspalum sp 1
<b>Rubiaceae</b>	Richardia scabra L.

Familia	Especies parcela dos plantación de caña.
<b>Euphorbiaceae</b>	Croton trinitatis Millsp.
<b>Fabaceae</b>	Aeschynomene brasiliana (Poir.) DC.



Familia	Especies parcela dos plantación de caña.
	crotalaria sp 1
	Mimosa sp 1
Gentianaceae	Coutoubea spicata Aubl.
Melastomataceae	Ossaea sp 1
Poaceae	Digitaria sp 1
	Digitaria sp 3
	Eriochloa distachya Kunth
	Schizachyrium sanguineum (Retz.) Alston
Salicaceae	Casearia sp 1



Familia	Especies parcela tres plantación de caña
Asteraceae	Emilia sonchifolia (L.) DC.
	Erechtites sp 1
	Erechtites sp 2
Cyperaceae	Cyperus aggregatus (Willd.) Endl.
	Rhynchospora nervosa (Vahl) Boeckeler
Euphorbiaceae	Croton trinitatis Millsp.
Lamiaceae	Hyptis sp 2
Phyllanthaceae	Phyllanthus sp 2



<b>Poaceae</b>	Andropogon bicornis L.
	Eriochloa distachya Kunth

<b>Familia</b>	<b>Especies Transecto Uno Pastizal</b>
<b>Gentianaceae</b>	Coutoubea spicata Aubl.
<b>Poaceae</b>	Urochloa decumbens (Stapf) R.D. Webster



<b>Familia</b>	<b>Especies transecto Dos Pastizal</b>
<b>Asteraceae</b>	Ageratum sp 1
	Emilia fosbergii Nicolson
	Fleischmannia sp 1
<b>Cyperaceae</b>	Cyperus aggregatus (Willd.) Endl.
	Cyperus sp 1
<b>Euphorbiaceae</b>	Caperonia palustris (L.) A. St.-Hil.
	Croton trinitatis Millsp.
	Euphorbia sp 1
	Euphorbia sp 2
	Euphorbia sp 3
<b>Fabaceae</b>	Aeschynomene brasiliana (Poir.) DC.
	Desmodium barbatum (L.) Benth.
	Vigna sp 1



	Zornia diphylla (L.) Pers.
<b>Gentianaceae</b>	Coutoubea spicata Aubl.
	Irlbachia alata (Aubl.) Maas
<b>Lamiaceae</b>	Hyptis sp 1
	Hyptis sp 3
<b>Malvaceae</b>	Sida aff. acuta Burm. f.
<b>Phyllanthaceae</b>	Phyllanthus sp 1
<b>Plantaginaceae</b>	Scoparia dulcis L.
<b>Poaceae</b>	Digitaria sp 2
	Panicum rudgei Roem. & Schult.
	Panicum sp 1
	Paspalum virgatum L.
	Urochloa decumbens (Stapf) R.D. Webster
<b>Rubiaceae</b>	Richardia scabra L.



<b>Familia</b>	<b>Especies Transecto Tres Pastizal</b>
<b>Amaranthaceae</b>	Achyranthes aspera L.
<b>Asteraceae</b>	Ageratum sp 1
	Emilia fosbergii Nicolson
	Galinsoga sp 1



<b>Cyperaceae</b>	Cyperus laxus Lam.
<b>Euphorbiaceae</b>	Caperonia palustris (L.) A. St.-Hil.
	Euphorbia sp 1
	Euphorbia sp 3
<b>Fabaceae</b>	Mimosa sp 2
	Zornia diphylla (L.) Pers.
<b>GENTIANACEAE</b>	Coutoubea spicata Aubl.
<b>Lamiaceae</b>	Hyptis sp 1
<b>ONAGRACEAE</b>	Ludwigia hyssopifolia (G. Don) Exell
<b>Phyllanthaceae</b>	Phyllanthus stipulatus (Raf.) G.L. Webster
<b>PLANTAGINACEAE</b>	Scoparia dulcis L.
<b>POACEAE</b>	Digitaria insularis (L.) Fedde
	Digitaria sp 2
	Panicum pilosum Sw.
	Panicum rudgei Roem. & Schult.
	Panicum sp 1
	Paspalum virgatum L.
	Rottboellia cochinchinensis (Lour.) Clayton
<b>RUBIACEAE</b>	Borreria sp 1



Anexo 12. Listado de especies por cada transecto de bosque secundario de galería junto con los valores arrojados para acumulación de biomasa (kg) y carbono (kg/ha).

Especies transecto uno bosque de galería	Biomasa aérea kg	Carbono kg/ha
Protium sp 2	28,911	14,455
Mabea nitida Spruce ex Benth.	14,09	7,049
Myrcia sp 3	10,514	5,257
Siparuna guianensis Aubl.	9,684	4,842
Aniba sp 1	7,923	3,961
Xylopia aromatica (Lam.) Mart.	3,904	1,952
Protium sp 3	3,757	1,878
Amaioua guianensis Aubl.	2,716	1,358
Faramea sp 1	1,793	0,896
Talisia aff. cerasina (Benth.) Radlk.	1,726	0,863
Ouratea castaneifolia (DC.) Engl.	1,485	0,742
Xylopia emarginata Mart.	1,42	0,71
Phyllanthus acuminatus Vahl	1,17	0,585
Annona sp 1	0,889	0,444
Himatanthus articulatus (Vahl) Woodson	0,309	0,154
Miconia tomentosa (Rich.) D. Don ex DC.	0,252	0,126
Miconia elata (Sw.) DC.	0,191	0,095





Especies transecto dos bosque de Galería	Biomasa aérea kg	Carbono kg/ha
<i>Helicostylis</i> aff. <i>tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby	37,949	18,974
<i>Talisia</i> aff. <i>cerasina</i> (Benth.) Radlk.	26,181	13,09
<i>Compsonaura</i> sp 1	10,019	5,009
<i>Inga</i> sp 2	6,518	3,259
<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana	6,313	3,156
<i>Couepia</i> sp 1	4,986	2,493
<i>Inga</i> sp 1	4,838	2,419
<i>Annona</i> sp 1	3,526	1,763
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	3,351	1,675
<i>Ocotea</i> sp 1	3,198	1,599
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	2,964	1,347
<i>Lacunaria crenata</i> (Tul.) A.C. Sm.	1,472	0,736
<i>Protium</i> sp 1	0,206	0,103
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	0,006	0,003

Especies transecto tres bosque de Galería	Biomasa aérea kg	Carbono kg/ha
<i>Annona</i> sp 2	22,126	11,063
<i>Talisia</i> aff. <i>cerasina</i> (Benth.) Radlk.	17,508	8,754
<i>Compsonaura</i> sp 1	8,818	4,409
<i>Capirona decorticans</i> Spruce	8,67	4,335



Especies transecto tres bosque de Galería	Biomasa aérea kg	Carbono kg/ha
<i>Bellucia grossularioides</i> (L.) Triana	6,019	3,009
<i>Capparidastrum</i> aff. <i>sola</i> (J.F. Macbr.) Cornejo & H. Iltis	5,327	2,663
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	5,019	2,509
<i>Faramea</i> sp 1	4,992	2,496
<i>Mabea occidentalis</i> Benth.	4,405	2,202
<i>Inga</i> sp 3	3,842	1,921
<i>Myrcia</i> sp 1	3,801	1,9
<i>Protium</i> sp 2	3,396	1,698
<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	3,338	1,669
<i>Helicostylis</i> aff. <i>tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby	3,015	1,507
<i>Morfo</i> sp 1	2,97	1,485
<i>Bursera</i> sp 1	2,456	1,228
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	2,075	1,037
<i>Rinorea pubiflora</i> (Benth.) Sprague & Sandwith	1,934	0,967
<i>Myrcia</i> sp 2	1,177	0,588
<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	0,764	0,382
<i>Xylopia emarginata</i> Mart.	0,6	0,3
<i>Protium</i> sp 3	0,115	0,057





### Anexo 14. Formato para la toma de datos en campo, Componente Macroinvertebrados

		<i>Proyecto Altillanura del Meta - Componente macroinvertebrados</i>					<b>CARACTERIZACIÓN ESTACIÓN DE MUESTREO</b>		
CODIGO:		FECHA:		Hora:					
PUNTO DE MUESTREO:						FOTO No.:			
COORD. GPS		Latitud	Longitud	ALTITUD (msnm):	CUENCA:				
		Sequía	Transición	Lluvias	PERIODO HIDROLOGICO		A. Bajas	A. Intermedias	A. Altas
<b>SUSTRATO SUMERGIDO</b>									
% de ocupación 0= Ausente/No observado, 1=Raro (<5%), 2= Común (5-30%), 3= Abundante (30-70%) 4= Dominante (>70%)									
MINERAL	% de ocupación	MATERIAL ORGANICO	% de ocupación	Actividad antrópica	Si/No	Esquema -Notas			
Rocas y Bloques % (diámetro >25 cm)		Musos Flotantes (Hongos, musgos)		ganadería					
Cantos rodados % (diámetro 6 a 25 cm)		Algas (Algas filamentosas, Macrófitos)		cultivos					
Guijarros % (2 a 6 cm)		Partes vivas de vegetación		puentes					
Grava (0.2 a 2cm)		MDFPG (>1mm)		vías					
Arenoso % (0.006 a 0.2 mm)		MDFPF (<1mm) detrito fino		Turismo					
Limof. Arcilla % (< 6 um)									
Σ 100%									
ASPECTO LONGITUDINAL			ASPECTO TRANSVERSAL			VEGETACION RIBERENA	Abundante	Moderada	
Meándrico		Encajonado		marcar #		Árbustiva			
Recto		Abierto				Árborea			
Pendiente		Ancho Total (aprox.)				Herbácea			
Zona de depósito		Ancho Superficie				Vegetación introducida			
Zona de erosión		Inundada (aprox.)							



## BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., De las Salas, G., Del Valle, I., Lema, A., Moreno, F., Orrego, S & Rodríguez, L. 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*. Vol 267. Pag 297-308.

Álvarez, L. 2005. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores Instituto . Bogotá.

Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., ... Villarreal, H. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad Instituto. Retrieved from [http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/INSTITUTO\\_HUMBOLDT-Inventarios00288.pdf](http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/INSTITUTO_HUMBOLDT-Inventarios00288.pdf)

Amézquita, E., Friesen, DK., & Sanz, JI. 1998. Indicadores de sostenibilidad: Parámetros edafoclimáticos y diagnóstico del perfil cultural. En: Guimarães EP; Sanz JI; Rao IM; Amézquita MC; Amézquita E, eds. *Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina*. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT , Cali, Colombia; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa , Brasília, DF, Brasil. 49–64 p.

Amézquita, E., Rao, I. M., Rivera, M., Corrales, I. I., & Bernal, J. H. 2013. *Sistemas Agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT , Cali, Colombia; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR de Colombia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica , 288 p

Amézquita, S., Forsyth, A., Lopera, A., & Camacho, A. 1999. Comparación de la Composición Y Riqueza De Especies De Escarabajos Coprofitos Coleoptera : Scarabaeidae en Remanentes De Bosque De La Orinoquia Colombiana. *Acta Zoologica mexicana* n.S. , 76, 113–126.

Barbour, M. T. 1998. *USEPA Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers*, 1–35.

Barragán, F., Moreno, C. E., Escobar, F., Halffter, G., & Navarrete, D. 2011. Negative impacts of human land use on dung beetle functional diversity. *PLoS ONE*, 6 3. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017976>

Bernal, R., Gradstein, R & Celis, M eds. . 2015. *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>. Consultado en diciembre de 2018.



Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., BurnSilver, S., Cundill, G., ... West, P. C. 2012. Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 37 1, 421-448. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836>

Blanco, Y & Leyva, A. 2007. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Rev Cultivos tropicales*. Vol. 28, No. 2, pag. 21-28.

Bolós, M. de. 1992. *Manual de Ciencia del Paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones*. Colección de Geografía, Masson SA, Barcelona.

Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. 2006. DEVELOPMENTS IN AQUATIC INSECT BIOMONITORING: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annual Review of Entomology*, 51 1 , 495–523. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>

Boyero, L., & Bailey, R. C. 2001. Organization of macroinvertebrate communities at a hierarchy of spatial scales in a tropical stream, 219–220.

Boyle, P., Hayes, M., Gormally, M., Sullivan, C., & Moran, J. 2015. Development of a nature value index for pastoral farmland-A rapid farm-level assessment. *Ecological Indicators*, 56, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.011>

Brusca, R., & Brusca, G. 2003. *Invertebrates Second Edi* . Massachusetts: Sinauer Associates.

Butler, S. J., Brooks, D., Feber, R. E., Storkey, J., Vickery, J. A., & Norris, K. 2009. A cross-taxonomic index for quantifying the health of farmland biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, 46 6, 1154-1162. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01709.x>

Bustamante, C. 2009. Orientación de políticas y estrategias de gestión sostenible para la ganadería colombiana (documento Inedito) (p. 46). Bogotá Colombia: FEDEGAN-FNG.

Cabrera, D & Rivera, O. 2016. Composición florística y estructura de los bosques ribereños de la cuenca baja del río pauto, Casanare, Colombia. *Caldasia* vol 38 1 pág. 53-85.

Camacho-reyes, J. A., & Camacho-rozo, C. P. 2010. Aspectos sobre la historia natural de macroinvertebrados en esteros semipermanentes de la altillanura en el departamento de Casanare Aspects of the natural history of macroinvertebrates in the high plains semi-permanent wetlands in the Department of Casan. *Orinoquia*, 1 , 71–82.

Candelo R, Carmen, Ortiz R, Gracia Ana, & Unger, B. 2003. *Hacer talleres: una guía práctica para capacitadores*. Colombia: WWF de Colombia.



Caro-caro, C. I., & Torres-mora, M. A. 2015. Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas Ecosystem Services as support for the Management of socio-ecological systems: application in agroecosystems Serviços Ecosistêmicos co. <https://doi.org/10.1896/ci.cabs.2006.rap30>

Castellanos, Maria Clara; Escobar S., Federicoy; Stevenson R., P. 1999. Dung Beetles Scarabaeidae: Scarabaeinae Attracted to Woolly Monkey *Lagothrix lagothericha* Humboldt Dung at Tinigua National Park, Colombia. *The Coleopterists Bulletin*, 53 2, 155–159. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-65.1.91>

Chave, J., Muller-Landau, H., Baker, T., Easdale, T., Steege, H & Campbell, O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications* 16 pag 2356–2367.

Cochrane, TT., Sánchez, LG., Azevedo, LG., Porras, JA., & Garver, C. 1985. Land in tropical America. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT ; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA ; Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados CPAC , Cali, Colombia. Vol. 1, 144 p.

Colecciones en línea Herbario del Field Museum of Chicago. [plantidtools.fieldmuseum.org/en/rrc/search](http://plantidtools.fieldmuseum.org/en/rrc/search). Consultado en diciembre de 2018.

Colecciones en línea Herbario Nacional Colombiano COL. [www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants](http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants). Consultado en diciembre 2018.

Colecciones en línea Herbario Universidad Distrital. UDBC. [www.herbario.udistrital.edu.co/herbario/](http://www.herbario.udistrital.edu.co/herbario/). Consultado en diciembre 2018.

Colwell, R. K. 2013. EstimateS. Connecticut, USA: Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of Connecticut.

Conservation International, & EcoAdvisors. 2016. Field Guide for Design and Implementation. Conservation International. Recuperado de [https://www.conservation.org/publications/Documents/CI\\_CSP-Field-Guide.pdf](https://www.conservation.org/publications/Documents/CI_CSP-Field-Guide.pdf)

Cultid, C. A., Medina Uribe, C. A., Martínez Quintero, B. G., Escobar Villa, A. F., Constantino Chuaire, L. M., & Betancur Posada, N. J. 2012. Escarabajos coprófagos Scarabaeinae del Eje Cafetero: guía para el estudio ecológico. WCS Colombia, CENICAFÉ, Federación nacional de Cafeteros de Colombia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1013.9049>



Cultid-Medina, C. & Medina, C. A. 2015. Los escarabajos coprófagos y su monitoreo en la restauración de ecosistemas. In W. Aguilar-Garavito, M. & Ramírez Ed. , Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Instituto Humboldt .

Díaz, R. A. 1997. Ecología y comportamiento de escarabajos rodadores del estiércol Scarabaeidae: Scarabaeninae de selvas y pastizales en los Tuxtlas, Veracruz, México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Díaz, S., Lavoral, S., Chapin., F., Tecco, P., Gurchich, D. & Grigulis, K. 2007. Functional diversity at the crossroads between ecosystem functioning and environmental filters. In D. Canadell, J., Pitelka, L., Pataki Ed. , Terrestrial ecosystems in a changing world pp. 81–91 . Berlín: Springer.

Domínguez, E., & Fernández, H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos Fundación . Tucumán.

Donohue, C., & Biggs, E. 2015 . Monitoring socio-environmental change for sustainable development: Developing a Multidimensional Livelihoods Index MLI . Applied Geography, 62, 391-403. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.006>

Edmonds, W.D. & Zidek, J. 2012 . Taxonomy of Phanaeus revisited: Revised keys to and comments on species of the New World dung beetle genus Phanaeus MacLeay, 1819 Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: Phanaeini . Insecta Mundi Vol. 0274 . Gainesville, Florida.

Elosegi, A., & Sabater, S. 2009 . Conceptos y técnicas en ecología fluvial Rubes Edit . Bilbao.

Escobar, F. 2000 . Diversidad De Coleópteros Coprófagos Scarabaeidae: Scarabaeinae En Un Mosaico De Habitats En La Reserva Natural Nukak, Guaviare, Colombia. Acta Zoológica Mexicana. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/575/57507908.pdf>

Esquivel, H. 2015. Arvenses de la familia Asteraceae o Compositae en la región central de los Andes de Colombia. Primera edición. Universidad del Tolima. Imprenta Tolima. 196 pag.

Fajardo, A., Veneklaas, E., Obregon, S & Beaulieu, N. 2000. Los bosques de galería guía para su apreciación y conservación. CIAT. Centro internacional de agricultura tropical. 75pag.

Flechtmann, C. A. H., Rodrigues, S. R.; Araújo, S. D. de; Wenzel, R. L. 1995 . Levantamento de insetos fmicolas em Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Entomologia, 39, 115–120.



Gámez, J. 2004 . Phanaeini Coleoptera: Scarabaeinae de la cordillera de Los Andes, depresión de Maracaibo y llanos de Venezuela. Memorias de La Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 158, 43–60.

García, J., Macbride, B., Molina, A & Herrera, O. 1975. Malezas prevalentes en América central. International plant protection center. Oregon State University. 161 pag.

Gardner, T. A., Hernández, M. I. M., Barlow, J., & Peres, C. A. 2008 . Understanding the biodiversity consequences of habitat change: The value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. Journal of Applied Ecology, 45 3 , 883–893. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01454.x>

Génier, F. 1998 . A revision of the Neotropical genus *Ontherus* Erichson Coleoptera: Scarabaeidae, Scarabaeinae , Supplement 1. The Coleopterists Bulletin, 52 3 , 270–274.

Génier, François, & Kohlmann, B. 2003 . Revision of the Neotropical dung beetle genera *Scatimus* Erichson and *Scatrichus* gen. nov. Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae . Faberies, 28 2 , 57–111.

Gentry, A.H. 1982 Patterns of Neotropical Plant Species Diversity. In: Hecht, M., Wallace, B. & Prance, G. eds Evolutionary Biology. Springer, Boston, MA

Gentry, A.H. 1993. A field guide to the families and genera of Woody plants of northwest south america Colombia, Ecuador, Perú . Whit supplementary notes on herbaceous Taxa. University of Chicago press. Printed in United States of America. 895 pag.

Gibson, L., Lee, T. M., Koh, L. P., Brook, B. W., Gardner, T. A., Barlow, J., Peres, C. A., Bradshaw, C. J. A., Laurance, W. F., Lovejoy, T. E., & Sodhi, N. S. 2011 . Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. Nature, 478: 378-381.

Giraldo Echeverri, C., Montoya Molina, S., & Escobar, F. 2018 . Escarabajos del estiércol en paisajes ganaderos de Colombia, 140.

Giraldo-Cañas, D. Las especies colombianas del género *Digitaria* Poaceae: panicoideae: paniceae . Caldasia. Vol. 27, N° 1. pag. 25-87.

Gobierno de Aragón. 2016 . Mapas De Paisaje Información Sobre Mapas De Paisaje.

González-Alvarado, A., & Vaz-De-Mello, F. Z. 2014 . Taxonomic review of the subgenus *Hybomidium* Shipp 1897 Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: *Deltochilum* . Annales de La Societe Entomologique de France, 50 March 2015 , 431–476. <https://doi.org/10.1080/00379271.2014.989178>



González-Tokman, D., Cultid-Medina, C., Díaz, A., Escobar, F., Ocampo-Palacio, L., & Martínez-Garza, C. 2018 . Success or failure: The role of ecological restoration on the recovery of dung beetle diversity and function in a tropical rainforest. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89 1 , 232–242. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2132>

Gottschalk, T. K., Dittrich, R., Diekoetter, T., Sheridan, P., Wolters, V., & Ekschmitt, K. 2010 . Modelling land-use sustainability using farmland birds as indicators. *Ecological Indicators*, 10 1 , 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.05.008>

Granados-Martínez, C., & Montoya, D. 2017 . Macroinvertebrados acuáticos. In F. Trujillo & C. A. Lasso Eds. , IV. Biodiversidad del río Bitá, Vichada, Colombia. Instituto, pp. 120–142 . Bogotá.

Halffter G. y Favila, M. 1993 . Halffter G. y Favila, M. 1993 . The Scarabaeinae Insecta: Coleoptera an animal group for analyzing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscape. *Biology International*, 27, 15–21.

Halffter, G. y Halffter, V. 1989 . Behavioral evolution of the non-rolling roller beetles Coleoptera: Scarabaeidae . *Acta Zoológica Mexicana*, 32, 1–53.

Halffter, Gonzalo & Edmonds, W. D. 1982 . The Nesting Behavior of Dung Beetles Scarabaeinae . An ecological and evolutive approach. México D. F.: Instituto de Ecología.

Halfter, G. & L. A. 2001 . Variación de la diversidad en especies de Scarabaeinae Coleoptera: Scarabaeidae como repuesta a la antropización de un paisaje tropical. In H. E. F.-L. y A. B.-S. Navarrete-Heredia, J. L. Ed. , *Tópicos sobre Coleoptera de México* pp. 35–53 . Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara-Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T. a. T., & Ryan, P. D. 2001 . PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 1 1 , 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.05.025>

Hanski, I. & Camberfort, Y. 1991 . Competition in dung beetles. In Y. Hanski, I. & Camberfort Ed. , *Dung beetles ecology* pp. 305–329 . Princetone, New Jersey, USA: Princeton University Press.

Hill, M. O. 1973 . Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54 2 , 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>



Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. 2016 . iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity Hill numbers . *Methods in Ecology and Evolution*, 7 12 , 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>

Instituto Humboldt. 2018 . Valoración de la sostenibilidad a partir de los escenarios establecidos con los tomadores de decisiones a escala regional y con base en la información recolectada en campo y en los análisis previos Informe Técnico p. 26 . Bogotá Colombia: Instituto Humboldt-CORMACARENA.

IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi . 1991 . Meta: Características geográficas. Bogotá, DC, Colombia. 142 p.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change . 2007 . Cambio climático Informe de síntesis. En línea . Consultado el 15 de diciembre de 2018. URL: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)

Jiménez-Valverde, A., & Hortal, J. 2003 . Las Curvas De Acumulación De Especies Y La Necesidad De Evaluar La Calidad De Los Inventarios Biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8, 151–161. <https://doi.org/1576-9518>

Jost, L. 2006 . Entropy and diversity. *Oikos*. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>

Kinzig, A., Ryan, P., Etienne, M., Allison, H., Elmqvist, T., & Walker, B. 2006 . Resilience and Regime Shifts: Assessing Cascading Effects. *Ecology and Society*, 11 1 . <https://doi.org/10.5751/ES-01678-110120>

Klein, B. 1989 . Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in central amazonia. *Ecology*, 70, 1715–1725.

Lasso, C. A., Señaris, J. C., Alonso, L. E., & Flores, L. 2006 . Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos en la Confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari, Estado Amazonas Venezuela .

Lévy, P. 2004 . Inteligencia colectiva. Por una antropología del ciberespacio. *Qualitative Research in Education*, 4 3 , 323.

Lopera, Alenjadro; Delgado, F.; Urbano, S.M.; Castillo, J.; Castro, F. 2014 . Línea base de Biodiversidad en Sabanas y Bosques de predios productivos en la Orinoquia Colombiana. Caracterización de la Biodiversidad PLantas, Escarabajos, Aves. Pasto, Colombia: Asociación Gaica.

López-Hernández, D., Hernández-Hernández, RM., & Brossard, M. 2005 . Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur: Estudios de casos en sabanas del Orinoco. *Interciencia* 30 10 :623–630.



Louzada, J.N.C, Lopes, F.S, Vaz-de Mello, F. Z. 2007 . Structure and composition of a dung beetle community Coleoptera, Scarabaeinae in a small Forest patch from the Brazilian Pantanal. Revista Brasileira de Zoociências, 9 2 , 199–203.

Magurran, A. E. 2004 . Measuring Biological Diversity. Measuring Biological Diversity. Victoria, Australia: Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.2989/16085910409503825>

Malagón, D. 2003 . Ensayo sobre tipología de suelos colombianos – Énfasis en génesis y aspectos ambientales. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 27 104 :319–341.

Martínez-Relevo, D. E., & Medina, C. A. 2017 . Escarabajos coprófagos. In F. Trujillo & C. A. Lasso Eds. , IV. Biodiversidad del río Bitá, Vichada, Colombia pp. 143–167 . Bogotá, Colombia: Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Instituto Humboldt .

Matteucci, S & Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Monografía número 22. Washington D.C.

Medina, C. A., & González, A. 2014 . Escarabajos coprófagos de la subfamilia Scarabaeinae. In C. Pizano & H. García Eds. , El Bosque Seco Tropical en Colombia pp. 194–213 . Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Instituto Humboldt .

Medina, C. A., & Lopera-Toro, A. 2000 . Clave ilustrada para la identificación de géneros de escarabajos coprófagos Coleoptera: Scarabaeinae de Colombia. Caldasia, 22 2 , 299–315. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000600002>

Medina, C. A., Lopera, A., Vítole, A., & Gill, B. 2001 . Escarabajos Coprófagos Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae de Colombia. Biota Colombiana, 2, 131–144.

Medina, U., Alejandra, C., Pulido, H., Astrid, L., Alejandra, C., Medina, U., & Astrid, L. 2009 . Escarabajos coprófagos Coleoptera : Scarabaeinae de la Orinoquia colombiana.

Merrit, R., Cummins, K., & Berg, M. 2008a . An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt Publishing Company.

Merrit, R., Cummins, K., & Berg, M. 2008b . Aquatic insects of North America Kendall/ H . United States of America.



Mora-Fernández, C & Peñuela-Recio, L. Eds . 2013. Guía de campo flora y fauna de las sabanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto, Casanare-Colombia. Serie biodiversidad para la sociedad No 3. Yoluka ONG, fundación de investigación en biodiversidad y conservación, Fundación horizonte verde y Ecopetrol s.a. 350 pag.

Moreno Rodríguez, F., Caro Caro, C. I., Pinilla, G. A., & Osorio, D. P. 2017 . Estado Actual Del Conocimiento Sobre Microalgas Del Perifiton Y Macroinvertebrados Bentónicos En El Departamento Del Meta, Colombia. Acta Biológica Colombiana, 22 3 , 274–306. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.60619>

Moreno, A., Burgos, D., Nieves, E & Buitrago, E. 2005. Modelo alométrico general para la estimación de secuestro de carbono por plantaciones de caucho *Hevea brasiliensis* Müll. Arg en Colombia. Revista Colombia Forestal. Vol 9 No 18 pag 5-21.

Moreno, C. E. 2001 . Métodos para medir la biodiversidad Vol. 1 . Zaragoza, España: M&T - Manuales y Tesis SEA. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>

Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. 2011 . Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. Revista Mexicana de Biodiversidad, 82 4 , 1249–1261. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Morón, M. A. y Aragón, A. 2003 . Importancia ecológica de las especies americanas de Coleoptera Scarabaeoidea. Dugesiana, 10 2 , 13–29.

Nassauer, J. I., & Opdam, P. 2008 . Design in science: extending the landscape ecology paradigm. Landscape Ecology, 23 6 , 633-644. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9226-7>

New, R. T. 1998 . Invertebrate Surveys for Conservation. New York: Oxford University Press.

Nichols, E., Larsen, T., Spector, S., Davis, A. L., Escobar, F., Favila, M., & Vulinec, K. 2007 . Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. Biological Conservation, 137 1 , 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.023>

Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amézquita, S., Favila, M. E. 2008 . Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. Biological Conservation, 141, 1461–1474.

Noriega, J. A. 2002 . Aportes a la biología del escarabajo sudamericano *Sulcophanaeus leander* Coleoptera: Scarabaeidae . Acta Zoológica Mexicana2, 87, 67–82.



Noriega, J. A. 2004 . Preliminary Checklist of the Scarab community Coleoptera: Scarabaeidar at CIEM, Tinigua Natinal Park, Meta-Colombia. Field Studies of Fauna and Flora La Macarena, Colombia, 14 14 , 21–28.

Noriega, J. A., Camero, E. R., Arias-Buriticá, J., Pardo-Locarno, L. C., Montes, J. M., Acevedo, A. A., ... Solís, C. 2015 . Grado de cobertura del muestreo de escarabajos coprófagos Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae en Colombia. Revista de Biología Tropical, 63 1 , 97–125. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i1.13323>

Noriega, J. A., Realpe, E., & Fagua, G. 2007 . Diversidad de Escarabajos coprófagos Coleoptera: Scarabaeidae en un bosque de galería con tres estadios de alteración. Universitas Scientiarum, 12 1 , 51–63. <https://doi.org/10.11144/univ. sci..v12i0.4873>

Pennak, R. 1989 . Fresh-Water invertebrates of the United States Interscien .

Peñalosa-Giménez, G., Peterson. P. & Giraldo-Cañas, D. 2002. Los géneros Eragrostis y Leptochloa Poaceae:cynodontae en Colombia. Hickenia. Vol 3. N° 35. Pag.133-141.

Phillips, J., Duque, J., Yepes, A., Cabrera, K., García, M., Navarrete, D., Álvarez, E & Cárdenas, D. 2011. Estimación de las reservas actuales 2010 de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 68 pp.

Quinlan, A. E., Berbés-Blázquez, M., Haider, L. J., & Peterson, G. D. 2016 . Measuring and assessing resilience: broadening understanding through multiple disciplinary perspectives. Journal of Applied Ecology, 53 3 , 677-687. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12550>

Quinn, J. E., Brandle, J. R., & Johnson, R. J. 2013 . A farm-scale biodiversity and ecosystem services assessment tool: the healthy farm index. International Journal of Agricultural Sustainability, 11 2 , 176-192. <https://doi.org/10.1080/14735903.2012.726854>

Ramírez, A., & Viña, G. 1998 . LIMNOLOGÍA COLOMBIANA Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis Fundación .

Rangel, O. & Velázquez, A. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. pp 59-87. En: Rangel, O., Lowy, P. & Aguilar, P. 1997. Colombia, diversidad Biótica II. Tipos de vegetación en Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Editorial Unilibros, Bogotá, D.C. Colombia. 359 pp.



Renvoize, A. Gramíneas de Bolivia. Primera edición. Royal Botanical Gardens KEW. Continental Priting, Belgica. 644 pag.

Resilience Alliance. 2007 . ASSESSING RESILIENCE IN SOCIAL-ECOLOGICAL SYSTEMS A WORKBOOK FOR SCIENTISTS Version 1.1 DRAFT FOR TESTING AND EVALUATION. Resilience Alliance. Recuperado de [http://files.uniteddiversity.com/Transition\\_Relocalisation\\_Resilience/resilience\\_workbook\\_for\\_scientists.pdf](http://files.uniteddiversity.com/Transition_Relocalisation_Resilience/resilience_workbook_for_scientists.pdf)

Resilience Alliance. 2010 . Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners Revised Version 2.0. Recuperado de <http://www.resalliance.org/3871.php>

Reza, M. I. H., & Abdullah, S. A. 2011 . Regional Index of Ecological Integrity: A need for sustainable management of natural resources. *Ecological Indicators*, 11 2 , 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.08.010>

Ringuelet, R. 1962 . *Ecología Acuática Continental* Editorial . Argentina.

Róldan, G. 2003 . Bioindicación de la calidad del agua en Colombia Uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia.

Roldán, G., Zuñiga, M. del C., Zamora, H., Álvarez, L., Reinoso, G., & Longo, M. 2014 . Colombia. In P. Alonso-egu, M. Mora, B. Campbell, & M. Springer Eds. , *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico* pp. 63–93 . Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Romero, M., Flantua, S., & Rodríguez-Eraza, N. 2011 . Definición De Un Marco Conceptual Y Metodológico Para La Construcción De La Estructura Ecológica Principal En La Cuenca De La Orinoquia Colombiana Marco metodológico para la construcción de la Estructura Ecológica Principal de la Cuenca de la Orinoquia Colombiana No. Contrato No11-11-020-200PS p. 120 . Bogotá: Instituto Humboldt -4D Consultores.

Rondón, R., Alberto, C., María, A., Pablo, J., Pérez, D., Morales, Y., & Ovalle, H. 2010 . ORINOQUÍA , COLOMBIA . Limnological Characterization of Wetlands of the Floodplain of the Orinoco River Orinoco , Colombia . *Acta Biológica Colombiana*, 15, 145–166.

Sandoval, M., Porras, P., & Schneider, C. 2015 . Avances en el desarrollo de salvaguardas para REDD+ en la región San Martín p. 68 . Lima, Perú: Conservación Internacional.



Sarmiento-Garcés, R. & Amat-García, G. 2014 . Escarabajos del género *Dichotomius* Hope 1838 Scarabaeidae: Scarabaeinae en Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Scholtz, C. H., Davis, A. L. V., & Kryger, U. 2009 . Evolutionary biology and conservation of dung beetles. Moscow, Rusia: Pensoft Sofia.

Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. 2012 . An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15 1 , 281-299. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>

Slade, E. M, Mann, D.J, Villanueva, J.F-, Lewis, O. T. 2007 . Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. *Journal of Animal Ecology*, 76 6 , 1094–1104.

Sowig, P. 1995 . Habitat selection and offspring survival rate in three paracoprid dung beetles: the influence soil type and soil moisture. *Ecography*, 7 3 , 480–488.

Spector, S. 2006 . Scarabaeinae dung beetles Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. *The Coleopterists Bulletin*, 5, 71–83.

Springer, M., Ramírez, A., & Hanson, P. 2010 . Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, 58.

Torres-Torres, J., Mena, V & Álvares, E. 2017. Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Rev. Entramado* Vol. 13 No. 1 pag 200-209.

Tropicos. [www.tropicos.org/](http://www.tropicos.org/). Consultado diciembre 2018.

Uetz, G. W., K. L. Van der Laan, G. F. S., & P. Gibson, y L. G. 1979 . The effects of flooding on floodplain arthropod distribution, abundance and community structure. *American Midland Naturalist*, 101 2 , 286–299.

Utteridge, T & Bramley, G. 2015. Tropical plant families identification handbook. Second edition. Royal Botanical Gardens KEW. Printed in Spain by GraphyCems. 232 pag.

van Oosten, C., Wigboldus, S., Mulkerrins, J., & Brouwers, J. 2017 . Landscape governance capacity Towards a framework for assessment and strategic guidance of landscape initiatives. The Global Partnership on Forest and Landscape Restoration. Wageningen Centre for Development Innovation. Recuperado de [http://www.forestlandscaperestoration.org/sites/forestlandscaperestoration.org/files/resources/landscape\\_governance\\_capacity\\_framework\\_v2017\\_02.pdf](http://www.forestlandscaperestoration.org/sites/forestlandscaperestoration.org/files/resources/landscape_governance_capacity_framework_v2017_02.pdf)



Vaz de mello, F. Z., Edmonds, W. D., Ocampo, F. C., & Schoolmeesters, P. 2011 . A multilingual key to the genera and subgenera of the subfamily Scarabaeinae of the New World Coleoptera: Scarabaeidae . Zootaxa, 2854, 1–73.

Vaz-de-Mello, F., Larsen, T., Silva, F., Gill, B., Spector, S. & Favila, M. 2014a . *Coprophanæus corythus*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T138556A543716.en>.

Vaz-de-Mello, F., Larsen, T., Silva, F., Gill, B., Spector, S. & Favila, M. 2014b . *Phanaeus bispinus*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T137303A522956.en>.

Vieira, L., & Silva, F. A. B. 2012 . Dung beetles Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae of the Floresta Nacional Contendas do Sincorá, Bahia, Brazil. Check List, 8 4 , 733–739.

Vieira, L., Louzada, J. N. C., Spector, S. 2008 . Effects of degradation and replacement of Southern Brazilian coastal sandy vegetation on the dung beetles Coleoptera: Scarabaeidae . Biotropica, 40, 719–727.

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M & Umaña, A. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de investigaciones biológicas Alexander Von Humboldt. Bogota-Colombia. 236 pag

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... Umaña, A. M. 2006 . Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Segunda Ed . Bogotá, Colombia. Retrieved from <http://cdam.minam.gob.pe:8080/handle/123456789/764>

Waterhouse, D. F. 1974 . The biological control of dung. Scientific American, 230, 100–109.

Wetzel, R. 2001 . Limnology, Lakes and River Third Edit . San Diego: Academic Press.

Yepes, A., Navarrete, A., Duque, J., Phillips, J., Cabrera, K., Álvarez, E., García, M. & Ordoñez, M. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 162 p.

Zanne, A., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M., and Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235> consultada en diciembre de 2018.

