



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL ECOSISTEMA BOSQUE SECO TROPICAL  
EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE BOLÍVAR (BOLÍVAR) Y  
DETERMINACIÓN DE SUS BENEFICIOS ECOSISTÉMICOS**

**LILIANA ZULUAGA ZULUAGA I.A.**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES  
2016**

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL ECOSISTEMA EN BOSQUE SECO TROPICAL EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE BOLÍVAR (BOLÍVAR) Y DETERMINACIÓN DE SUS BENEFICIOS ECOSISTÉMICOS**

**LILIANA ZULUAGA ZULUAGA I.A.**

**Trabajo de tesis para optar al título de Magister Scientiae en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director**

**EDISSON STIVEN CASTRO ESCOBAR Msc E.**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES, COLOMBIA  
2016**

Nota de aceptación

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
Jurado

\_\_\_\_\_  
Jurado

Manizales, 23 de febrero del 2016

Agradecimiento en especial a mis padres Luis Carlos y María Luisa, quienes con una vida llena de sacrificios sentaron en mí y en mis hermanos Camilo y Fernando las bases sólidas de la responsabilidad y un inmenso deseo de superación, son mi espejo en donde quiero reflejar sus infinitas virtudes que no me canso de admirar día a día y de amarlos más y más.

A mi hija María José, mi pilar, mi baluarte, mi compañía y apoyo en momentos de dificultad, ha despertado en mí los sentimientos más sublimes.

A mis compañeros de maestría Ervin, Danny y Manuel, desde el inicio caminamos juntos, gracias por enriquecerme durante los dos años de estudio, por confrontaciones sanas que nos permitieron crecer como profesionales.

A mi director de tesis, Edison Castro, por su dedicación, profesionalismo, por su ayuda idónea para culminar con éxito este estudio.

## RESUMEN

La investigación pretende conocer la estructura del ecosistema bosque seco tropical en el Carmen de Bolívar y evaluar el carbono almacenado en el compartimento fustal del bosque y posteriormente aproximar el valor monetario de la provisión de servicios ambientales enfocada a la captura de CO<sub>2</sub>. Frente a esta situación es importante recalcar la función que realizan los bosques en el ciclo global del carbono porque en ellos confluyen una variedad de procesos ecológicos que regulan el intercambio de carbono con la atmósfera y entre los diferentes reservorios de CO<sub>2</sub> que existen en cada planta. El análisis estructural permite estimar información del ecosistema en datos económicos como una herramienta decisoria para incentivar la restauración, conservación y uso sostenible de los recursos naturales asociado al Bs-T en El Carmen de Bolívar. Para avanzar con los procesos de valoración ambiental se dispuso de información de bases de datos construidas a partir de la medición en campo de una muestra de individuos en siete segmentos de bosque siguiendo la estructura por transeptos en los cuales se determinaron especies, densidad, altura comercial y diámetro a la altura del pecho. De esta manera se calcularon las existencias de biomasa aérea por medio de tres modelos de estimación alométrica. El ejercicio permitió además hacer una aproximación en conocimiento de la importancia de los Bs-T y sus servicios ambientales pocos conocidos que permite mantener los ecosistemas en equilibrio.

**Palabras claves:** Bosque seco tropical, servicios ecosistémicos, evaluación estructural, captura de CO<sub>2</sub>, valoración ambiental.

## **ABSTRACT**

The research pretend to know the structure of the tropical dry forest ecosystem in the Carmen de Bolivar Municipality to evaluate the carbon stored in the forest fustal compartment and to bring the monetary value of the provision of environmental services focused on catching CO<sub>2</sub>. Therefore, it is important to emphasize the role performed by the forests in the global carbon cycle because of them come a variety of ecological process that regulate the carbon exchange with the atmosphere. As well as between the different stocks of CO<sub>2</sub> in each plant. Structural analysis allows estimating information ecosystem on economic date as a sustainable decision making to encourage the restoration, conservation of natural resources associated with Bs-T in El Carmen de Bolívar to advance the from field measurement of sample of individuals in seven segment forests by following the structure in which species transepts, decided, commercial volume height and diameter breast height were determined. Those biomass stocks were stimated using three estimation models allometric, the under writing year also allowed to make an approach to knowledge of the importance of Bs–T and to know the little environmental ecosystem services to keep it in balance.

Keywords: Tropical dry forest, ecosystem services, structural evaluation, CO<sub>2</sub> capture, environmental valuation.

## CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN.....	V
ABSTRACT .....	VI
CONTENIDO .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. MARCO TEÓRICO .....	17
2.1 SERVICIOS AMBIENTALES EN EL MARCO DESARROLLO SOSTENIBLE.....	17
3. ESTADO DEL ARTE .....	25
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	33
4.1 UNIDAD DE ANÁLISIS .....	33
4.2 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	36
4.3 TÉCNICAS E INDICADORES.....	37
4.4 ESTRUCTURA HORIZONTAL E ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA.....	38
4.5 ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS POTENCIALES DE CARBONO .....	38
5. CARACTERÍSTICAS DEL ECOSISTEMA BS-T EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	40
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO.....	41
5.2 CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	42
5.2.1 Hidrología .....	42
5.2.2. Geología.....	43
5.2.3 Geomorfología y Relieve.....	44
5.2.4 Clima .....	45
5.2.5 Vegetación.....	46
5.2.6 Fauna .....	47
5.2.7 Suelos.....	49
6. RESULTADOS .....	50
6.1 ANALISIS ESTRUCTURAL DE LAS ZONAS DE BOSQUE.....	50
6.2 CAPTURA DE CO <sub>2</sub> / CARBONO EQUIVALENTE (EQ).....	55
6.3 VALORACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES.....	62
7. CONCLUSIONES .....	67
8. RECOMENDACIONES.....	69
9. BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	76

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	28
TABLA 2. ESTADÍSTICOS Y ECUACIONES PARA UNIDADES MUESTRAS.....	38
TABLA 3. ECUACIONES ALométrICAS RECOMENDADAS PARA EL CÁLCULO DE BIOMASA EN BOSQUES NATURALES DE TODOS LOS ÁRBOLES CON $D \geq 10$ CM. (ÁLVAREZ ET AL. 2011) .....	39
TABLA 4. MODELOS PREDICTIVOS DE BIOMASA (KILOGRAMOS (KG) POR ÁRBOL) PARA BOSQUES HÚMEDOS. ....	40
TABLA 5. UBICACIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	41
TABLA 6. DEFINICIÓN DE LAS CLASES DE FRECUENCIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS HISTOGRAMAS .....	52
TABLA 7. LISTADO DE ESPECIES DE MAYOR PERO ECOLÓGICO / DATOS PROMEDIOS HALLADOS.....	53
TABLA 8. ÍNDICES CONVENCIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA HORIZONTAL DEL BOSQUE.....	54
TABLA 9. DENSIDAD /ÁRBOLES/HA /CAPTACIÓN DE CO <sub>2</sub> /TONELADAS / HA.....	56
TABLA 10. CAPTACIÓN DE CO <sub>2</sub> / TONELADAS POR EL TOTAL DEL BOSQUE .....	57
TABLA 11. CAPTACIÓN DE CO <sub>2</sub> / PROMEDIO / TONELADAS / FAMILIA .....	58
TABLA 12. DATOS PROMEDIO POR ESPECIES DE MAYOR PESO ECOLÓGICO .....	59
TABLA 13. CO <sub>2</sub> EQ- DÓLARES (U\$) / TONELADA / HA .....	64
TABLA 14. CO <sub>2</sub> EQ ALMACENADO – DÓLARES (U\$) / TONELADA / TOTAL .....	64
TABLA 15. CAPTACIÓN DE CO <sub>2</sub> - PESOS (\$) POR TONELADA / HECTÁREA .....	65
TABLA 16. CAPTACIÓN DE CO <sub>2</sub> - PESOS POR TONELADA (\$) / TOTAL HECTÁREAS DE BOSQUE .....	65



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. COMPONENTES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE Y .....	18
FIGURA 2. EMISIONES EN CO <sub>2</sub> EQ POR MÓDULO Y AÑO DE ALGUNOS PAÍSES .....	26
FIGURA 3. UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE BS-T EN COLOMBIA.....	27
FIGURA 4. ECOSISTEMAS IDENTIFICADOS EN EL MUNICIPIO DE EL .....	33
FIGURA 5. DISEÑO DE LAS PARCELAS DE MUESTREO DE INDIVIDUOS FUSTAL, LATIZAL Y BRINZAL .....	37
FIGURA 6. MAPA DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	41
FIGURA 7. MAPA HIDROLÓGICO DE EL CARMEN DE BOLÍVAR .....	43
FIGURA 8. ÁREA DE ESTUDIO BS-T EN EL CARMEN DE BOLÍVAR.....	47
FIGURA 9. I.V.I. PARA CADA UNO DE LOS BOSQUES EVALUADOS.....	50
FIGURA 10. MAPAS DE ESTIMACIÓN DE PUNTOS DE CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> POR TRANSEPTO.....	61
FIGURA 11. ESTIMACIÓN DE ÁREAS CON MAYOR PROBABILIDAD DE CAPTURA.....	62
FIGURA 12. HISTÓRICO DE PRECIOS POR TONELADA DE CO <sub>2</sub> 2008-2015.....	63

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Término
$^{\circ}$	Grados
$\bar{x}$	Media
$x_i$	Es la <i>i</i> ésima observación o medición
$n$	Número total de observaciones o mediciones
$s^2$	Varianza
$s$	Desviación estándar
CV	Coefficiente de variación
s%	Desviación estándar del porcentaje de la muestra
$s_x$	Error estándar
$\Sigma$	Sumatoria

Abreviatura	Término
Bs-T	Bosque Seco Tropical
IAVH	Instituto Alexander Von Humboldt
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
PPP	Paridad del Poder Adquisitivo
UNE-WCMC	Centro de Monitoreo de la Conservación del Ambiente
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
PEP	Porcentaje de Error Promedio
D	Diámetro
BA	Área Basal
SIGAC	Sistema Integrado de Gestión de Asuntos del Consultorio Jurídico
SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INVERMAR	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
IIAP	Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico
RAP	Proceso de Evaluación Rápido
SIG	Sistema de Información Geográfica
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IVI	Índice de Valor de Importancia

DAP	Diámetro a la Altura de Pecho
cm	Centímetros
G;cm <sup>3</sup>	Gramos /centímetro cubico
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
CTFS	Smithsonian Tropical Research Institute
BA	Biomasa Aérea
P	Densidad de la Madera en g/cm <sup>3</sup>
Kg	Kilogramos
Ha	Hectáreas
CARDIQUE	Corporación Autónoma Regional del Canal de Dique
m.s.n.m	Metros sobre el Nivel del Mar
km <sup>2</sup>	kilómetros Cuadrados
mm	Milímetros
ZT-A	Zonobioma Tropical Alternohigrico
EOT	Esquema de Ordenamiento Territorial
G	Área Basal
EUA	Créditos de Carbono/ Tonelada
CER	Unidades de Reducción / Tonelada
SPREAD	Reducciones Voluntarias / Tonelada
Ton	Toneladas

## 1. INTRODUCCIÓN

### ***Problema de Investigación***

Siendo considerada una de las zonas de mayor importancia ecológica no solo por las condiciones en las que se desarrolla, su complejo comportamiento y las dinámicas ambientales que en él se presentan, sino además por ser considerado uno de los ecosistemas más amenazados dentro del territorio nacional, el Bosque seco Tropical (en adelante Bs-T), es una zona de vida considerada como estratégica para su conservación teniendo en cuenta sus características propias y los beneficios socio-ambientales que presta.

De acuerdo con Pizano y García (2014), el estado de fragmentación de este tipo de ecosistema es crítico en Colombia puesto que solo queda el 8% del área original y tan solo el 5% se encuentra protegido en reservas, por lo cual se considera necesario la conservación de relictos y restauración de zonas degradadas, en las cuales las actividades agrícolas y ganaderas se hacen cada vez más insostenibles debido al proceso de desertificación que se da a lugar por efecto de la deforestación. Uno de los factores de mayor importancia que conllevan a la necesidad de la conservación de las áreas de Bs-T es el desarrollo excepcional de la diversidad biológica que allí se presenta. La composición florística de estas zonas presentan comportamientos de adaptación a condiciones que podrían considerarse extremas en las que se da un desarrollo importante de la vegetación en condiciones de muy poca disponibilidad de agua, lo que produce la presencia de gran cantidad de especies endémicas.

Actualmente quedan muy pocos remanentes de Bs-T en Colombia, debido a la poca importancia que se les ha otorgado y a la falta de conocimiento de sus características, la estructura y composición vegetal que se evidencia no es similar a las condiciones originales, por tanto sus características carecen de condición relictual. De acuerdo con Hernández, Rueda, Sánchez (1995), en la región Caribe la mayor parte de las zonas donde anteriormente existía Bs-T han sido transformadas y actualmente corresponde a etapas sucesionales secundarias que muestran características de vegetación subxerofítica y que se constituyen como la única oportunidad de conservar una muestra representativa de este ecosistema, desde el punto de vista genético, “...los relictos de bosque seco se constituyen en verdaderos bancos genéticos *in situ*, que son desconocidos hasta ahora” (Instituto Alexander Von Humboldt, IAVH 1995, p. 56), esta presión sobre los bosques, ha conllevado a que en este se presenten especies forestales comúnmente densas con un crecimiento medio anual bajo y adicionalmente la erosión genética o selección disgénica<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> “Se trata de una selección que va en detrimento de la calidad genética de una población puesto que afecta rasgos fenotípicos tan importantes como la derecha del tronco o el índice de crecimiento” (Vicenzi, Amaral y Meilleur, 2004 p.14).

Es decir, la devastación del bosque ha conducido a pérdidas de la diversidad genética y al incrementado los casos de endogamia entre los árboles restantes, esta situación acarrea que los procesos de regeneración natural a futuro no van a permitir mantener el bosque tropical típico. Una gran población de estas especies es vista por las comunidades aledañas a los bosques como de gran valor comercial o de uso doméstico ya sea para extracción de leña o para reconversión productiva de cultivos de pan coger que implican prácticas de tala, lo que ha venido incentivando la deforestación de estas áreas, causando empobrecimiento de la estructura y composición de la vegetación. Hay otros aspectos que tienen igual importancia como lo son su ubicación dentro de los mosaicos paisajísticos en la zona por la funcionalidad que tiene el bosque receptor de insectos que favorecen el equilibrio ecosistémico y permiten el control de plagas y vectores de enfermedades en las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en las áreas circunvecinas al Bs-T. Este comportamiento es fácilmente evidenciado dentro el área de estudio del presente documento.

Lo anterior conduce a entender que una serie de hechos como son: 1) el desconocimiento del ecosistema en todo su contexto general, 2) la falta total o parcial de control de los recursos, 3) la inexistencia de unidades definidas claramente para análisis de la diversidad biológica, 4) el hecho que no exista uno o más atributos tangibles y fácilmente medibles que reflejen la diversidad biológica de especies y de ecosistemas y adicionalmente 5) la falta de valoración ambiental, tienen implicaciones críticas que imposibilitan la adopción de decisiones a todo nivel; estos factores representan limitaciones para avanzar en la reducción de la deforestación, la degradación del recurso forestal y la mejora en la oferta de servicios ambientales. Es claro que emocionalmente las personas consideran importante cuidar los bosques, sin embargo esta aproximación no es suficiente porque no puede medirse objetivamente los servicios ecosistémicos y como elementos de soporte de la vida que en última instancia determinan si vale la pena o no darle un uso racional.

Todas las acciones que se emprendan conllevan la utilización de recursos económicos, por ello los servicios ambientales deberían tener un valor en términos económicos, eso se convertiría en una manera de impulsar a las sociedad y al sector político a que expresen cuanto estarían en condiciones de sacrificar en este sentido para conservar los recursos naturales. Como lo indica Tomasini (1995, p. 45) *“La valoración traduce el impacto ambiental en valores que pueden ser comparados e integrados con criterios económicos y financieros (costo-beneficio) para tomar decisiones acertadas, dejando menos espacio para juicios subjetivos. La valoración provee un veraz indicador de performance económica”*.

Con el fin de incentivar la conservación del área de Bs-T ubicada en el municipio de El Carmen de Bolívar (Bolívar), administrada por TEKIA S.A.S, filial de Grupo Argos, se planteó este estudio, con el fin de levantar la información sobre el estado actual de los relictos de bosque seco tropical y monetizar los servicios ambientales que puede

proveer enfocados a la captura de CO<sub>2</sub>, este ecosistema en su momento estuvo a punto de ser exterminado de la zona, debido a los fenómenos de violencia y del desplazamiento forzado que hizo que grandes extensiones de tierra fueran abandonadas por sus pobladores lo cual permitió la disminución de la presión antrópica y generó procesos ecológicos al interior del ecosistema que permitió que se recuperara rápidamente, sin embargo, con el retorno de los pobladores se está ejerciendo nuevamente presión sobre los mismos y están siendo diezmados, lo cual es de gran preocupación, en particular, sería muy importante que con el fin de mitigar esta situación, los modelos económicos actuales reconocieran e hicieran una aproximación a la realidad nacional, tanto con un análisis concreto de lo que representa el campesinado en las dinámicas económicas y ambientales, la seguridad alimentaria y el equilibrio de la población rural, sin desconocer las implicaciones que ha tenido el conflicto armado que han imposibilitado la consolidación de una democracia económica real y que han llevado a que se ejerzan presiones severas sobre los bosques naturales.

Además, es importante la puesta en marcha de investigaciones como está dado que a medida que se aumenta la presión antrópica sobre las áreas naturales, se va avanzando en el conocimiento científico, lo que permite a su vez el aumento del valor de los ecosistemas, ligadas a los servicios que éstos pueden proveer destacando la estabilización de suelos, el aporte de nutrientes a través del ciclaje de los mismos, la regulación hídrica y climática, la provisión de alimentos y madera, la protección de cuencas hidrográficas, la conservación de la biodiversidad y los bancos de información genética, igualmente es destacable la capacidad que poseen los ecosistemas naturales como sumideros para el secuestrando carbono de la atmósfera tanto los bosques maduros, como en bosques en estado sucesional, entre otros.

Si hay entendimiento de los beneficios ecosistémicos de los bosques, esto permitirá generar estrategias direccionadas al aprovechamiento de servicios dirigidos a las comunidades, generando de esta forma una disminución del impacto antrópico y permitiendo la conservación y recuperación en el tiempo de la diversidad biológica del área. Con la puesta en marcha de mecanismos articulados, participativos y educativos donde se involucre los entes públicos, privados y las comunidades buscando como resultado la defensa de la biodiversidad, la sostenibilidad del sistema productivo en todas sus esferas y que además aporte con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la práctica de acciones tendientes a evitar la deforestación, esto permitirá que cada persona involucrada se apropie del compromiso de la conservación y que las acciones sean concordantes con el principio de responsabilidad y capacidad común.

### ***Preguntas orientadoras***

A pesar de su importancia y de ser uno de los ecosistemas con más alto grado de amenaza en el mundo, el Bs-T es también uno de los menos estudiados ya que en el país se registran muy pocas publicaciones inéditas sobre este tema. De esta manera, este trabajo pretende reconocer la importancia que tiene la conservación de los relictos boscosos de bosque seco tropical en la zona de los Montes de María, a través del

análisis estructural y la valoración ambiental del ecosistema, integrando los servicios ambientales de manera coherente y sistemática relacionados con el secuestro de dióxido de carbono, con el fin concluir en términos ambientales y monetarios la importancia de la conservación de los relictos boscosos remanentes, los cuales se encuentran a punto de desaparecer completamente en sus condiciones típicas. En ese sentido, surgen algunas preguntas orientadoras del trabajo como: 1) *¿Cuál es la estructura de los relictos de Bs-T que contiene el área de bosque estudiada en el municipio de El Carmen de Bolívar?*, 2) *¿Cuál es la composición florística de este bosque?*, 3) *¿Cuál es el potencial de almacenamiento de dióxido de carbono para las siete zonas de bosque?* y finalmente reconocer 4) *¿En cuánto se estima la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado en el Bs-T de área de estudio ubicada en el municipio de El Carmen de Bolívar?*

### **Objetivos**

Con base a las preguntas orientadoras, se definió como objetivo principal **desarrollar una evaluación estructural del ecosistema bosque seco tropical en el municipio de El Carmen de Bolívar (Bolívar) y determinación de sus beneficios ecosistémicos**. Para ello se debe caracterizar los relictos de bosque seco tropical definidos como área de estudio y cuantificar el potencial de almacenamiento de dióxido de carbono con el fin de determinar el potencial de servicios ecosistémicos que puede proveer y realizar su respectiva evaluación económica. Para ello se plantearon las siguientes acciones: 1) identificar la composición florística de los relictos de Bosque Seco Tropical ubicados en el área de estudio, 2) generar una base de datos florística del Bs-T de la zona, que sirva como herramienta para la generación de estrategias de conservación y potenciación de los servicios ambientales ofrecidos; 3) cuantificar el potencial de almacenamiento de carbono que poseen las zonas de estudio de bs-T en función de su composición florística. Y por último con el fin de realizar la valoración económica se debe: 4) calcular en términos monetarios la cantidad de carbono almacenado en el bosque seco tropical de zona escogida como objeto de estudio en el municipio de El Carmen de Bolívar.

Con el fin de abordar la temática anterior, el documento se dividió en nueve capítulos, de los cuales la introducción es el primero. El segundo presenta la construcción teórica con una visión de lo que los servicios ambientales pueden aportar en el marco de desarrollo sostenible. En el capítulo tres se encuentra el estado del arte de los trabajos sobre cálculos de biomasa y posteriormente el cálculo de captura de CO<sub>2</sub> de estudios realizados en América Latina y en Colombia en los últimos años. En el cuarto capítulo, se encuentran contenidos los instrumentos metodológicos y las fuentes de información consultadas. Adicionalmente, se incluye las técnicas e indicadores de análisis empleados para captura de datos para determinar la estructura horizontal del bosque y hallar el Índice de Valor de Importancia - IVI y posteriormente se describe la metodología para estimación de reservas potenciales de carbono. El capítulo cinco tiene consignada la información sobre la caracterización del ecosistema Bs-T en la zona de estudio, adicionalmente se encuentra la información sobre la población del

área de influencia de la investigación y la caracterización biofísica de la zona. En el capítulo seis se registran los resultados de la investigación donde se evidencia la variabilidad dentro de los siete relicto boscosos analizados, teniendo en cuenta que unos presentan mayor presión antrópica que otros, adicionalmente se encuentran los resultados de los índices de abundancia, frecuencia y dominancia que permiten obtener el IVI, general y por cada relicto boscoso; además con el resultado de análisis de frecuencia que permitió determinar que los bosques son zonas de gran valor genético debido a su diversidad florística. La investigación culmina con el análisis de resultados enfocado a la captura de CO<sub>2</sub> convertido a carbono equivalente, haciendo análisis por familias, bosques, especies de mayor valor de IVI y la valoración de servicios ambientales, teniendo como base el sistema de negociación de CO<sub>2</sub> europeo. Finalmente en el capítulo ocho y nueve, se presentan las principales conclusiones de esta investigación y las recomendaciones para futuros trabajos.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 SERVICIOS AMBIENTALES EN EL MARCO DESARROLLO SOSTENIBLE

El deterioro de los recursos naturales, los bosques nativos, la biodiversidad, el agua, suelo, las comunidades, tiene connotaciones en diferentes escalas del desarrollo social y económico, esto determina que las políticas y metodologías de conservación ambiental no solo apuntan a la preservación de lo meramente ambiental y ecológico, sino además, del entorno en general. Zuñiga (2009 p.12) enmarca las teorías del desarrollo, dentro del paradigma del desarrollo sostenible, que pretende, tal como lo manifiesta la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development) “*solucionar las necesidades de la población del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para solucionar sus propias necesidades*”. Este comportamiento implica conocer los alcances y limitaciones que debe tener el desarrollo de la población con el fin de ser más equitativos.

Para entender la dinámica del desarrollo sostenible no basta con conocer y entender las necesidades sociales y económicas presentes en las comunidades, sino que se hace sumamente necesario entender el entorno en el que dicho desarrollo se realiza, es decir, el componente ambiental. Según Talero y Umaña (2000, p. 7) “*el análisis de la problemática ambiental más cercana al individuo, facilita realizar acciones locales tendientes a mejorar la calidad de vida de los individuos y dar un manejo de desarrollo sustentable al ambiente*”, de esta manera el desarrollo estaría en función de la preservación del componente ambiental, incidiendo en la solución de las necesidades actuales de las poblaciones y promoviendo la conservación de las condiciones ambientales del entorno.

Dentro de los sistemas de desarrollo, la dimensión ambiental es muy relevante ya que presta el servicio de soporte para el desarrollo de los demás sistemas. De hecho Castro (2015) en un estudio para América Latina, logra evidenciar que la dimensión ambiental tiene un peso del 18.7% a la hora de explicar los resultados del desarrollo sostenible en la región, siendo de mayor relevancia para los países más desarrollados.

Como lo indica Zúñiga (2009, p. 15), los sistemas de desarrollo guardan interacción entre varios subsistemas que lo componen como son el “*tecnológico, productivo, económico, político, social, administrativo e internacional, interactúan entre sí, pero a su vez lo hacen con los sistemas ecológico y cultural que les sirven de soporte; este tipo de relación, permite la aparición de la dimensión ambiental*”.

En la figura 1 se pretende enfatizar que el reconocimiento del sistema ambiental permite la formulación de las evaluaciones de impacto ambiental teniendo en cuenta que la implementación de cualquiera de los sistemas de desarrollo afecta las estrechas interacciones de estos con el componente ambiental. El esquema precisamente



de los recursos naturales, se constituyen como una herramienta clave para asegurar la viabilidad del desarrollo sostenible teniendo en cuenta la dimensión ambiental.

Los servicios que nos proveen los recursos naturales pueden por lo general pasar desapercibidos debido a la falta de la identificación y cuantificación económica de la importancia y beneficios que este ofrece. En el caso del Bs-T, la situación no es diferente, la mayoría de estos bosques son degradados constantemente por las comunidades aledañas generando perjuicios de gran magnitud al ecosistema y dinámica en general. La cacería, la minería y la tala indiscriminada de los bosques secos para usos domésticos y en ocasiones comerciales, ha venido ocasionando cambios en el comportamiento ambiental, en la disponibilidad hídrica y en la oferta ambiental en general. Una de las estrategias para evitar el deterioro desmesurado de los recursos naturales consiste en la asignación de un valor económico a estos con fin de facilitar la toma de decisiones acerca del manejo y usos que estas áreas deban recibir. El concepto de valor de servicios de los ecosistemas puede ser una herramienta útil para distinguir y medir donde son posibles las compensaciones entre la sociedad y el resto de la naturaleza y en que se puede mejorar el bienestar humano de una manera sostenible (Farber, Costanza y Wilson, 2002).

La ejecución del proyecto de caracterización de relictos de Bs-T permite determinar el potencial de servicios ecosistémicos, basándose en la relación hombre-naturaleza. La articulación de los componentes ambiental y productivo permite además a largo plazo mitigar el impacto generado por las actividades antrópicas en áreas de bosque natural, ofreciendo oportunidad de cambio para el comportamiento económico-cultural, la identificación de la significancia de los servicios ambientales y por ende la cultura de la conservación. Los ecosistemas naturales cumplen un papel fundamental en la regulación y el sostenimiento de los procesos propios de la dinámica ecosistémica que fundamenta la existencia de la vida a nivel global.

El sostenimiento del equilibrio de los procesos que se llevan cabo en la biósfera, entendida esta como el cimiento de existencia humana en un contexto espacial, está supeditado a una armonía muy frágil entre una variedad de procesos ecológicos. Los procesos de conversión de energía son fundamentales, especialmente la transformación de la radiación solar en biomasa que es entendida como productividad primaria; y la productividad secundaria que está asociada a la acumulación y cesión de minerales y energía en las cadenas tróficas que se llevan a cabo en los ecosistemas; la mineralización de la materia orgánica y los ciclos biogeoquímicos. Todos estos procesos, están ligados e influenciados por la integración de agentes abióticos y bióticos, por medio de los procesos evolutivos. Para lograr que la humanidad pueda continuar beneficiándose de los servicios ecosistémicos, se debe asegurar la persistencia y la unificación de los ecosistemas y los procesos naturales.

La implementación de estrategias de conservación de los servicios ambientales conlleva por ende a la preservación de la vida tal como percibimos en el presente. Por ejemplo, al garantizar la sobrevivencia y variedad de especies de flora y fauna

coadyuvamos a preservar la variabilidad genética de las especie lo cual redundará en equilibrio ecológico de la zona. Según Frankham (2006, p. 72.), “*el intercambio genético entre las diferentes poblaciones es vital para prevenir el deterioro genético causado por la endogamia y para mantener la variabilidad genética de la especie*”, evitando por tanto que se presenten plagas forestales y/o agrícolas que puedan arrasarse con los cultivos presentes en la zona y adicionalmente se garantizaría la sobrevivencia de las especies nativas a lo largo del tiempo. En lo referente a la flora y la fauna, la mayor biodiversidad de ambos se halla en los ecosistemas naturales. Muchas especies interactúan entre diferentes ecosistemas, por lo que el cambio de sistemas productivos naturales en plantaciones forestales y/o monocultivos implica la afectación de todos esos ecosistemas.

Por otra parte, la creciente demanda de los servicios que los ecosistemas proporcionan, ha permitido a su vez el incremento de las evaluaciones con fines de conservación, administración y optimización de estos recursos ambientales. En 1997 y bajo la dirección de la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC), se generó el Protocolo de Kioto, que entra en vigencia en el año 2005 y que tiene como objetivo disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero; este protocolo abre las puertas para la ejecución de actividades de preservación ambiental, entre otras, en busca de estrategias que permitan impulsar la eficiencia energética y la investigación que apunte al uso de energía renovable, la promoción de modalidades agrícolas sostenibles, las medidas para limitar y/o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero. Frente a este último punto, se han desarrollado a nivel mundial cientos de estudios con el fin de fomentar la conservación de reservorios de bosque y plantaciones forestales con fines de secuestro de CO<sub>2</sub>.

En torno a la problemática generada por la posibilidad latente del deterioro de la calidad de vida de las especies existentes en el planeta se han generado una cantidad importante de estudios y evaluación de la condición y valoración económica de los bienes y servicios ofrecidos por los ecosistemas cercanos a las comunidades. A pesar de esto, no es posible aterrizar una idea estándar que permita identificar en realidad cual es la mejor estrategia de valoración de los servicios ambientales a las escalas incompatibles de análisis y la interpretación personal que le da cada uno de los autores a sus publicaciones. En función de esto Rudolf, Matthew y Roelof (2002), desarrollan una metodología de evaluación basada en la presentación de un marco conceptual y tipología para describir, clasificar y valorar las funciones de los ecosistemas y los bienes y servicios de una manera clara y coherente. Aunque la finalidad del presente estudio no es la de generar una valoración de los todos los bienes y servicios del ecosistema, es importante tener en cuenta algunos aspectos identificados en el estudio de Rudolf *et al* (2002 p 404), que hace relación a la implementación de la identificación de cada uno de los componentes ambientales y la clasificación de la importancia que estos representan para los seres humano. La identificación de los componentes permitirá evitar una doble contabilidad de los servicios ambientales, dado que muchos

de ellos por si solos representan un beneficio importante y a su vez hacen parte de algún otro proceso de mayor relevancia.

La condición del uso desmedido de los recursos ambientales sumado a la falta de compromiso social y gubernamental para disminuir los impactos al medio ambiente, se ha convertido en la actualidad en una problemática a nivel mundial. Los monocultivos (cultivos agrícolas y forestales), son una actividad humana básica, la cual a lo largo del tiempo ha presentado grandes cambios que van desde la transición de modelos agrícolas y forestales tradicionales y sostenibles a mercados globalizados industriales. Este modelo ha provocado una amenaza tangible para las especies de flora y fauna debido al cambio climático asociado a la emisión de gases de efecto invernadero y la pérdida de masas boscosas por la implementación de monocultivos lo que pone en riesgo inminente a la biodiversidad teniendo en cuenta la resistencia a la adaptabilidad propia de cada una de las especies. Además, estos factores pueden llegar a afectar de manera directa la dinámica de los ciclos biogeoquímicos de los cuales depende el desarrollo de la vida en la tierra.

Dado lo anterior, es relevante impulsar el entendimiento sobre la estrecha relación que guardan los recursos naturales, con la especie humana y por ende la salud planetaria. Los recursos naturales son las bases del desarrollo sostenible y poseen importancia vital para las comunidades locales y los gobiernos. En ese sentido, es indispensable una valoración imparcial y ecuánime de los ecosistemas y servicios ambientales que estos proveen, para que se establezcan condiciones que conducen a la mejora en la calidad de vida de las comunidades conservando su riqueza natural y generando un entendimiento sobre la relación directa que guardan las actividades económicas con el estado de los recursos naturales.

La Cumbre de Río de Janeiro en 1992, estableció un valioso espacio en donde se admitió como mecanismo de acción para mitigar estos cambios, el mercado de los bienes y servicios ambientales, como una de las tácticas más idóneas para obtener las metas de conservación del medio ambiente y desarrollo sostenible. El análisis del asunto no puede quedarse solo en el empeño investigativo por obtener métodos racionalistas de valoración económica, sino hallar métodos funcionales desde la practicidad que posibiliten la transacción de los servicios ambientales, aun sin ser factible en todo su contexto la internacionalización de la totalidad de costos que implica la conservación de los recursos que son los proveedores de servicios ambientales. Podría decirse entonces que la monetización del valor de los recursos naturales se da como solución a la necesidad de manejarlos sosteniblemente siempre y cuando se logre subsanar un dilema ético, moral, conservacionista y legal que rodea las iniciativas de valoración ambiental.

Sin embargo, en la actualidad frente a los retos ambientales que se encaran, hay una discusión que siempre conduce a la conclusión importante que es la de conservar los recursos naturales, dejando de lado las motivaciones individuales para hacerlo, sea esta por el valor propio que encierra la vida en todas sus manifestaciones o vista

sociológicamente desde la óptica emocional, así mismo por el valor práctico que representa para el ser humano los recursos naturales y los servicios ambientales que pueda proveer desde la óptima económica.

Los servicios e impactos ambientales, poseen un sitio de intersección que radica en valorar los beneficios a partir de la disposición a pagar por estos. Así mismo, con respecto a los daños ambientales los costes asociados se valoran por lo que a la humanidad le molesta ese daño y de esta forma se expresa monetariamente según lo que la gente estaría dispuesta a aceptar como compensación. La mayor dificultad asociada a este enfoque radica en la carencia de mercados concretos para un gran porcentaje de los beneficios y costos ambientales, lo cual en la actualidad se afronta creando mercados artificiales o mediante métodos indirectos empleados en la economía ambiental.

Los análisis económicos en este sentido se amplían más allá del campo de acción que ha tenido la economía habitualmente. Muy poco se ha precisado sobre la noción de medio ambiente que se explica en discrepancia al campo de estudio corriente de la economía, adicionalmente son muy limitados los razonamientos sobre las restricciones que se plantean a partir del arsenal ideológico de la economía tradicional y sus probables ensanchamientos para transformar el medio ambiente en terreno de estudio ordinario. Los problemas asociados a la gestión de medio ambiente son considerados dentro de la economía ambiental como externalidades, valoradas a partir del instrumental analítico de la economía, cuyos raciocinios están dados en términos de precios, costos y beneficios ya sean reales o simulados. Adicionalmente estima que el principio de los inconvenientes medioambientales es la carencia de valor económico de los recursos, por lo que sugiere atribuir valores monetarios a dichas externalidades y de esta manera podrían incorporarse en el análisis costo – beneficio con el fin de determinar la rentabilidad de su conservación o su eliminación.

El uso indiscriminado que supera la capacidad de los recursos naturales para recuperarse, ha permitido que surja la necesidad de conocer los costos ambientales que se incurren en estos procesos de degradación, y a su vez generar estrategias de regulación e incentivos justos que permitan mejorar los indicadores que hacen parte de este proceso. Con base en lo anterior, la valoración de servicios ambientales es primordial si se pretende equilibrar las condiciones de sostenibilidad tal como lo indica Machín y Casas (2006, p. 2) cuando plantea que *“en términos económicos el usuario de los recursos naturales tenderá a no tratarlo como un bien gratuito; esto debido, a que su objetivo será el mantenimiento del flujo de beneficios provenientes de los bienes y servicios proveídos por ellos”*. Esto explica que las personas que hacen uso racional de los recursos tiendan a evitar la depreciación inútil del patrimonio natural.

Los métodos de valoración ambiental, se emplean ante la falta de precio de los bienes y servicios ambientales y la ausencia de mercados donde puedan transarse estos bienes. Generalmente existen métodos de estimación directa e indirecta según sea la naturaleza y características de los bienes que se busque valorar. Al respecto se

reconocen como métodos de valoración directa los que se basan en precios de mercado, los mercados simulados, los precios hedónicos, los que cuantifican el cambio de productividad, entre otros.

Por otro lado, los métodos indirectos se basan en preferencias reveladas o hipotéticas donde es más común y más usado el método de valoración contingente como una estrategia para conceptuar el valor de servicios ambientales a los que no se le ha encontrado un mercado, o sea, aplica una simulación de mercado mediante el empleo de encuestas a los usuarios potenciales de los servicios ambientales, interrogándolos acerca de cuál es la máxima cuantía de dinero que estarían dispuestos a pagar por el bien o servicio ambiental si tuvieran que comprarlo. De la respuesta se infiere el valor promedio que podría adjudicarse al bien o servicio en cuestión. Lo beneficio de esta metodología de valoración va desde el área administrativa que requiere analizar las variables que plantean, hasta las entidades preocupadas por el deterioro medio ambiental, que aspiran conocer el valor social del patrimonio natural. Este método de valoración es mejor aceptado socialmente dado que la razón de que adicionalmente de los valores que el consumidor distingue al hacer uso del bien o servicio, la comunidad puede lograr confort aun no haciendo uso directo de bien. Lo engorroso de esta metodología es que puede tener diferentes tipos de sesgo causados por las restricciones debido a la naturaleza de su valoración que es hipotética, lo cual no facilita compararlos con verdaderos valores. Adicionalmente su resultado dependerá en gran parte de la calidad en la redacción de los cuestionarios a aplicar, lo cual puede generar mal interpretaciones con respecto a los conceptos de pago o compensación.

Otro método de valoración es el de costo del viaje, es uno de los más comúnmente empleados para asignar valor a los bienes y servicios escénicos o turísticos. Se realiza mediante estimaciones de los costos que acarrea a la sociedad el desplazamiento de su lugar de origen a un lugar turístico, haciendo el análisis teniendo en cuenta las variables de distancia, condiciones de uso del bien o servicio y el medio de transporte empleado para su desplazamiento, número de días de estadía en el lugar e ingresos económicos que dejó de percibir durante el viaje. Con los resultados de la indagación se define el remanente (beneficio) alcanzado y se compara con los costos asumidos y este valor se asume como equivalente del servicio ambiental. El soporte de este método de valoración, es el vínculo entre el uso de un bien ambiental y el mercado de un bien privado (el viaje). Esta relación debería evaluarse en función de cómo fluctúa la demanda del servicio ambiental, ante los cambios en los precios de goce. La base de este método lo constituye el análisis del tiempo invertido en disfrute, que podría dedicarse a otras actividades productivas y determinar su valor.

Por otra parte la utilización de precios hedónicos se fundamenta en definir los costos de determinadas particularidades de una propiedad que precisan su valor. Generalmente se le adjudica a las viviendas donde se aprecian diferentes variables que hacen parte del entorno natural y que no pueden obtenerse separadamente, dado que no existe un mercado independiente, esto facilita la comparación de precios con propiedad semejantes en otros sectores y por intermedio de este análisis se puede estimar el

valor del entorno ambiental. Las limitaciones de este método en cuanto a medición permiten afirmar que la cuantificación de los efectos ambientales es discutible según el grado de precisión con que se identifique el valor objetivo de la vivienda (Machín y Casas, 2006). Este método sostiene un singular interés en la valoración de algunas categorías de bienes públicos comparados con atributos medio ambientales.

La metodología de análisis costo-beneficio, guarda una estrecha relación desde su aplicación inicial con el análisis de proyectos de inversión sin embargo son de difícil inclusión en el análisis de proyectos y ha sido empleada constantemente, en estudios de algunas intervenciones al medio ambiente. La incertidumbre con respecto a la aplicación de esta metodología como base de decisión económica exclusivamente no se da en contraposición a las técnicas empleadas para la valoración sino que hay debilidad en las bases conceptuales del método, como directriz de las políticas medioambientales.

En el método de pérdida de ganancias se evalúan modificaciones en el rendimiento humano, como consecuencia de los efectos nocivos sobre la salud humana que trae consigo la degradación, contaminación ambiental y cambios en la existencia de los recursos naturales. La merma en el lucro económico (salarios) y pagos de rubros asociados a la salud, gastos médicos, son estimados y tenidos en cuenta como pérdidas de rendimiento o de capital humano. La orientación de este método puede resultar conveniente en el análisis desde la óptica de seguridad y salud en el trabajo o seguridad industrial, solamente en proyectos que afecten o involucren directamente la salud humana.

En lo que respecta al método de valoración por costos de oportunidad o costo de preservación, la base de valoración es la percepción de que los costos de utilizar un recurso para fines a los cuales no se les puede asignar precio en el mercado o no son comercializables, pueden ser valorados haciendo uso de la ganancia perdida por no utilizar los recursos en otras utilidades como variable. Existe una urgente necesidad de llegar al modelo de desarrollo sostenible y la lógica exigencia e importancia de la utilización de métodos de valoración económica mediante los cuales se puedan cuantificar y medir la calidad ambiental, es urgente en la praxis la ejecución de políticas de gobierno eficientes, eficaces y efectivas que permitan un manejo sostenible de los recursos naturales.

Por último, para este estudio se empleó la valoración de servicios ecosistémicos del Bs-T enfocado a la captura de CO<sub>2</sub>, mediante la utilización de métodos de valoración alométrica, con el objetivo de levantar información que sirva de base para tomar decisiones de gestión o implementar en la unidad de manejo forestal pago por servicios ambientales, el uso de este método se constituye como una opción de desarrollo de los mercados bursátiles en pro de la conservación del ambiente. Este método se amplía en el capítulo cuatro sobre el diseño metodológico de la investigación.



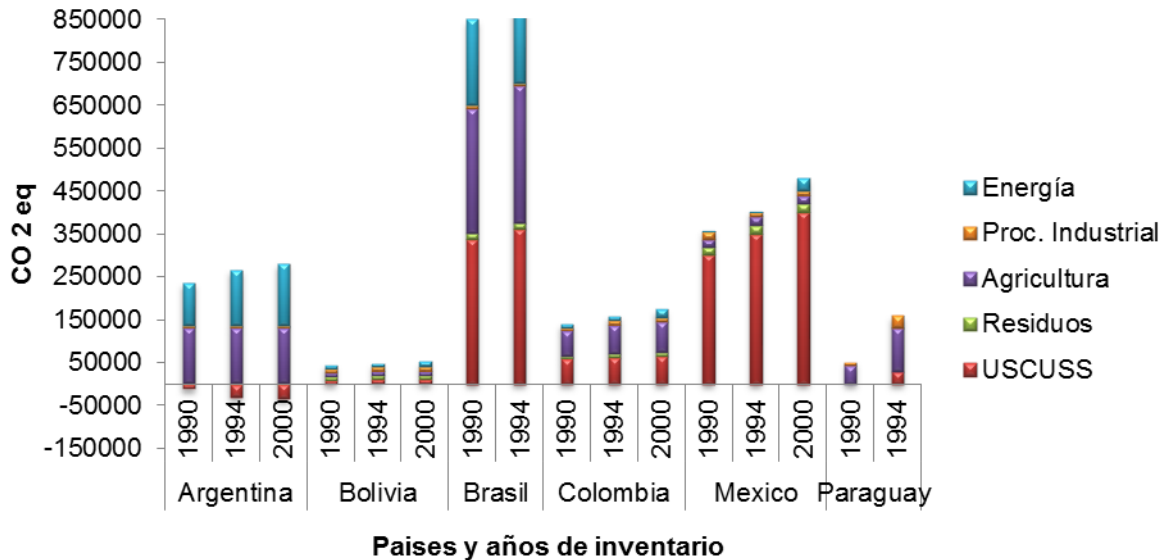
### 3. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se habla inicialmente sobre el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en Colombia, en el mundo y Latinoamérica; posteriormente se hace una identificación de la escala de los recursos naturales para el país, y se aborda también seis trabajos sobre captura de CO<sub>2</sub> realizados en Latinoamérica. La totalidad de investigaciones desarrollan el análisis desde un enfoque de caracterización de bosques sin valoración económica de los servicios ambientales. Con respecto a los estudios específicos de captura de CO<sub>2</sub> analizados se hace referencia a varios que tuvieron en cuenta variables diferentes para dar como resultado la producción de biomasa y después hacer la conversión a CO<sub>2</sub> atmosférico capturado. En éstos, se tuvo en cuenta separadamente algunos criterios de medición para hallar la biomasa y posteriormente el cálculo de captura de CO<sub>2</sub>, las variables o métodos analizados fueron la transferencia de valores fijos y funciones, la influencia de los factores ambientales en la captura de CO<sub>2</sub> y las diferencias en la captura de CO<sub>2</sub> en varios compartimentos de la planta. Asimismo, hubo estudios donde se comparó el manejo tradicional versus plan de manejo incorporado al bosque en función de la captura de CO<sub>2</sub>. En otras de las investigaciones analizadas se hizo un estudio sobre el carbono capturado por las diferentes especies de importancia económica en México. Por último se hace alusión a un estudio en el Pacífico Colombiano para la construcción y validación de ecuaciones alométricas para la estimación de Captura de CO<sub>2</sub>.

Entrando en materia, en Colombia el escenario del comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> no es particularmente alentador. De acuerdo al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI), realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y citado en el artículo El Mundo Respira CO<sub>2</sub> de la Revista Semana, Colombia se sitúa en el puesto N° 44 emitiendo 44 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales a la atmósfera, distribuidas de la siguiente manera: La agricultura es uno de los eslabones de la economía en Colombia que generan más emisiones de CO<sub>2</sub> con un valor aproximado de 38%; seguidamente el sector energético con un 37% debido a la quema de combustibles, producción de petróleo y gas; en ese orden sigue el cambio de uso de suelos por actividades como la deforestación y la quema que cuenta con un valor de 14%; el cuarto lugar lo tienen los residuos sólidos y la destrucción por incineración de residuos de industria con el 6% y por último con el 5% los procesos de la industria por las emanaciones que son resultado de fabricar cemento, alimentos, químicos, entre otros.

A nivel regional, Colombia presenta una condición más favorable comparada con otros países latinoamericanos. La figura 2, destaca que entre los países Latinoamericanos, Colombia se localiza en el puesto cinco, a diferencia de Brasil y México que se encuentran en el primer y segundo lugar respectivamente. Es de recalcar que existe una relación directa entre el producto interno bruto y las emisiones de GEI, teniendo como base las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita expresado esto en la paridad del poder adquisitivo (en adelante PPA).

**Figura 2. Emisiones en CO<sub>2</sub> eq por módulo y año de algunos países de América Latina**



Fuente: adaptación con base en IDEAM (2010) p. 132

Si bien a nivel mundial y regional, el país se sitúa en dos condiciones diferentes, es importante reconocer que falta desarrollo en función de las condiciones medio ambientales y de diversidad biológica que presenta Colombia. A nivel ambiental, el país se encuentra constituido por tres grandes biomas: Gran Bioma del Desierto Tropical en el departamento de la Guajira; Gran Bioma del Bosque Seco Tropical en la región Caribe, alto Magdalena y Valle del Cauca (Figura 3); y el Gran Bioma del Bosque Húmedo Tropical, que abarca el resto del territorio nacional continental. (IDEAM et al., 2007 citado por IDEAM 2010), dentro de los cuales se identifican 311 ecosistemas continentales y costeros.



(UNEP-WCMC, 2011), citada por IDEAM 2011, muestra la clasificación de los servicios ecosistémicos.

**Tabla 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos**

<b>Categoría del servicio</b>	<b>Tipo de servicios</b>
Provisión	1. Alimento
	2. Agua
	3. Materias primas
	4. Recursos genéticos
	5. Recursos medicinales
	6. Recursos ornamentales
Regulación	7. Regulación de la calidad del aire
	8. Regulación climática incluido el almacenamiento de carbono)
	9. Moderación de eventos extremos
	10.Regulación de corrientes de agua
	11.Tratamiento de desechos
	12.Prevenición de la erosión
	13.Mantenimiento de la fertilidad del suelo
	14.Polinización
	15.Control biológico
Hábitat/Soporte	16. Mantenimiento de los ciclos de la vida
	17.Mantenimiento de la diversidad genética
Cultural (ofrecer oportunidades para:)	18.Goce estético
	19.Recreación y turismo
	20.Inspiración para cultura, arte y diseño
	21.Experiencia espiritual
	22.Desarrollo cognitivo

Fuente: UNEP-WCMC, 2011

Si bien cada uno de los servicios ofrecidos por los ecosistemas es de importancia, el papel que juegan las zonas naturales frente a la regulación es el de mayor relevancia. Dentro de estos, lo que hace relación a la calidad del aire y regulación de clima inciden de forma directa en los demás beneficios ecosistémicos y por ende en las características de vida de los seres humanos. Desde hace ya algunas décadas, el calentamiento global producto del aumento de los gases de efecto invernadero por los procesos de industrialización a nivel mundial, ha generado una consciencia en busca de estrategias de mitigación enfocada a la identificación de nuevas fuentes de energía limpia y sumideros de carbono.

En los últimos 200 años el incremento mundial fue de 280 a 350 partículas por millón (ppm) en la atmósfera y el aumento sigue con una tasa promedio un poco superior a 1

ppm al año. Según el “Global Carbon Project”, dirigido por investigadores del Centro Tyndall para la Investigación del Cambio Climático en la Universidad de East Anglia y la Facultad de Ingeniería, Matemáticas y Ciencias Físicas de la Universidad de Exeter (Reino Unido), para el 2014 el principal causante del calentamiento global superó el máximo histórico de 40.000 millones de toneladas, lo que supone un incremento del 2,5% con respecto a la medición anterior [Deans, Mora y Grace (1996), citado por Acosta, Vargas, Velázquez y Etchevers (2002 p. 1)].

A nivel latinoamericano el escenario no es precisamente alentador. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), a finales del 2014, la segunda región a nivel global que producía más emisiones era América Latina y el Caribe con la actividades de agricultura que corresponden al 17% del total, lo supera Asia con el 44%, subsecuentemente África con el 15%, Europa el 12% y el último lugar Norte América con el 8%. En información consultada de la base de datos de la FAOSTAT (2012), se pudo establecer que los cultivos y la ganadería comprendidos en las actividades agrícolas aumentaron las emisiones entre el año 1961 y 2010, pasando de 388 a más de 900 millones de toneladas correspondientes a dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2 \text{ eq}$ ); las emisiones producto de la actividad ganadera es la mayor contribuyente con 88% del total.

Colombia en particular, se ha caracterizado por el desarrollo de políticas de protección y conservación natural. En 1993 mediante la creación del Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental, se generaron las directrices que permitieron la puesta en marcha de políticas enfocadas a la investigación y conservación de los recursos naturales del país. En lo que se refiere al cambio climático, Colombia aprobó la ley 164 del 1994 mediante la cual se asumen lo pactado en la convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático, posteriormente se expide la estrategia nacional para la venta de servicios ambientales de mitigación de cambio climático mediante el CONPES 3242 de 2003. En su esfuerzo por contribuir a reducir la emisión de gases con efecto invernadero, en el país se han venido adaptando las estrategias para la aprobación nacional de proyectos que persigan este fin, mediante la adopción de mecanismos de desarrollo limpio. Finalmente fue creado y validado del comité técnico intersectorial de mitigación de cambio climático del consejo nacional ambiental.

Frente al tema se han desarrollado una cantidad importante de estudios a nivel mundial que abarcan todos los escenarios posibles dentro del componente ambiental. La mayoría de los estudios encontrados presentan amplias caracterizaciones de bosques en los que se hace énfasis en los beneficios ambientales que ofrecen estos ecosistemas naturales. Algunos de los autores relacionan la importancia de identificar y potenciar dentro de las áreas naturales los referentes a servicios ambientales, teniendo en cuenta que este tipo de beneficios se relacionan con la ocupación de gran variedad de comunidades en función directa o indirecta con ellos.

Desde años atrás se vienen evaluando las diferentes formas de estudiar la caracterización de bosque, la valoración de los servicios ambientales y los cálculos

para la determinación de procesos de captura de CO<sub>2</sub>. Con el fin de realizar una estimación de la captura de carbono en biomasa aérea en México, específicamente en el municipio de Peribán en el ejido de “La Majana”. Zamora (2003) realizó una investigación con el fin de hacer un comparativo entre un bosque cuyo manejo estuviera enfocado a obtener mayor captura de CO<sub>2</sub> y un bosque con manejo tradicional. La metodología empleada para los cálculos fue la propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático en 1994, que hace uso de diferentes variables para hallar la biomasa aérea y posteriormente el CO<sub>2</sub> almacenado en el compartimento fustal; los datos se obtuvieron a partir del volumen existente por hectárea. El resultado de esta investigación permitió determinar que a corto plazo el manejo tradicional presenta capturas de CO<sub>2</sub> mayores comparativamente con el bosque con plan de manejo, sin embargo a mediano y largo plazo presenta varias desventajas debido a que deja de lado factores ecológicos y no tiene incorporado elementos tendientes a mantener la estructura del bosque con el fin de proteger el recurso agua, suelo, fauna y flora, los resultados concluyen que en el tiempo el bosque manejado tiene una mayor captura de CO<sub>2</sub> que el bosque con manejo tradicional.

García y Sánchez (2009), estimaron el contenido de carbono en la parte aérea del estrato arbóreo para las especies de interés presentes en el bosque bajo aprovechamiento forestal maderable del Ejido de Tlalmanalco, Municipio de Tlalmanalco, Estado de México durante el periodo 2007-2016, para analizar los posibles beneficios que este aprovechamiento propicia sobre el contenido de carbono. La estimación por hectárea se traduce en un promedio de contenido de carbono donde la superficie total sobre la cual fue calculada, fue la base para poder compararse entre cada especie a fin de determinar su aptitud considerando la composición botánica. En base a las estimaciones volumétricas se puede distinguir el cambio en el contenido de carbono para cada uno de los años del ciclo de corta, dado que el aprovechamiento maderable modifica la cantidad del contenido de carbono en las masas forestales. De manera general se estima un aumento constante en el contenido de carbono a lo largo del ciclo de corta, donde al final del mismo se estimó un incremento total de 8,630 ton empezando con 136,126 ton y finalizando con 144,756 ton.

Pérez y Díaz (2010), estiman la cantidad de biomasa / carbono contenido en la biomasa forestal aérea de las reservas biológicas de Cachalú y Encenillo en Colombia. El método general a emplear busca la estimación de la biomasa en los compartimentos: fustal, latizal, herbáceo, litter y necromasa. El resultado del estudio indican que el aporte de biomasa aérea se da en mayor proporción por el compartimento fustal, seguido de hojarasca, necromasa, herbáceo y latizal en orden descendente (Fustales: 86,15% y 85,8%, Hojarasca: 7,5% y 5,2%, necromasa: 4% y 2,8%, herbáceo: 1,6% y 3% y Latizales: 0,7% y 3,1%) para la reserva Encenillo y Cachalú respectivamente.

Sierra (2010), por su parte realizó una investigación con el fin de establecer la relación efectiva en el secuestro de carbono y otros elementos ambientales para el cultivo de caña (*Saccharum officinarum*), en este trabajo se estableció el compartimento de la

planta que muestra la más alta cantidad biomasa para la especie, partiendo de este dato se hizo el cálculo la biomasa acumulada por unidad de área y el secuestro total de carbono para la zona de estudio. A manera de conclusión se puede decir que el secuestro de carbono es más alto para las zonas de la haya de Rio Suarez departamento de Santander y Boyacá, que para Cundinamarca, en cuanto a las variedades de caña no hay claridad sobre la captura de carbono en relación a carbono orgánico acumulado por las variedades. Hay que tener en cuenta que puede coexistir una correlación de la propiedad y la biomasa útil contenida por las variedades, sobre lo cual se hace el cálculo de secuestro de carbono. Haciendo alusión al punto mencionado anteriormente la variedad RD presentó los más altos rendimientos de biomasa frente a la variedad POJ. Hay que mencionar que dichos resultados son parciales y además hay que tener en cuenta que las condiciones bajo las cuales se hicieron las medidas para ambas variedades son desiguales. Por tal razón es de vital importancia investigar a fondo esta hipótesis bajo condiciones de similitud.

Como una de las bases de evaluación del presente estudio, Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, Cabrera, Alvarez, García, Ordoñez (2011), proponen seleccionar y validar modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia y construir nuevos modelos para estimar la biomasa aérea en tres de los ecosistemas más importantes del Pacífico colombiano, mediante la estimación del Porcentaje de Error Promedio (PEP), se evaluó la precisión de la estimación de la biomasa aérea de cada árbol pesado en campo para cada uno de los modelos alométricos seleccionados. Para generar los modelos para bosques del pacifico colombiano, se realizó un trabajo de campo con el fin de contar con la biomasa aérea real de los árboles. Se seleccionaron al menos tres individuos de las especies dominantes en cada categoría diamétrica y se realizaron mediciones de diámetros. Posteriormente se realizó el corte del árbol y se y se tomaron las mediciones de altura relacionadas con fuste y copa. Los resultados muestran que algunas de las ecuaciones estiman adecuadamente la biomasa aérea de los árboles en Colombia, pero la mayoría requieren de variables adicionales al diámetro (D), lo que limita su aplicación a los datos de inventarios forestales donde generalmente el diámetro es la única variable reportada. Para los bosques del pacifico colombiano, se genera una línea de regresión entre el logaritmo del D y el logaritmo de la biomasa aérea (BA; peso seco), y la distribución de los residuales para los tres tipos de bosque: colina, guandal y manglar<sup>2</sup>. En general los modelos desarrollados para los tres tipos de bosque presentaron un buen ajuste ( $R^2 > 95\%$ ).

Como conclusiones de las investigaciones citadas en este documento, se logró realizar en el primer estudio citado, la aproximación inicial al capital natural de los andes colombianos, otra de las investigaciones logró comprobar que el aporte de biomasa aérea se da en mayor proporción por el compartimento fustal con un % total de 86,15%

---

<sup>2</sup> Bosques de **Colina**: Son bosques que se desarrollan sobre las montañas, su característica principal es que se compone de vegetación de baja altura. Bosques de **Guandal**: Humedales forestales de aguas dulces. Bosques de **Manglar**: Bioma formado por árboles muy tolerantes a la sal, que se desarrolla en las zonas costeras, cerca a desembocaduras de agua dulce.

del total de la biomasa en árboles forestales, otro de los estudios concluyó que analizando las mismas especies en diferentes condiciones climáticas, había variación en cuanto a captura de CO<sub>2</sub>, por tanto se concluye que el clima tiene influencia sobre el crecimiento y desarrollo de los árboles y por ende en el potencial de captura de CO<sub>2</sub>, otra de las investigaciones concluyó que el manejo tradicional de los bosques tiene desventajas en lo referente a captura de CO<sub>2</sub> comparativamente con bosques manejados bajo un plan de manejo estructurado tendiente a aumentar la captura de CO<sub>2</sub>, y finalmente se logró comprobar en uno de los estudios que el diámetro todos los factores concluyentes de las investigaciones consultadas fueron tenidos en cuenta durante el desarrollo de la investigación realizada en el bosque seco tropical de El Carmen de Bolívar.

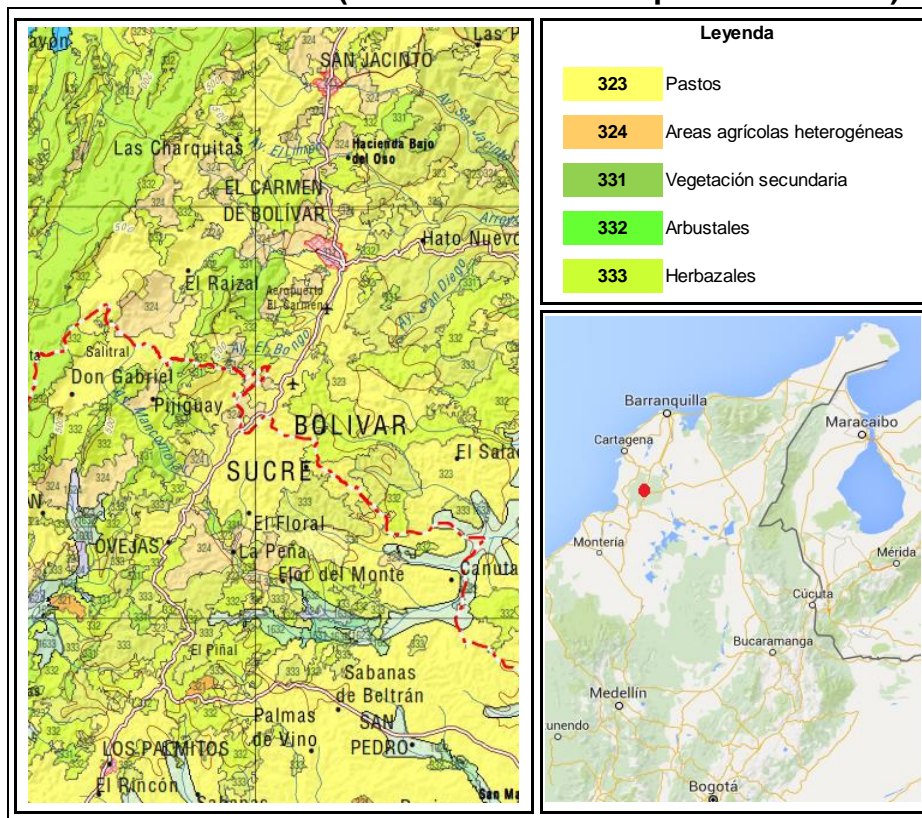


## 4. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1 UNIDAD DE ANÁLISIS

La región de El Carmen de Bolívar, constituye parte de un ecosistema típico de la llanura costera Caribe o planicie costera, dentro del gran bioma del bosque seco tropical y bajo la zona de vida denominada también Bs-T (Holdridge, 1971), que se localizan en Colombia desde el sur de la Guajira hasta Córdoba, San Andrés Isla, Providencia y Santa Catalina. Los bosques de la región Caribe, han sido profundamente modificados y la deforestación para el establecimiento de ganadería, ha llevado a la transformación de bosque a zonas de pastoreo. Con la modificación de estas condiciones se pierden los hábitats naturales, generando la desaparición de innumerables especies de flora y la migración de otras tantas de fauna. En la actualidad, se encuentran algunos remanentes o relictos fragmentados y pequeños, en los cuales ha logrado sobrevivir la vegetación natural. En el mapa de ecosistemas de Colombia se observan las siguientes coberturas:

**Figura 4. Ecosistemas identificados en el municipio de El Carmen de Bolívar (Zonobioma seco tropical del Caribe)**



Fuente: SIGAC-SIAC (2007); IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP (2007) Citado por Nexos empresarial (2014).

El gran bioma de Bs-T de la región Caribe presenta áreas en las que se destaca el clima cálido seco en un total del 78% del área cubierta bajo estas condiciones medio ambientales y clima cálido muy seco cubriendo el 9% del área total. Con respecto a las precipitaciones, éstas se encuentran en un rango de 500 mm a 1.000 mm, sin embargo en algunas zonas las precipitaciones alcanzan a los 2.000 mm. Dentro de este gran bioma, predominan los pastos (53%), vegetación secundaria (13%), cultivos anuales o transitorios (7%), áreas agrícolas heterogéneas (9%) y arbustales (5%).

Dentro de este gran bioma se encuentra la zona de estudio que corresponde al Zonobioma seco tropical del caribe<sup>3</sup> caracterizado por clima cálido seco que alcanza el 91% de la cobertura. Predominan los pastos (61%), la vegetación secundaria (13%), áreas agrícolas heterogéneas (9%) y arbustales (7%). La cobertura vegetal o de Bs-T presente en la zona donde se ubica el proyecto investigativo en El Carmen de Bolívar, presenta una situación similar a la del resto de la región Caribe, dado que históricamente las tierras han sido utilizadas para la agricultura y especialmente para la ganadería, lo que ha generado que no quede muestra significativa del ecosistema de Bs-T, tal como se observa en las coberturas que en su mayoría pastos y áreas agrícolas heterogéneas, con representación de algunos relictos de vegetación secundaria.

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de El Carmen de Bolívar en el departamento de Bolívar, en la zona limítrofe con el municipio de Ovejas, departamento de Sucre. La altura sobre el nivel del mar oscila en rangos de 0 - 1.100 m aproximadamente; las precipitaciones medias anuales tiene rangos de entre 1.000 mm y 2.100 mm y la temperatura es superior a 24 °C promedio. El suelo que soporta esa zona de vida según su capacidad de uso es de clase I<sup>4</sup>, ligeramente planos, aluviales y con un drenaje adecuado, la pendiente promedio es del 13% con texturas de suelo de moderadamente gruesas a moderadamente finas, la capacidad de retención de humedad aprovechable es relativamente baja; por ello las prácticas de fertilización y riego combinadas potencializan este tipo de suelos convirtiéndolos en productivos.

El Carmen de Bolívar es el segundo municipio en importancia del Departamento de Bolívar, muy cerca de la falda del mítico Cuero de Mancoján, por donde corre el Arroyo Alférez. Está ubicado aproximadamente a 114 km al sudeste de la capital del departamento de Bolívar (Cartagena). Es el municipio más grande de la región de los Montes de María con 954 km<sup>2</sup> y una población aproximada de 66.000 habitantes, se encuentra ubicado a orillas de la carretera troncal del Caribe que une el interior del país con la Costa Atlántica. Los límites municipales son al norte con el Municipio de San Jacinto, al sur con Ovejas, Departamento de Sucre, por el este con Zambrano y

---

<sup>3</sup> Bosques tropicales, de baja altitud, caducifolios, donde se encuentra la vegetación de la zona seca del Caribe colombiano. Una de sus características principales de la vegetación que allí confluye es la pérdida del follaje, adaptación fisiológica ocasionada por el estrés hídrico.

<sup>4</sup>Klingebiel y Montgonery (1961, p 1). "Suelos con muy pocas limitantes para su uso, son casi planos, con pequeños problemas de erosión, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, con buena capacidad de retención de agua y responden a la fertilización".

Córdoba, y por el oeste con los municipios de San Onofre y Colosó ubicados también en el departamento de Sucre.

Con respecto a la situación social del municipio, años atrás, en la época gruesa del conflicto armado en Colombia, El Carmen de Bolívar era de donde se ejercía el control de los corredores del negocio de la droga por parte de las bandas al margen de la ley, debido a la ubicación estratégica que posee el municipio, los pobladores de las verederas estuvieron cercados por el conflicto que recrudeció las condiciones de pobreza, por tanto decidieron vender sus tierras a bajo costo y abandonarlas. En el año 2012 los pobladores regresaron reclamando sus tierras y en marzo de 2014 el gobierno nacional reconoció la veracidad de los desplazamientos en la región de los Montes de María lo cual llevo a los agricultores a gestionar el amparo de los que fueran predios cobijados por la ley 1448 o ley de víctimas que promete reparar y restituir tierras a quienes sufrieron desplazamiento forzado desde 1991 hasta la fecha. La realidad se refleja en las palabras de uno de sus líderes reclamantes: Verdad abierta (2004) *“Estamos a la expectativa, pero nuestro futuro por ahora no es claro, en este momento hay miedo porque como están las cosas uno no busca la tierra para que lo entierren ahí mismo”*.

Mucho más grave que lo expuesto anteriormente sobre la tenencia de tierras en el municipio, es la situación en cuanto a la población. La dinámica del trabajo rural en la actualidad se desarrolla bajo actividades técnicamente no viables lo que las hace poco productivas, y no rentables. Esto evidencia que el conflicto suscitado en esta zona ha cambiado la perspectiva e interés de los pobladores que hoy le dan más valor a la titulación de predios que a ejecutar labores productivas rentables, que mejoren las condiciones de vida de las comunidades a nivel local.

Como resultado de todos estos cambios, se evidencian nuevas formas de uso del suelo y excesiva presión sobre los recursos naturales de la zona. El enfoque actual por variables como el desplazamiento de la población no se centra en mejorar la agricultura de los pequeños pobladores, dado que las tierras se han destinado principalmente a ganadería extensiva y la propiedad de las mismas se ha concentrado y lo continuará siendo en la medida en que el conflicto actual por el dominio territorial, permita continuar con estas tendencias. Toda esta situación ha llevado a ejercer una presión severa sobre el Bs-T, los lugareños emplean su madera para autoconsumo, la cacería es una actividad dominante en la zona, esto debido a que las condiciones de pobreza extrema lleva a los pobladores de las comunidades a buscar mecanismos de supervivencia, adicionalmente se está expandiendo la frontera agrícola, debido al masivo regreso de campesinos que requieren un espacio para cultivar y tener alimento para sus familias.

Con base a lo expuesto anteriormente nace la preocupación por proteger los relictos boscosos de la zona y su biodiversidad, por ello en 2014, en 353 hectáreas (en adelante ha) de siete sectores situados en el Municipios de El Carmen de Bolívar, se realizó un inventario de la vegetación existente, se midieron los diámetros y se

estimaron las alturas, posteriormente se clasificaron *in situ* las especies encontradas. Los sectores estudiados fueron: Carlos Osorio 1 (25 ha), Carlos Osorio 2 (62 ha), Cascajo (25 ha), Galván (57 ha), San Rafael (8 ha), Borrachera (147 ha) y Bajo de Morrocoy (29 ha). Se muestreo el 10% del área con parcelas de 1.000 m<sup>2</sup> por ha.

## 4.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

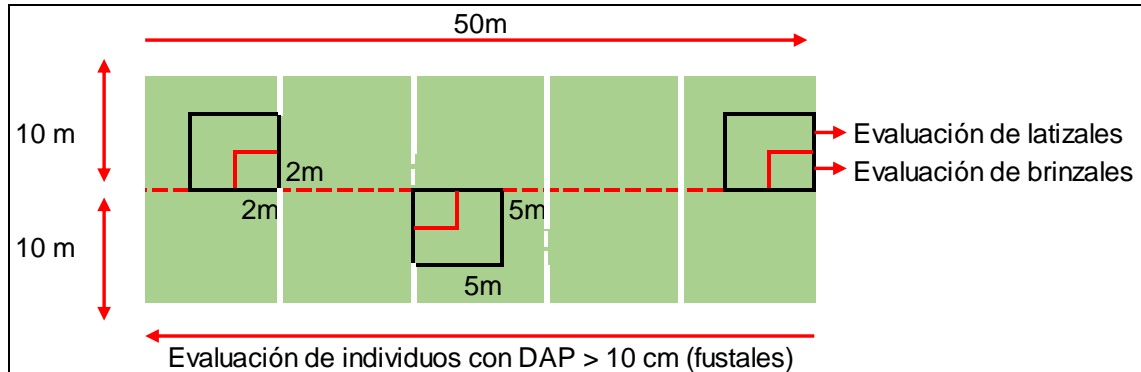
Para la realización de la caracterización de la cobertura vegetal y por consiguiente del componente flora, se desarrollaron unas fases y/o metodologías las cuales se describen a continuación:

Fase previa: La caracterización de las coberturas vegetales de Bs-T en la zona de estudio, se inició en oficina mediante la revisión bibliográfica en materia ambiental y del esquema de ordenamiento territorial 2012 - 2015 del municipio de El Carmen de Bolívar.

Fase de muestreo y levantamiento de vegetación: En esta investigación, se empleó el método exploratorio de tipo descriptivo, haciendo uso del enfoque analítico, para caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, conocer sus características y propiedades, combinada con ciertos criterios de clasificación con el fin de ordenar, agrupar y sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio. El objeto del trabajo exploratorio es caracterizar la vegetación existente en el área de influencia del proyecto, sobre la cual se busca identificar y caracterizar la vegetación, mediante la observación y realización de inventarios de las especies vegetales en la zona. Se llevaron a cabo muestreos estandarizados; inventario de plantas leñosas, de acuerdo con el método propuesto por Gentry (1982), que consiste en analizar la riqueza florística, la estructura y la composición de la vegetación.

Para la caracterización de las unidades florísticas se utilizaron transeptos de tipo temporal de 0,1 ha, lo cual permite obtener información sobre las características cualitativas y cuantitativas de la vegetación del área, sin estudiarla en su totalidad. Este método es empleado en muestreos rápidos exploratorios; en este tipo de muestreo la información capturada obedece a registros puntuales. Se establecieron transeptos, los cuales facilitaron la evaluación de las variables, estos son utilizados comúnmente en muestreos RAP (Rapid Assessment Program), con el fin de evaluar de forma rápida la composición florística y la estructura horizontal y vertical de la cobertura. Para la recolección de la información del componente forestal o de cobertura vegetal en campo, se cuenta con un grupo de trabajo, dirigido por una ingeniera agroforestal. Una vez en campo, se trató de llegar a los puntos establecidos en la fase previa para después levantar la respectiva parcela de 20 m X 50 m (0,1 hectáreas) la cual se realizó como se observa en la Figura 5.

**Figura 5. Diseño de las parcelas de muestreo de individuos fustal, latizal y brinzal**



Fuente: GESAM Ltda, 2013

En cada parcela levantada se inventariaron todos los individuos fustales (DAP mayor o igual a 10 centímetros) de acuerdo a la planilla de campo, marcando y midiendo los individuos. También se realizaron muestreos y registros de latizales (individuos con DAP menor de 10 cm y mayor de 2,5 cm) con subparcelas de 5 m x 5 m, estimando la altura total y midiendo el perímetro o circunferencia a la altura del pecho (CAP) de cada individuo y por último se establecieron subparcelas de brinzales de 2 m x 2 m, donde se estimaría la abundancia de cada una de las especies con el conteo de los individuos con diámetros menores 2,5 cm.

Fase de Oficina: Posterior a la recolección de toda la información en campo se procesó para hacer una base de datos de los puntos del sistema de posicionamiento global (GPS), y de la información de las parcelas levantadas y con ello realizar los ajustes en el Sistema de Información Geográfica (SIG) y el análisis estructural de las coberturas. Una vez se identificó la totalidad de las especies se generó el listado definitivo de especies, se realizó la caracterización de la vegetación, con el fin de determinar la estructura y composición florística del ecosistema. Los datos arrojados por el análisis estructural permitieron evaluar el comportamiento de árboles individuales, especies, familias y la totalidad del bosque, sus dinámicas y tendencias de desarrollo a futuro, que son básicas para diseñar las estrategias de manejo de cualquier tipo de bosque.

### 4.3 TÉCNICAS E INDICADORES

La composición florística y el análisis estructural de la vegetación, se realizó mediante un inventario forestal para cada cobertura identificada y delimitada en cada uno de los biomas, con un error de muestreo no superior al 10% y un nivel de probabilidad del 95%. La información recolectada en la fase de muestreo, está sujeta a la validación

estadística de sus componentes. En la tabla 2 se indican los diferentes estadígrafos utilizados para tal fin.

**Tabla 2. Estadígrafos y ecuaciones para unidades muestrales**

ESTADÍGRAFO	ECUACIÓN	VARIABLES	
Unidades muestrales de igual tamaño	Media $\bar{x}$	$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$	$x_i$ Es la <i>i</i> ésima observación o medición, <i>n</i> el número total de observaciones ó mediciones.
	Varianza $s^2$	$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$	$x_i$ y <i>n</i> ya definidos anteriormente y, $\bar{x}$ , es la media.
	Desviación estándar <i>s</i>	$s = \sqrt{s^2}$	$s^2$ , es la varianza
	Coeficiente de variación	$Cv = \frac{s * 100}{\bar{x}}$	El coeficiente de variación <i>s</i> % es la desviación estándar en porcentajes de la media
	Error estándar $s_x$	$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}$	<i>s</i> es la desviación estándar
	Error de Muestreo	$EM = \left( \frac{S * t}{q} \right) * 100$	Valor de <i>t</i> student para nivel de probabilidad del 95% y 2 grados de libertad
	Tamaño de la muestra	$n = t^2 (Cv)^2 / EM^2$	

Fuente: Adaptado de Erhard (1995).

#### 4.4 ESTRUCTURA HORIZONTAL E ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA

Según Melo y Vargas (2003), la evaluación de la estructura horizontal permite identificar el comportamiento de los individuos y especies dentro del bosque. Este análisis se desarrolla mediante la generación de índices que expresan la ocurrencia e importancia de las especies dentro del ecosistema. Para tal fin, se determinan la abundancia, la frecuencia y la dominancia cuya suma de los valores relativos da como resultados el Índice de Valor de Importancia (en adelante IVI), el resultado del IVI permite confrontar la carga ecológica de las especies dentro del ecosistema estudiado. Cuando los resultados de las 20 especies indicadores son semejantes, nos enfrentamos ante un rodal con semejanzas en cuanto a su dinámica, sitio, estructura y composición florística. La generación del IVI permite hacer una relación directa de las especies de mayor importancia ecológica dentro del ecosistema con los bienes y servicios del bosque y su capacidad en cuanto a captura de CO<sub>2</sub>.

#### 4.5 ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS POTENCIALES DE CARBONO

Comúnmente, existen dos métodos para medir y estimar la biomasa, el método directo o destructivo el cual es empleado para la construcción de ecuaciones alométricas y el método indirecto<sup>5</sup> que hace uso de las ecuaciones alométricas desarrolladas bajo el método directo, para este caso, solamente deben medirse las variables requeridas por la ecuación seleccionada. Para esta investigación se hizo uso del método indirecto para estimar la biomasa aérea o biomasa sobre el suelo, empleando ecuaciones alométricas desarrolladas para el contexto colombiano por Yepes *et al.* (2011), y dos modelos predictivos de biomasa para bosques húmedos, las cuales permiten estimar los contenidos de carbono almacenados en los bosques naturales. Para la estimación de la biomasa aérea se deben tener en cuenta las variables de diámetro a la altura del pecho (DAP en cm) y la densidad de la madera (g en cm<sup>-3</sup>) para la aplicación de la ecuación de la tabla 3, que permite realizar la estimación para el cálculo de biomasa en bosques naturales de todos los árboles con DAP ≥ 10 cm. Esta última es una variable de medición obligatoria para la caracterización del bosque.

**Tabla 3. Ecuaciones alométricas recomendadas para el cálculo de biomasa en bosques naturales de todos los árboles con D ≥ 10 cm. (Álvarez et al. 2011)**

Subconjunto 1. Variables independientes: Diámetro (**D**) y densidad de madera (**ρ**)

$$\ln(BA) = a + b \ln(D)^2 + d(\ln(D))^3 + B \ln(\rho)$$

Tipo de bosque	a	b	c	d	B1	R <sup>2</sup>
Bs-T	4,04	-1,991	1,237	-0,126	1,283	95

Fuente: Adaptado de (IDEAM 2011 p. 50)

Dónde:

**BA:** Biomasa aérea de los árboles en kg.

**D:** Diámetro normal medido a 1,30 m de altura desde el suelo en cm.

**p:** Densidad de la madera en g/cm<sup>3</sup>.

**a,b,c,d y B1:** Constantes del modelo.

**R<sup>2</sup>:** Ajuste del modelo.

Para hallar la densidad de madera Yepes *et al* (2011), proponen usar tres fuentes de información: 1) las bases de datos que estimó el Instituto Panel intergubernamental de Cambio Climático (en adelante IPCC) en 2003 y 2006, 2) la información calculada por Chave *et al.* (2006) y 3) los datos obtenidos por el método de Zanne, Lopez, Coomes,

<sup>5</sup> El método directo se emplea para la formulación de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, la información se colecta cosechando la biomasa de la muestra en el área de interés, posteriormente se seca y se pesa. Seguidamente, el dato arrojado en peso seco es convertido a carbono utilizando el factor de conversión de 0,5, “debido a que se ha establecido que el contenido de carbono corresponde a cerca del 50% de la biomasa” (IPCC 2003. p. 610). El método indirecto emplea las ecuaciones alométricas o factores de expansión construidos a partir del método directo, solamente se requiere medir las variables que requieran los modelos.

Ilic, Jansen, Lewis, Miller, Swenson, Wiemann, y Chave, (2009). Siguiendo con esta metodología, cuando los valores específicos por especie no se encuentran reportados en las bases de datos, se procede a utilizar el promedio del nivel taxonómico superior en su orden género y familia. Dentro de la investigación se desarrollaron aplicaciones de otros modelos predictivos de biomasa, para poder hacer comparaciones en los resultados, éstas se muestran en la tabla 4:

**Tabla 4. Modelos predictivos de biomasa (kilogramos (kg) por árbol) para bosques húmedos.**

MODELO	ECUACIÓN
1	$B = d * e^{(-1,239 + 1,980 * (\ln(dap)) + (0,207 * (\ln(dap))^2 - (0,0281 * (\ln(dap))^3))}$
2	$B = 21,297 - 6,953 * (dap) + 0,740 * (dap)^2$

Fuente: Modelo 1) Tree allometry and improved estimation of carbón stocks and balance in tropical forests (Chave, Andalo, Brown, Cairns, Chambers, Eamus, Fölster, Fromard, Higuchi, Kira, Lescure, Nelson, Ogawa, Puig, Riéra y Yamakura. 2005), Modelo 2) Forma estándar de estimación de biomasa por medio del volumen de un árbol según Chave *et al.*, 2005.

**BA:** Biomasa aérea en kg

**d:** Peso específico básico (gm/cm)<sup>3</sup>

**DAP:** Diámetro a la altura de pecho

Para realizar la conversión de la biomasa aérea a carbono se debe utilizar 0,5 como factor de conversión. Según Yépez *et al.* (2011), en las investigaciones realizadas sobre captura de CO<sub>2</sub> atmosférico en los bosques tropicales, se debe asumir que la biomasa contenida en los árboles, está compuesta por un 50% de carbono. Para hallar el contenido de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq) Yépez *et al.* (2011), propone multiplicar las toneladas almacenadas por el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono, mientras que el IPCC (2003, 2006 p 610) propone emplear el factor de  $44/12 = 3,67$  “este factor resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono, por el peso específico del carbono”.

## 5. CARACTERÍSTICAS DEL ECOSISTEMA Bs-T EN LA ZONA DE ESTUDIO

El área del proyecto está localizada en la parte noroccidental de Colombia, en la región Caribe sobre la jurisdicción del municipio de El Carmen de Bolívar en el departamento de Bolívar. El área de influencia del proyecto forestal en este municipio está bajo la autoridad de los corregimientos Arenal del Sur (Fincas El Recuerdo y Morrocoy) y El Salado (Fincas Carlos Osorio, Galván, San Rafael y Cascajo); los cuales se encuentran ubicados en la zona baja de las estribaciones de los Montes de María, levantados en más de un 80% sobre laderas que corresponden al sistema de lomerío y cerros que rodean toda la población. A continuación (tabla 5) se describe la ubicación político-administrativa de los terrenos cubiertos con los bosques objeto del estudio.

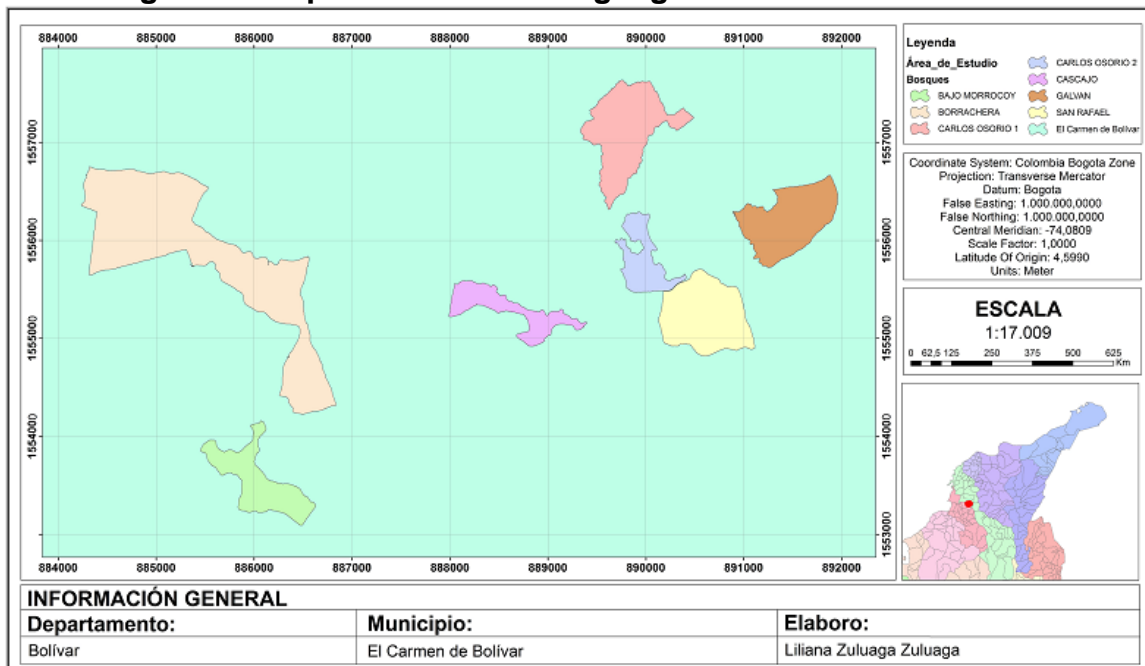


**Tabla 5. Ubicación político administrativa del área de estudio**

Departamento	Municipio	Corregimiento	Vereda	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Bolívar	El Carmen de Bolívar	Arenal del sur	Morrocoy	09°36'51''	75°06'54''
		Arenal del sur	Borrachera	09°36'54''	75°06'54''
		El Salado	San Pedrito	09°41'09''	75°03'56''
		El Salado	El Bálsamo	09°41'10''	75°03'57''

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6. Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio**



Fuente: Elaboración propia

## 5.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO

El municipio de El Carmen de Bolívar fue pujante pero su prosperidad se detuvo por la llegada de grupos armados ilegales lo que ocasionó la pérdida de los cultivos de tabaco y pan coger, sistemas productivos en el cual se basaba la economía agrícola de la región. Históricamente, la vocación productiva de los sectores aledaños a la zona de estudio, ha sido la obtención de alimentos mediante el establecimiento cultivos de pan coger (ñame y yuca), cultivo de tabaco, ajonjolí, maíz a pequeña escala y la apicultura por medio de la implementación de sistemas de economía campesina. Adicionalmente su posición geográfica resulta ser estratégica para facilitar la comercialización de los productos provenientes de los sistemas agrícolas campesinos de la región, debido a

que su localización es equidistante de los centros económicos y posee llegada a los corredores viales de la región Caribe.

Con el recrudecimiento del conflicto armado en Colombia, en las últimas décadas, muchas masas de campesinos se vieron desplazados forzosamente de sus tierras, como resultado de este proceso de abandono de predios, las tierras que en ese momento estaban dedicadas a ganadería extensiva y cultivos agrícolas, entraron en proceso de sucesión vegetal durante 20 años lo cual contribuyó al aumento de la diversidad biológica de la zona donde se ha extinguido prácticamente los relictos de Bs-T.

En la actualidad, los pobladores han regresado a la zona y han recuperado a pequeña escala su economía debido a la mejora en las condiciones de orden público del sector, sin embargo, la configuración agrícola de la región se modificó lo que generó una merma en el acceso de los pobladores a la tierra para su subsistencia, además hubo un crecimiento de la agroindustria y se presentó el fenómeno de la adquisición colectiva y anómala de tierras, y el aglutinamiento de los predios para el establecimiento de sistemas productivos de ganadería extensiva y plantaciones forestales con especies maderables de alto valor comercial. Toda esta situación ha generado un conflicto difícil de asumir por parte de los pobladores, para la obtención de alimentos y la generación de mecanismos y propuestas que permitan generar su propio desarrollo.

Sumado al problema de índole social y económico la presión antrópica que se ha venido generando sobre los parches de vegetación secundaria que se desarrollaron durante este periodo, ha causado una regresión en el proceso de recuperación de estos manchones que han podido convertirse en bosques maduros y representativos de la zona de vida del Bs-T, garantizando el equilibrio ecológico y sirviendo de albergue a un sin número de especies de fauna y flora que mejoraría sustancialmente la diversidad biológica de la zona y que contribuirían a mejorar las condiciones climáticas y la calidad de los pobladores de la región. Debido a estas condiciones de falta de oportunidades y la reconstrucción del tejido social, existen una serie de amenazas asociadas a la falta de oportunidades que ponen en riesgo el equilibrio ecológico y la perpetuidad del Bs-T como lo son: el uso intensivo de los recursos provenientes del bosque para ser empleados como materia prima para fabricación de muebles e inmuebles, asimismo el uso para fabricación de medicamentos caseros, leña y carbón, al tiempo que se ha venido ampliando la frontera agrícola y ganadera.

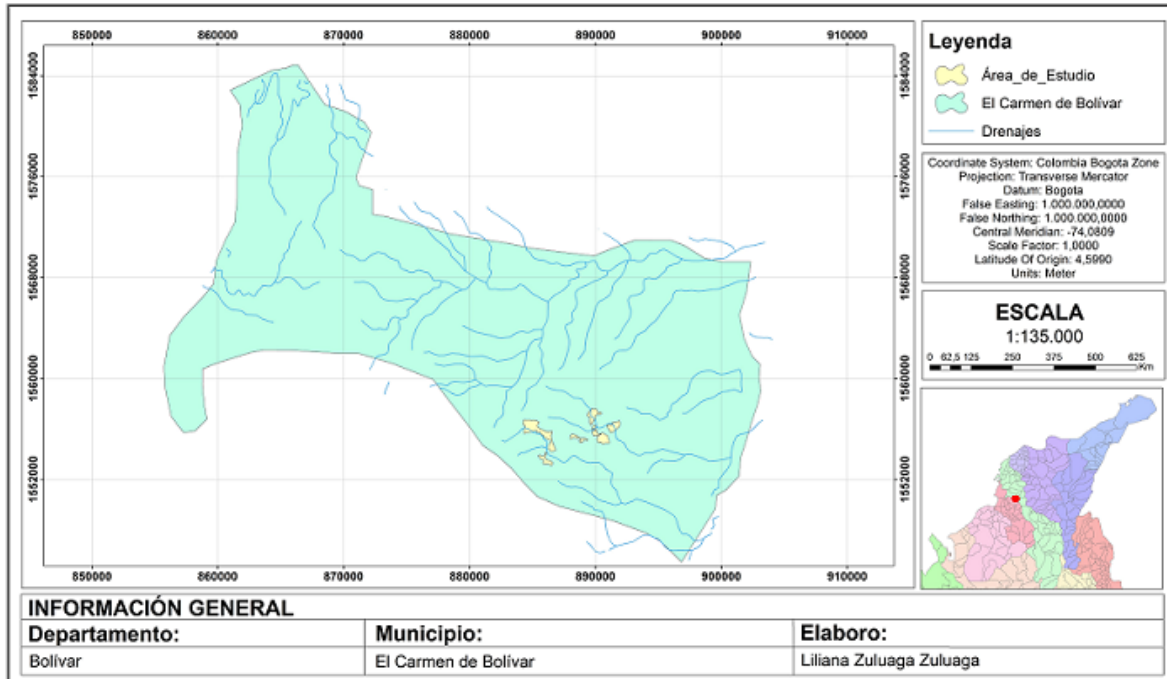
## **5.2 CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **5.2.1 Hidrología**

Los corregimientos de Arenas del sur y El Salado son cruzados por las cuencas hidrográficas de la corrientes del arroyo Alférez y Arenas. La mayor parte de las propiedades rurales en el área fueron cimentados sobre el valle del arroyo Alférez, cuya microcuenca presenta serio problemas de sedimentación y deforestación y en las

épocas de altas pluviosidades ocupa áreas habituales de inundación reposando allí los sedimentos transportados.

**Figura 7. Mapa hidrológico de El Carmen de Bolívar**



Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2. Geología

En su gran mayoría el área está ocupada por rocas sedimentarias que fueron depositadas allí en la época del cuaternario. En el área de influencia se presentan las siguientes Unidades del Cenozoico -Terciario-Mioceno:

- **Te:** Calizas, arcillositas, areniscas y conglomerados. Ambiente marino con influencia deltaica.
- **Tc:** Sedimentitas de ambiente fluvial a lagunar, principalmente arcillositas, areniscas y conglomerados. Localmente mantos de carbón.
- **Formación Jesús del Monte:** Capas gruesas de sublito-arenitas de color gris, verde, oliva claro estratificadas con arcillositas.
- **Formación Rancho:** Compuesta por una sucesión espesa de areniscas resistentes y arcillolitas arenosas.

### 5.2.3 Geomorfología y Relieve

De acuerdo a la clasificación de las subregiones que hace la Corporación Autónoma Regional del canal de Dique (CARDIQUE) y la Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE), la zona de estudio se encuentra bajo la subregión Montes de María. Esta es un área de vida de Bs-T y su paisaje representativo es la zona de montaña. Se evidencia un área significativa con terrenos ubicados en las lomas, los relieves fuertemente ondulados que facilitan la aparición de erosiones en cárcava que pueden ser desde moderadas a ligeras. La topografía en general es ondulada bordeada por valles. Los Montes de María se caracterizan por tener un paisaje de colinas, característicos de las estribaciones septentrionales de la Serranía de San Jerónimo. Abarca una extensión de 1.127 (km<sup>2</sup>) con alturas comprendidas entre 70 (m.s.n.m) y los 600 m.s.n.m.

Esta zona montañosa se constituye como la divisoria de aguas en la margen occidental de la serranía de San Jacinto, las aguas drenan hacia el Mar Caribe, en la margen oriental drenan hacia los ríos San Jorge y Magdalena. La mayoría de los arroyos son de tipo temporal, se fortalecen con los fuertes aguaceros y hay zonas donde se evidencian piedras calizas desmenuzadas lo que hace que el agua se infiltre con agilidad facilitando la formación de manantiales. La inexistencia de aguas superficiales de manera permanente en épocas donde no hay precipitaciones en los periodos muy secos, implica grandes problemas y pérdidas para las actividades productivas como la agricultura y la ganadería, por lo cual los pobladores de la zona han realizado Jagüeyes para el almacenamiento de aguas lluvias. El movimiento de los vientos alisios en los meses de sequía permite que haya regulación en la temperatura, las precipitaciones y la humedad relativa. La temperatura promedio es de 26,8 °C, con precipitaciones que oscilan en rangos de 1.000 y 1.200 (mm) al año; la humedad relativa es del 77% y la distribución de las lluvias durante el año es bimodal, además, el periodo de lluvias en el primer semestre del año es corto y esta seguido por un período seco en los meses de junio y julio que es conocido en la región como el “*veranillo de San Juan*”; en el segundo semestre se presenta la mayor cantidad de precipitación.

En esta subregión se distinguen tres áreas, la primera está compuesta por tierras de colina donde se evidencia un relieve cuyo rango va desde ondulado a ligeramente quebrado, en el cual se presentan pendientes hasta de 30%. Los suelos se han conformado a partir de material sedimentario arcilloso y van desde superficiales a moderadamente profundos, además, el drenaje y la fertilidad son moderadas y algunas zonas son tendientes a la erosión; también hay afectación por sodio y sales y el agua es escasa para cualquier actividad productiva requiere de riego dado que las precipitaciones son insuficientes. Esta zona es de difícil mecanización por las condiciones mencionadas, aunque son aptos para cultivos de maíz y frutales como el melón, patilla y papaya.

La segunda área está ubicada en un sector de colinas y serranías con pendientes superiores al área anterior. Estas están comprendidas en rangos entre 30° a 50° y en

algunas zonas pueden ser mayores. El relieve es fuertemente quebrado y escarpado, los suelos son superficiales y bien drenados y la fertilidad oscila en rangos de baja a moderada, presentando problemas por su alta pendiente de susceptibilidad a la erosión, igualmente, los suelos son ácidos y en ellos se presentan altos contenidos de aluminio, pero bajas cantidades de fósforo asimilable y nitrógeno. Estos suelos deben mantener la cobertura vegetal permanente como mecanismo de protección, aunque en tierras bajas podría ser apto para ganadería extensiva y en algunas zonas para el establecimiento de cultivos de yuca, ñame, tabaco, frutas y aguacate.

El tercer sector está conformado por las planicies y coluvios aluviales de la Región Caribe y los valles interandinos de relieve que va de plano a ligeramente ondulado. Las pendientes que se evidencian en esta zona son menores de 5° y los suelos se han generado a partir de materiales sedimentarios. Los rangos van desde superficiales a profundos y usualmente están bien drenados. La fertilidad va desde moderada a alta y hay algunas limitaciones por pedregosidad o nivel freático. En esta zona los cultivos transitorios son el arroz, yuca, ñame, sorgo, algodón, maíz y también tiene potencial para el establecimiento de cultivos permanentes como plátano y la actividad ganadera semi-intensiva.

#### **5.2.4 Clima**

Según la clasificación climática de Holdridge, el área donde se desarrolló el proyecto de investigación en el municipio de El Carmen de Bolívar se encuentra ubicada en los rangos de la zona de vida Bs-T. La temperatura media anual es de 27 °C con valores máximos de 30 °C y mínimos de 24 °C y una precipitación media anual que oscila entre 1.000 y 1.200 mm teniendo como base informática las estaciones que tienen influencia en la zona. La distribución de las lluvias no es homogénea en los meses del año y existen dos periodos de precipitaciones marcadas, uno mayor y otro menor, estos se encuentran intercalados con los periodos secos. Entre los meses de abril y junio se da aproximadamente el 31,8% del total de precipitaciones del año; el otro periodo húmedo se da en los meses de agosto a noviembre cuyas lluvias representan el 47,1% del total de lluvias del año, dejando sólo un periodo seco muy marcado que se da en el mes de Julio que es conocido en la zona como el “veranillo de San Juan”.

La humedad relativa es del 79% en promedio y oscila en valores de 68 al 88%, concordando los valores mínimos de humedad en los meses de menores precipitaciones y los máximos en el mes de Octubre. El área está influenciada por vientos alisios que provienen del noreste y que influyen directamente el clima de la región, específicamente en lo que tiene que ver con precipitación y humedad relativa. La dirección dominante es de NW 30° con un porcentaje de calma del 95%. En la región del Caribe colombiano los Bs-T están caracterizados por climas cálidos áridos, cálidos semiáridos y cálidos secos, cuya característica particular es que la evapotranspiración supera a las precipitaciones prácticamente en la totalidad el año, dado este fenómeno la zona de vida presenta un déficit hídrico. Esta condición obliga a

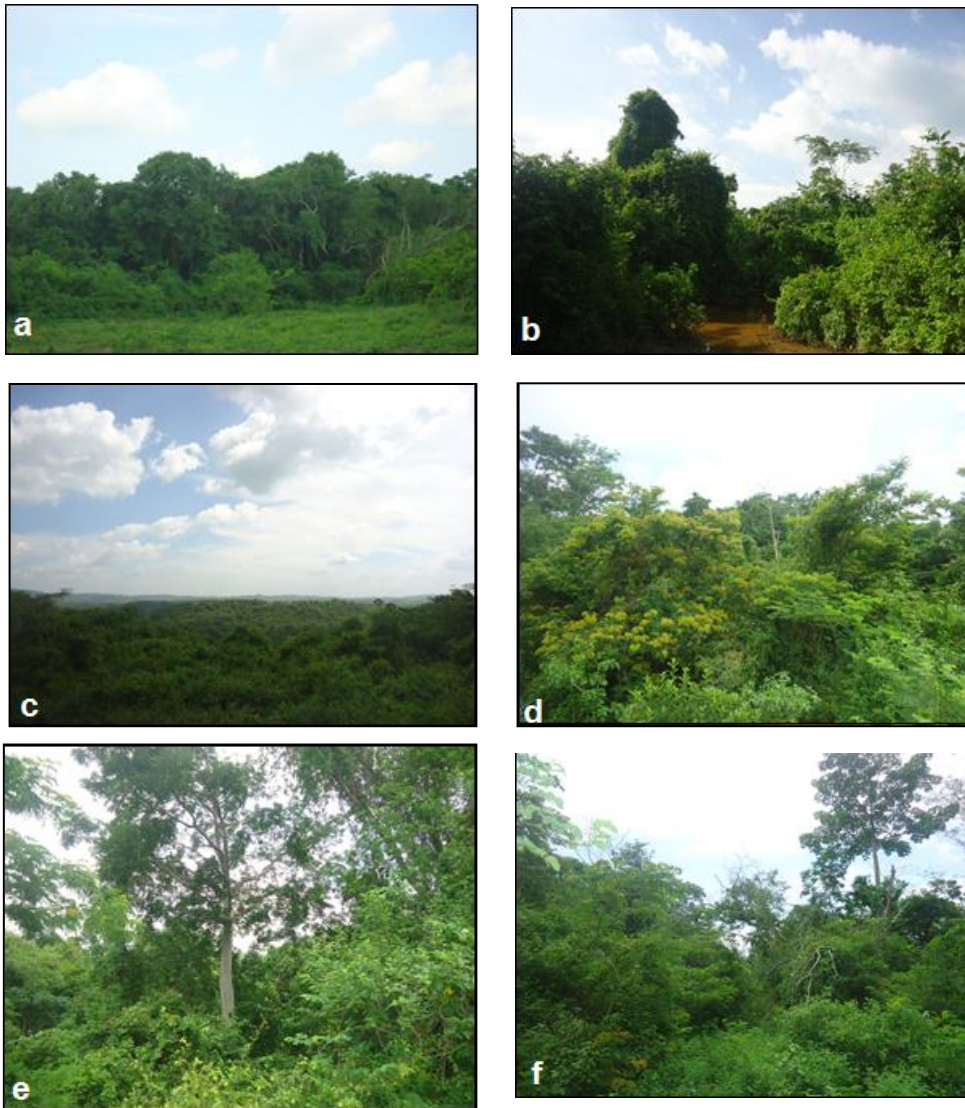
la vegetación, como mecanismo de defensa, a perder parcialmente su follaje una o dos veces al año.

### 5.2.5 Vegetación

La mayor parte de la vegetación se encuentra en estado sucesional, dado que los bosques han estado sometidos a una fuerte presión antrópica y han sido intervenidos. El bosque se encuentra en tal grado de perturbación que prácticamente no existen parches relictuales de Bs-T. De acuerdo con la metodología de Holdridge, al territorio le corresponde el zonobioma Tropical Alternohigrico (ZT-A) que hace referencia a bosques de piso isomegatermico que se caracterizan por tener periodos prologados de sequía. Es muy característico en esta zona evidenciar que los bosques se han convertido en sistemas productivos de ganadería extensiva, donde predominan la grama natural y algunos pastos mejorados. Además las áreas de bosques que han sido desmontadas en su totalidad actualmente son dedicadas a la agricultura de pan-coger con mosaicos de cultivos de maíz, yuca, ñame y cultivos como tabaco y aguacate que abarcan un área considerable. En menor cantidad se evidencian cultivos de mamey y zapote costeño; existen además amplias zonas de rastrojo.

Según CARDIQUE, las especies representativas de esta zona de vida son: *Hura crepitans* (Ceiba de leche), *Machaerium capote* (siete cueros), *Bursera simaruba* (indio en cuero), *Spondias mombin* (jobo); *Cavanillesia platanifolia* (Bongo), *Ceiba pentandra* (Bonga), entre otras. La importancia genética de este tipo de ecosistemas lo ha hecho ser considerado como uno de los más amenazados en el país, lo cual ha causado un alto deterioro de la calidad genética de las especies vegetales y faunísticas de esta zona. Según Gentry (1995 pp. 116-194), “los bosques secos tropicales, presentan la mitad o un tercio del total de especies de plantas que los bosques húmedos y muy húmedos tropicales”. A continuación se muestran varias fotografías de la zona de estudio para cada área donde se hicieron pruebas de muestreo:

**Figura 8. Área de estudio Bs-T en El Carmen de Bolívar**



Relictos de bosque a) Bajo de Morrocoí. b) Borrachera. c) Carlos Osorio 1. d) Carlos Osorio 2. e) Cascajo. F) Galván.

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.6 Fauna

La fauna del municipio del Carmen de Bolívar ha sido afectada fuertemente por la presión antrópica, especialmente la pérdida de su hábitat natural que ha ocasionado la desaparición de especies y la migración de otras hacia ecosistemas menos intervenidos. Según el inventario de flora y fauna realizado por Sampedro, Gómez y Ballut, (2012), la estructura de fauna en el bosque es la siguiente:

Aves:

- Garza garrapatera (*Bubulcus ibis*).
- Gavilán (*Buteo magnirostris*).
- Guacharaca (*Ortalis gorulla*).
- Carpintero (*Dryocopus lineatus*).
- Canario (*Sicalis flaveola*).
- Azulejo (*Traupis episcopus*).
- Toche (*Icterus chrysater*).
- Lechuza (*Otus cohiba*) entre otros.

Reptiles:

- Culebra candelilla (*Epicrater cenchria*).
- Mapana rayada (*Coralus enydris*).
- Coral (*Eritrolamprus bizonus*).
- Patoquillo (*Bothrops nasuta*).
- Pasa arroyo (*Basiliscus basiliscus*).
- Iguana (*Iguana iguana*).
- Lobo pollero (*Tpinambis tequixis*).

Mamíferos:

- Armadillo (*Dasybus novemacinetus*).
- Mono colorado (*Alouatta seniculus*).
- Mono titi (*Sanguinus oedipus*).
- Mico prieto (*Areles paniscua*).
- Mono cariblanco (*Cebus capucinus*).
- Marta de noche (*Aotus lemurinus*).
- Conejo (*Sylvilagus deridanus*).
- Zorro chucho (*Didelphys marsupialis*).
- Oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*).

Peces:

- Moncholo (*Hoplias malabaricus*).
- Sardina (*Astyanax fasciatus*).
- Barbul (*Pimelodus clarias*).
- Mojarra (*Petenia kraussii*).
- Coroncoro (*Pamaque gibbosus*).
- Mojarra lora (*Eugerres sp.*).



### **5.2.7 Suelos**

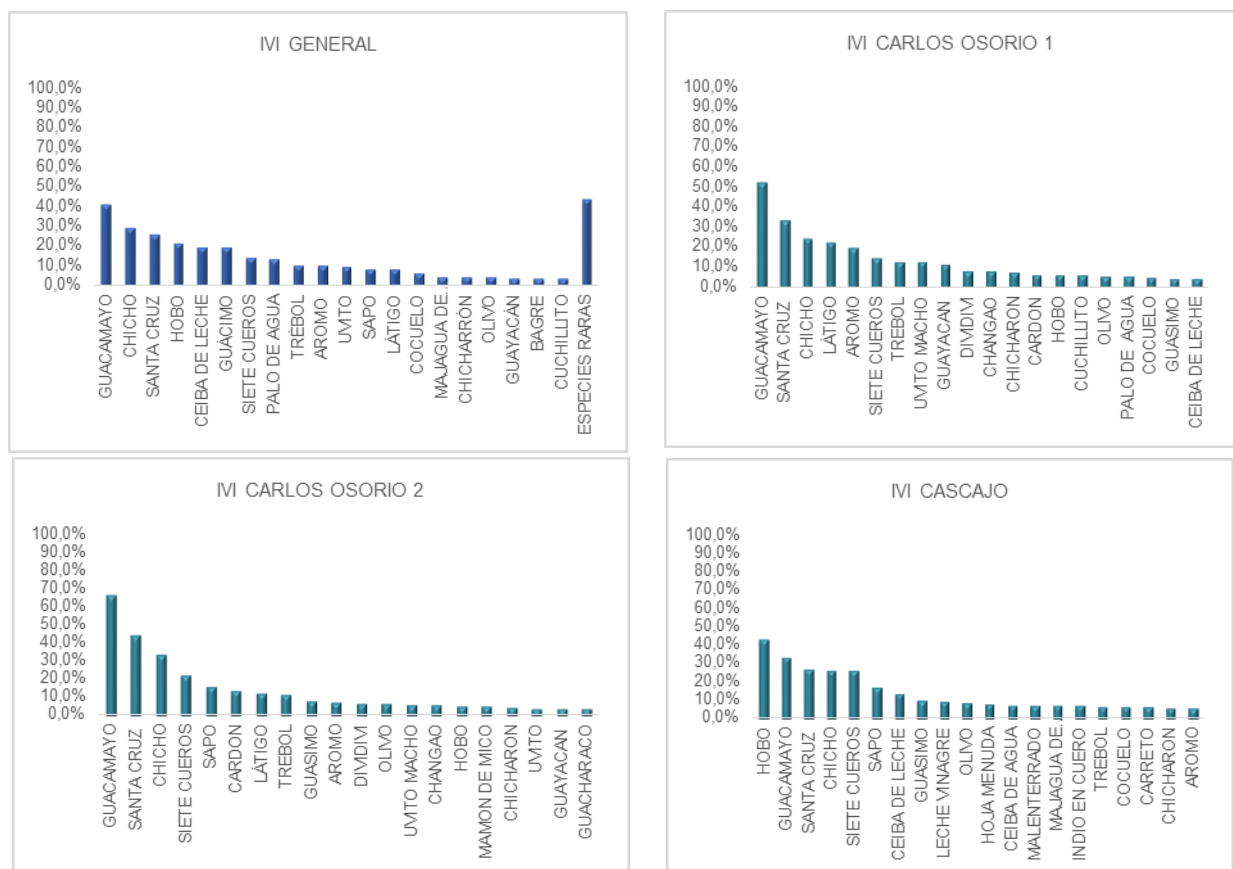
Los suelos de la región se caracterizan por un clima cálido, árido y semiárido, con relieve que va desde ondulado a escarpado. Se estima que han sido originados a partir de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, moderadamente evolucionados y de fertilidad baja a moderada. El uso actual del suelo en la mayoría del área está cubierto por pastos naturales, pastos mejorados, rastrojos y cultivos de pan coger. La actividad agrícola ocupa un área importante basada en cultivos transitorios sobresaliendo el tabaco negro como el que mayor área ocupa, acompañado por cultivos de ñame, maíz, yuca y ajonjolí.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 ANALISIS ESTRUCTURAL DE LAS ZONAS DE BOSQUE

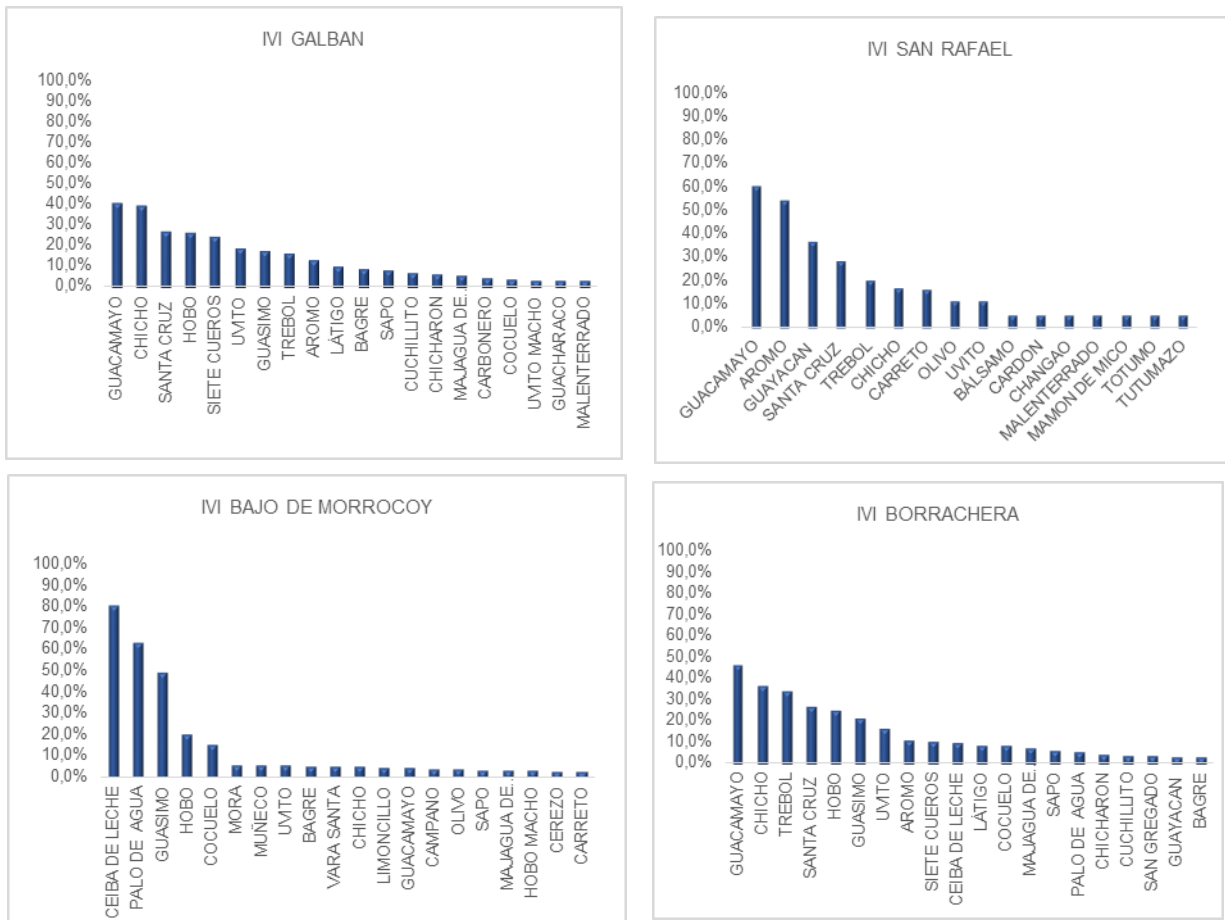
En total se establecieron 353 transeptos<sup>6</sup> en los que se realizó la individualización de las especies, la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) y la estimación de la altura para los arboles con  $DAP \geq 10\text{cm}$  denominados fustales. El estudio de la estructura horizontal del bosque permitió la identificación de las especies de mayor importancia ecológica en el ecosistema, donde se hallaron los índices convencionales de abundancia, frecuencia y dominancia en datos absolutos y relativos para 63 especies identificadas en el área de estudio. Por últimos, mediante la suma de los valores relativos de los índices convencionales se obtuvo el Índice de Valor de Importancia (IVI) que se relaciona en el gráfico 1.

Figura 9. I.V.I. para cada uno de los bosques evaluados.



<sup>6</sup> La evaluación se desarrolló en las 353 ha descritas con anterioridad.

Evaluación estructural del ecosistema bosque seco tropical en el municipio de El Carmen de Bolívar (Bolívar) y determinación de sus beneficios ecosistémicos.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los resultados de IVI general, las especies raras representan el 43,1% del IVI para la totalidad de los bosques, se puede concluir entonces que el bosque es heterogéneo debido a que valores más altos de IVI en especies raras que en especies de mayor importancia, concluyen este concepto.

Realizando un análisis por cada uno de los bosques evaluados, se evidencia un comportamiento similar de las especies, lo cual ratifica la importancia ecológica que tiene el Guacamayo (*Albizia niopoides*) dentro del ecosistema en general (Gráfica 2). En 5 de los 7 bosques evaluados se refleja esta especie como la de mayor abundancia y dominancia dentro del ecosistema, sin ser necesariamente la de mayor frecuencia de aparición dentro de las unidades de muestreo. Este comportamiento se puede justificar debido a las características fenológicas propias de la especie que le permiten la fácil adaptación a las condiciones propias de Bs-T. El análisis por bosque lleva a determinar que el comportamiento en general es variado pero tendiente a la homogeneidad, caso contrario al que se evidencia al realizar el análisis general, en el que un mayor peso ecológico en las especies raras refleja una mayor tendencia a la heterogeneidad por la riqueza de especies.

Habitualmente se utiliza el coeficiente de mezcla como primer indicativo de la proximidad a la heterogeneidad de las especies en el ecosistema, sin embargo, para este caso no es posible la utilización del dato debido a la diferencia de área entre cada uno de los bosques. Con el fin de corroborar si el comportamiento es de homogeneidad o heterogeneidad de los bosques, se realizaron histogramas de frecuencia en los que se hace una agrupación de las especies en categorías de frecuencia absoluta establecidas en la literatura (Tabla 6). Los gráficos de frecuencia donde se evidencian *valores altos en clases IV - V y valores bajos en I - II, indican la existencia de una composición florística homogénea o parecida, mientras que altos valores en las clases I - II, indican una heterogeneidad florística acentuada.* Melo, y Vargas (2003 p. 55).

**Tabla 6. Definición de las clases de frecuencia para la construcción de los histogramas**

CLASE	FRECUENCIA ABSOLUTA	DETALLE
A = I	1 - 20 %	Heterogéneo
B = II	21 - 40%	Heterogéneo
C = III	41 - 60%	Neutro
D = IV	61 - 80%	Homogéneo
E = V	81 - 100%	Homogéneo

Fuente: adaptación a partir de Melo y Vargas (2003 p. 55)

Los histogramas de frecuencia realizados para los bosques evaluados, reflejan una heterogeneidad marcada de cada uno de los relictos, debido a que todas las frecuencias en todas las áreas analizadas se ubican en la categoría I. Esto determina que estos bosques son zonas de gran variedad y riqueza florística, sin embargo no lo suficiente para considerarse como relictos de Bs-T debido a que se encuentra por debajo del número de especies que para las condiciones de la zona Caribe deberían presentarse por unidad de área, sin embargo los datos promedios por especie son un indicativo del desarrollo de los bosques tendiente a la madurez.

En la tabla 7 se relaciona el listado maestro de especies de mayor peso ecológico halladas en el área de estudio, haciendo relación además de los promedio en DAP, altura y Área Basal (G), calculada para cada uno de los individuos observados. Es importante resaltar que en estudios previos realizados en Bs-T por el IAVH (1998) se logró evidencia que el ecosistema típico de Bs-T en muestreos realizados de 0.1 ha, y teniendo en cuenta para el análisis solamente los individuos fustales y latizales, el número de especies encontradas se ubican en rangos de 50 a 70, siendo el valor promedio de 64.9 para las diferentes zonas del país que tienen remanentes de Bs-T, por tanto se espera que *“los remanentes en Colombia presentan valores de riqueza de plantas esperados para el Bosque seco Tropical, con un promedio de 58.12 (n = 8; rango 55-67) especies con DAP > 2.5 cm en 0.1 ha”* (IAVH, 1995, 1997; Gentry 1995).

Teniendo en cuenta estas cifras se puede inferir que los bosques estudiados en El Carmen de Bolívar han perdido sus características relictuales al presentar valores inferiores a los mencionados anteriormente, dando como promedio para el muestreo de 0,1 ha un valor de 37,8 especies, quedando muy por debajo del rango tipificado para este tipo de bosques, por tanto estas formaciones vegetales no pueden considerarse como una muestra representativa de Bs-T; la vegetación que se exhibe es propia de esta zona de vida, sin embargo, tienen un alto grado de intervención encontrándose en un proceso de sucesión secundaria y evidenciándose la pérdida de especies valiosas de este ecosistema, adicionalmente por estar fragmentados y no tener una secuencia dentro del paisaje, están imposibilitados para el intercambio genético, lo cual deja los bosques expuestos a la endogamia (ver figura 6).

**Tabla 7. Listado de especies de mayor peso ecológico / datos promedios hallados**

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	DATOS PROMEDIOS / ESPECIE		
		DAP(cm)	AT (m)	G (m <sup>2</sup> )
GUACAMAYO	<i>Albizia niopoides</i>	13,24	8,12	0,0147
SANTA CRUZ	<i>Astronium graveolens</i>	12,01	7,01	0,0117
CHICHO	<i>Diphysa carthagenensis</i>	13,61	7,71	0,0157
SIETE CUEROS	<i>Machaerium capote</i>	12,58	7,61	0,0130
GUACIMO	<i>Guazuma ulmifolia</i>	16,33	7,52	0,0236
LÁTIGO	<i>Machaerium arboreum</i>	11,93	6,50	0,0114
TREBOL	<i>Platymiscium pinnatum</i>	13,50	8,06	0,0153
AROMO	<i>Acacia farnesiana</i>	13,42	6,47	0,0151
HOBO	<i>Spondias mombin</i>	20,17	8,82	0,0386
SAPO	<i>Casearia praecox</i>	14,35	7,44	0,0170
COCUELO	<i>Lecythis minor</i>	15,56	8,17	0,0222
CEIBA DE LECHE	<i>Hura crepitans</i>	26,15	7,89	0,0643
UVITO	<i>Cordia dentata</i>	13,53	6,51	0,0154
PALO DE AGUA	<i>Bravaisia integerrima</i>	25,84	9,23	0,0592
GUAYACAN	<i>Bulnesia arborea</i>	16,05	6,98	0,0228
OLIVO	<i>Olea europaea</i>	16,46	6,64	0,0245
MAJAGUA DE GALLINA	<i>Lonchocarpus cf</i>	15,16	7,95	0,0237
CHICHARON	<i>Caesalpinia coriaria</i>	14,82	7,77	0,0186
CUCHILLITO	<i>Cassia emarginata</i>	14,57	7,20	0,0188

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se evidencia en listado de especies de mayor peso ecológico con sus datos promedio, sin embargo haciendo la sumatoria de áreas basales<sup>7</sup> de los fustales para la totalidad de especies tienen gran representatividad dentro de la muestra total, dado que su valor es de 1,122 m<sup>2</sup>, si se compara con el área evaluada 3,530.000 m<sup>2</sup> en

<sup>7</sup> Suma por unidad de área de todos los fustes a nivel del Diámetro a la Altura de Pecho (DAP), este dato es una medida directa de la densidad, para un sitio y edad específica.

total, la ocupación del sitio con estos valores esta representa en un 11% del área total<sup>8</sup>, sin embargo según Brown y Lugo 1982, Murphy y Lugo 1986, Peña, Claros, Poorter, Alarcón, Blate, Choque, Fredericksen, Justiniano, Leaño, Licona, Pariona, Putz, Quevedo y Toledo 2012, en los Bs-T los valores de complejidad estructural son mucho más bajos comparativamente con otro tipo de bosques del trópico, teniendo áreas basales comprendidas en rangos de 30-75%, esto indica que el bosque presenta densidades medias y una representación en riqueza de especies que están por debajo de los rangos adecuada para este tipo de ecosistemas.

En La tabla 8 se presentan los índices convencionales para la evaluación de la estructura horizontal del bosque, se logra identificar al Guacamayo (*Albizia niopoides*) como la especie de mayor peso ecológico dentro del ecosistema, como factor fundamental para este resultado se encuentra la frecuencia que presenta la especie ya que los 944 individuos hallados, están distribuidos en más del 61% de los transeptos evaluados, lo que permite que se ubique por encima de especies que reflejan un mayor dominio en el ecosistema y ocupan mayor área en m<sup>2</sup> representados en el área basal, por ejemplo, la Ceiba de Leche (*Hura crepitans*).

**Tabla 8. Índices convencionales para la evaluación de la estructura horizontal del bosque**

ESPECIE	n	ABUNDANCIA		FRECUENCIA		DOMINANCIA		IVI
		ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL	
Nombre Vernáculo		Aa	Ar (%)	Fa	Fr (%)	Da	Dr (%)	
Guacamayo	944	944	17,9%	222	11%	13,86	12,3%	40,8%
Chicho	569	569	10,8%	219	10%	8,91	7,9%	29,1%
Santa Cruz	560	560	10,6%	190	9%	6,53	5,8%	25,4%
Hobo	302	302	5,7%	105	5%	11,65	10,4%	21,1%
Ceiba De Leche	224	224	4,2%	47	2%	14,41	12,8%	19,3%
Guácimo	357	357	6,8%	99	5%	8,41	7,5%	19,0%
Siete Cueros	276	276	5,2%	121	6%	3,57	3,2%	14,2%
Palo De Agua	158	158	3,0%	40	2%	9,36	8,3%	13,2%
Trébol	187	187	3,5%	88	4%	2,86	2,5%	10,3%
Aromo	193	193	3,7%	75	4%	2,92	2,6%	9,8%
Uvito	173	173	3,3%	81	4%	2,66	2,4%	9,5%
Sapo	131	131	2,5%	78	4%	2,23	2,0%	8,2%
Látigo	183	183	3,5%	55	3%	2,10	1,9%	7,9%
Cocuelo	92	92	1,7%	56	3%	2,04	1,8%	6,2%
Majagua De Gallina	60	60	1,1%	41	2%	1,42	1,3%	4,3%
Chicharon	61	61	1,2%	42	2%	1,13	1,0%	4,2%

<sup>8</sup> Se está dejando por fuera de este análisis los brinzales y latizales que incrementaría en % de ocupación del área.

Olivo	53	53	1,0%	40	2%	1,30	1,2%	4,1%
Guayacán	55	55	1,0%	30	1%	1,25	1,1%	3,6%
Bagre	57	57	1,1%	26	1%	1,26	1,1%	3,4%
Cuchillito	47	47	0,9%	35	2%	0,88	0,8%	3,3%
Especies raras		596	11,3%	418	20%	13,49	12,0%	43,1%
<b>Total general</b>		<b>5278</b>	<b>100%</b>	<b>2108</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>300%</b>

Fuente: Elaboración propia

Con el resultado del análisis estructural anterior se puede concluir que la formación vegetal estudiada exhibe características en especies de Bs-T sin embargo no puede considerarse como un relicto representativo de este tipo de ecosistema porque presenta debilidades estructurales, esto debido a que la variedad de condiciones que requieren los Bs-T para desarrollarse, son similares a las que buscan las comunidades para establecerse, inicialmente por la salubridad del ambiente, donde no existen extremos climáticos que confluyan en la misma área, la escases de plagas y enfermedades propias de zonas más húmedas lo cual hace los sistemas productivos menos vulnerables, las condiciones de suelo óptimas para sistemas productivos agrícolas por su alta fertilidad, y la facilidad para realizar labores de quema para el establecimiento de cultivos. Esto se constituye como una amenaza antropogénica para los ecosistemas Bs-T, que si bien jamás han sido extensas en las últimas décadas se han reducido dramáticamente. Es por esta razón que *“las fallas tectónicas y las regiones con terreno abrupto y escarpado que son difíciles de usar por el ser humano, son determinantes para la preservación de los parches de bosque seco que aún quedan en el territorio colombiano”* (Pizano y García 2014 p. 34)

## 6.2 CAPTURA DE CO<sub>2</sub> / CARBONO EQUIVALENTE (eq)

En esta sección se hace una aproximación a las toneladas de carbono secuestrado en la formación vegetal estudiada, se emplearon para su cálculo una ecuación alométrica y dos modelos predictivos de biomasa área, con el fin de realizar las estimaciones de biomasa por encima del suelo en el compartimento fustal únicamente y posteriormente hacer una aproximación al valor económico del secuestro de carbono obtenido sobre la base del cálculo de biomasa aérea.

En la tabla 9 se presenta la información sobre densidad de árboles / ha en los diferentes relictos de bosques estudiados y su incidencia en la captura de CO<sub>2</sub> haciendo uso de las tres ecuaciones seleccionadas para este estudio.

**Tabla 9. Densidad /árboles/ha /Captación de CO<sub>2</sub>/Toneladas / ha**

BOSQUE	DENSIDAD	TONELADAS / HA		
	ARBOLES/ HECTÁREA	IDEAM	CHAVE (2005)	IPCC
Bajo de Morrocoi	41.411	18,74	149,48	194,79
Borrachera	6.457	72,59	190,08	178,52
Carlos Osorio 1	42.320	23,06	51,67	43,50
Carlos Osorio 2	17.763	14,07	24,97	19,53
Cascajo	24.628	15,75	51,01	48,78
Galván	100	13,87	30,25	26,12
San Rafael	5.075	7,55	15,66	12,30
<b>Promedios</b>	<b>19679</b>	<b>23,66</b>	<b>73,30</b>	<b>74,79</b>

Fuente: Elaboración propia

Estos bosques se han visto sometidos a procesos muy dinámicos de intervención antrópica y cambio de uso del suelo, han sido deforestados, por tanto se consideró interesante realizar el análisis de captura de CO<sub>2</sub> teniendo en cuenta las densidades/ha. Los resultados permiten estimar las toneladas de CO<sub>2</sub> eq almacenado, asociado a diferentes densidades de vegetación, es claro que la tendencia es a mayor densidad de árboles/ha, mayor captura de CO<sub>2</sub>, sin embargo, llama la atención el resultado del bosque Galván comparativamente con los demás bosques ya que se evidencia muy poca densidad de árboles en el compartimento fustal (100 árboles/ ha), teniendo 13,87 toneladas de CO<sub>2</sub> eq almacenado en la biomasa, encontrándose por encima de bosques como San Rafael que tiene 5.075 árboles/ hectárea y tiene 7,55 toneladas de CO<sub>2</sub> eq almacenado en la biomasa, , esto permite inferir que los bosques que presentan menor densidad por hectárea pero mayor captura de CO<sub>2</sub>, tiene mayor desarrollo, debido a que poseen mayor biomasa, los árboles son de porte alto, sin embargo esta condición los pone en riesgo de ser deforestados, por las características de desarrollo del fuste (madera).

A continuación se presentan los datos totales de carbono equivalente almacenado por cada uno de los bosques estudiados, encontrando que las cifras no están asociadas al área sino al desarrollo como tal de la masa boscosa (Tabla 10).



**Tabla 10. Captación de CO<sub>2</sub>/ Toneladas por el total del bosque**

<b>BOSQUE</b>	<b>IDEAM</b>	<b>CHAVE (2005)</b>	<b>IPCC</b>
Bajo de Morrocoi	356,09	2840,08	3700,93
Borrachera	10670,20	27942,35	26242,27
Carlos Osorio 1	576,48	1291,87	1087,41
Carlos Osorio 2	886,45	1573,35	1230,28
Cascajo	393,85	1275,31	1219,45
Galván	790,52	1724,21	1488,99
San Rafael	60,43	125,25	98,4
<b>Total general</b>	<b>13734,02</b>	<b>36772,41</b>	<b>35067,73</b>

Fuente: Elaboración propia

La captación de CO<sub>2</sub> es directamente proporcional al estado de sucesión del bosque (a mayor edad, mayor captación, esto se explica dado que la biomasa depende del tipo y estado de desarrollo de los bosques. El crecimiento depende del patrimonio genético de las especies vegetales, del estado de desarrollo, de los factores ambientales y de la influencia antrópica, es decir, que un bosque que presenta mayor equilibrio ecológico y menor presión antrópica, tiene tasas de captura de carbono más elevadas. Los resultados matemáticos del estudio indican que no es el tamaño del bosque el factor determinante en la captura de carbono. Si bien es cierto que a mayor área se tiene una mayor probabilidad de captura, quien define eso es el tipo y desarrollo de las especies presentes en él. Esa afirmación se puede validar al confrontar los datos ya que en la mayoría de los cálculos de captura es el Borrachera quien presenta una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> capturado / ha, comparativamente con El Bajo de Morrocoi que presenta más del doble de los individuos y las cifras de captura de CO<sub>2</sub> son inferiores.

En la tabla 11 se agrupan los datos de captura de CO<sub>2</sub> por familia taxonómica encontrando que los bosques estudiados no presentan dominio de un grupo particular de especies vegetales, sino que su característica principal es que se encuentran mezclados de una variedad de especies las cuales pertenecen a la familia FABACEAE, en su gran mayoría.

**Tabla 11. Captación de CO<sub>2</sub> / Promedio / Toneladas / Familia**

<b>FAMILIA</b>	<b>IDEAM</b>	<b>CHAVE (2005)</b>	<b>IPCC</b>
APOCINACEAE	96,17	278,33	0,22
MYRTACEAE	92,32	301,31	0,25
MALPIGHIACEAE	79,71	459,12	0,44
MIMOSASEAE	74,41	94,50	0,07
FLACOURTIACEAE	69,99	222,18	0,22
BURSERACEAE	68,52	544,26	0,61
COCHLOSPERMACEAE	63,33	115,40	0,11
CACTACEAE	61,89	137,88	0,14
ACANTHACEAE	48,08	431,67	0,63
MUNTINGIACEAE	29,62	138,12	0,28
CAESALPINIACEAE	0,14	0,20	0,10
ZYGOPHYLLACEAE	0,13	0,28	0,17
RUBIACEAE	0,12	644,12	0,44
OLEACEAE	0,11	0,37	0,25
LECYTHIDACEAE	0,10	434,00	0,34
SAPINDACEAE	0,10	0,25	0,18
BIGNONIACEAE	0,10	251,95	0,21
SALICACEAE	0,09	0,19	0,15
CAPPARACEAE	0,09	0,15	0,11
ANACARDIACEAE	0,08	0,18	0,16
FABACEAE	0,08	0,19	0,15
MORACEAE	0,07	301,60	0,31
POLIGONACEAE	0,07	324,57	0,35
STERCULIACEAE	0,06	301,12	0,36
BORAGINACEAE	0,05	0,18	0,23
EUPHORBIACEAE	0,04	328,02	0,54
BOMBACACEAE	0,04	349,53	0,59

Fuente: Elaboración propia.

Según el promedio de captura de CO<sub>2</sub>/ especies consolidadas por familia, las pertenecientes a las APOCINACEAE, son las que presenta mayores tasas de captura, sin embargo solo está representada por 1 sola especie en la totalidad de los bosques, caso contrario a la familia FABACEA que presenta mayor captación de CO<sub>2</sub> dentro del bosque, con más del 50% del total de CO<sub>2</sub> capturado al aplicar la fórmula del IDEAM y más del 30% en los cálculos realizados con otros métodos. Esto se fundamenta en la presencia de la familia dentro del área de estudio ya que se encuentra representada por más de 2.600 individuos, es decir, el 49,6% de la muestra. La distribución de esta familia es Cosmopolitan, habita en todo el mundo a excepción de las zonas antárticas, es la tercera familia con más riqueza y dominancia de especies en lo ecosistemas

nativos de todas las zonas, la FABACEAE es la familia con mayor representación en los bosques secos africanos y americanos. Esta familia no solo es importante por su representatividad dentro del ecosistema bs-T estudiado, sino también por su simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, que se alberga en la raíz de la planta, fijando el nitrógeno requerido para poder desarrollarse y mejorar las condiciones de suelo, evitando además, acabar con la reservas de este nutriente en el mismo.

Vale la pena resaltar que esta condición de dominancia de las FABACEAS en estos bosques, puede limitar la expansión de estos relictos en la zona, debido a que desde el punto de vista edáfico, las especies propias de esta familia tienen sistemas radiculares que profundizan en el suelo en lugar de extenderse a la superficie esta puede ser una limitante principal para su expansión debido a que las condiciones de suelo para este tipo de especies, no puede tener corazas ni material rocoso que impida su desarrollo radicular, porque no podrían adaptarse, por tanto se disminuye el abanico de oportunidades para expandir estos bosques.

A continuación se desglosa la información de los datos promedios obtenidos por las especie de mayor peso ecológico en el área de estudio, en función de las variables evaluadas.

**Tabla 12. Datos promedio por especies de mayor peso ecológico**

NOMBRE COMUN	n	DATOS PROMEDIOS / ESPECIE					
		DAP(cm)	AT (m)	G (m <sup>2</sup> )	CAPTURA DE CO2		
					IDEAM	CHAVE (2005)	IPCC
GUACAMAYO	944	13,24	8,12	0,0147	0,075	0,149	0,128
SANTA CRUZ	560	12,01	7,01	0,0117	0,105	0,197	0,131
CHICHO	569	13,61	7,71	0,0157	0,084	0,22	0,185
SIETE CUEROS	276	12,58	7,61	0,013	0,098	0,198	0,141
GUACIMO	357	16,33	7,52	0,0236	0,058	0,301	0,362
LÁTIGO	183	11,93	6,5	0,0114	0,096	0,221	0,164
TREBOL	187	13,5	8,06	0,0153	0,093	0,179	0,133
AROMO	193	13,42	6,47	0,0151	0,076	0,163	0,143
HOBO	302	20,17	8,82	0,0386	0,045	0,143	0,199
SAPO	131	14,35	7,44	0,017	0,088	0,191	0,15
COCUELO	92	15,56	8,17	0,0222	0,104	0,43	0,329
CEIBA DE LECHE	224	26,15	7,89	0,0643	0,04	0,345	0,573
UVITO	173	13,53	6,51	0,0154	0,051	0,203	0,261
PALO DE AGUA	158	25,84	9,23	0,0592	0,048	0,432	0,634
GUAYACAN	55	16,05	6,98	0,0228	0,127	0,282	0,17
OLIVO	53	16,46	6,64	0,0245	0,113	0,366	0,252
MAJAGUA DE	60	15,16	7,95	0,0237	0,086	0,249	0,209

---

GALLINA							
CHICHARON	61	14,82	7,77	0,0186	0,074	0,287	0,25
CUCHILLITO	47	14,57	7,2	0,0188	0,091	0,247	0,197

---

Fuente: Elaboración propia

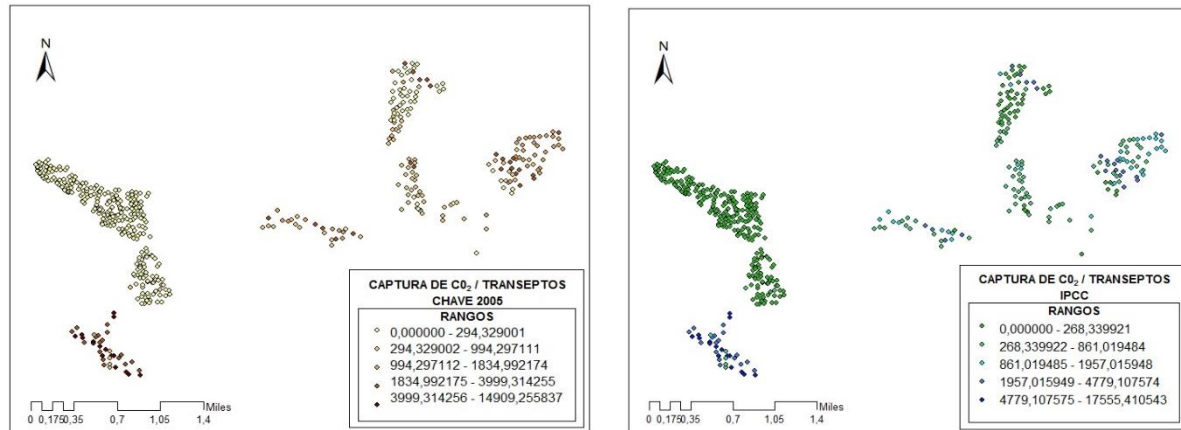
Es de anotar que a pesar de que la abundancia de los individuos y su área de ocupación son factores de evaluación decisiva dentro de la valoración de su importancia ecológica, no son variables que expliquen una relación directa entre estas y la captura de CO<sub>2</sub>, no se evidencia correlación con ninguna de las variables tenidas en cuenta para el estudio, lo que permite inferir que las características fenológicas de cada una de las especies juegan un papel importante en el comportamiento en la relación captura CO<sub>2</sub> / especie.

Es importante para este análisis y dado que ninguna de las variables explica en su totalidad a que está asociada la captura de CO<sub>2</sub> por especie, tener en cuenta como una variable importante, el metabolismo de las plantas vasculares en la fijación fotosintética del carbono<sup>9</sup>. Ya que teniendo en cuenta este proceso, las tasas de captura de carbono pueden ser más o menos eficientes teniendo en cuenta que estas son adaptaciones de las plantas a las condiciones medio ambientales en donde se desarrollan, para el caso del Bs-T se evidencian condiciones de estrés hídrico y de temperaturas extremas, por tanto las adaptaciones evolutivas en el metabolismo de las plantas podrían tener efecto sobre la captura de CO<sub>2</sub>, debido a que este proceso se ve afectado por las variaciones climáticas. En los siguientes mapas (ver figura 9), se observa la estimación por transepto de los puntos de concentración de carbono para la fórmula de Chave (2005) y por el IPCC.

---

<sup>9</sup> Las plantas C<sub>3</sub>, tienen mayor desgaste energético para la fijación de CO<sub>2</sub>, esto se relaciona con la presión que ejerce el medio ambiente sobre los procesos internos, lo que altera la relación CO<sub>2</sub> fijado vs. H<sub>2</sub>O transpirada, lo que la introduce en un proceso de foto respiración donde se libera CO<sub>2</sub>, sin embargo son más eficientes en secuestro de carbono siempre y cuando no existas condiciones de extrema sequía y déficit hídrico, la mayoría de plantas vasculares (85%) tienen este tipo de metabolismo. Las plantas C<sub>4</sub> y CAM son producto de las adaptaciones de las plantas donde se involucran mecanismos especializados para la captación y movilización del CO<sub>2</sub> a los sitios de fijación, los cambios en fisiología y estructura de las especies C<sub>4</sub> y CAM frente a las C<sub>3</sub> son el resultado de la presión selectiva del ambiente sobre el uso eficiente del agua frente a la asimilación de CO<sub>2</sub>. Las plantas C<sub>4</sub> y CAM presentan adaptaciones específicas para ambientes en donde la pérdida de agua acoplada a la ganancia de CO<sub>2</sub> pueda comprometer la capacidad de crecimiento y reproducción o incluso la supervivencia de la planta.

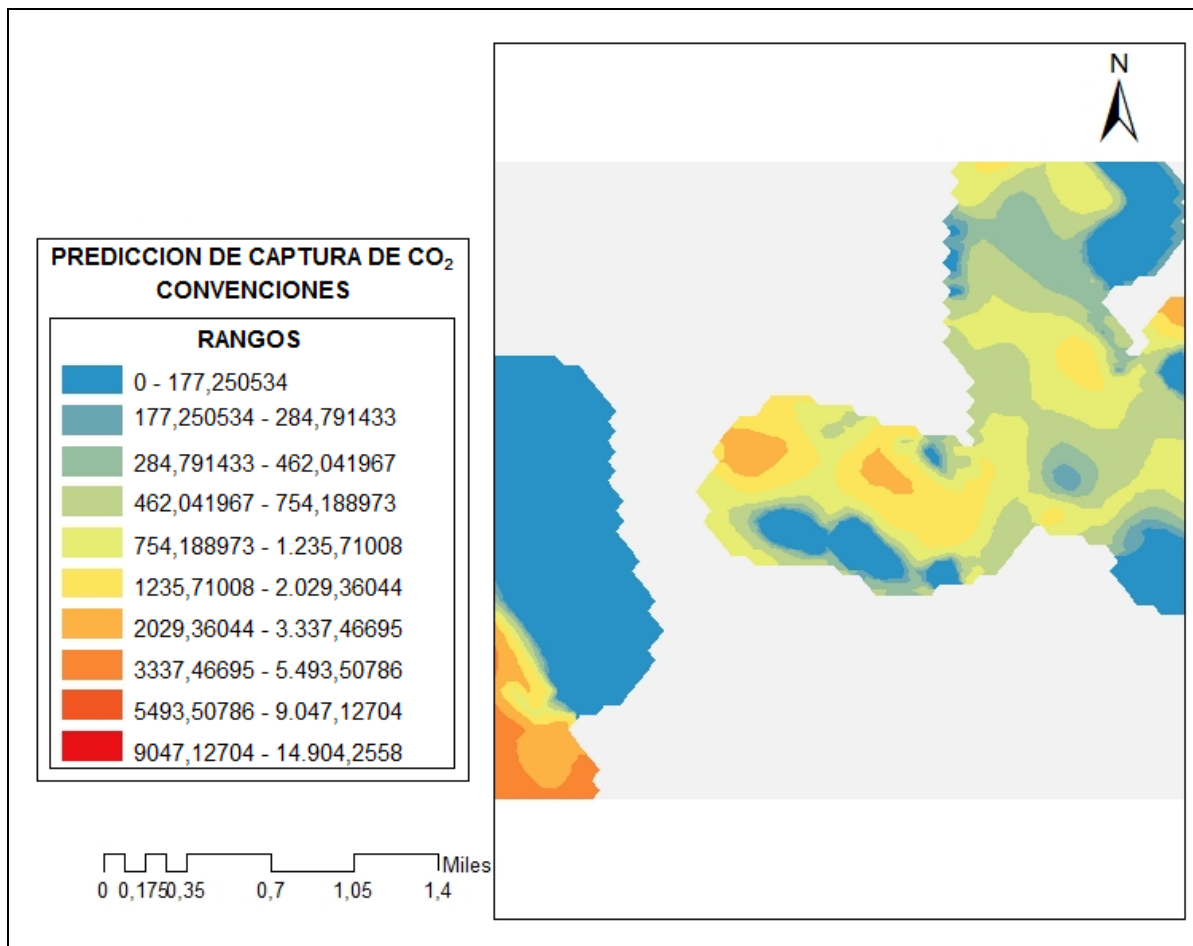
**Figura 10. Mapas de estimación de puntos de concentración de CO<sub>2</sub> por transecto**



Fuente: Elaboración propia

Los niveles de concentración de carbono coinciden para ambos modelos en la totalidad de transectos. Las zonas de mayor concentración de carbono por transecto están asociados a los boques del Bajo de Morroi y Galván. En el bosque del sector Borrachera se evidencian las concentraciones de carbono más bajas, ubicados en el primer rango, comparativamente con otros bosques. Es contrastante el resultado dado que si se comparan los datos de densidades / hectárea con concentración de carbono no tiene relación alguna dado que para El Bajo de Morrocoi la densidad es 41.411 árboles / ha mientras que para Galván 100 árboles / hectárea y son las dos unidades boscosas que presentan mayor concentración de CO<sub>2</sub>, por transecto, lo que puede estar influenciado en Galván por el desarrollo de los árboles que son de gran magnitud, por tanto tienen una acumulación importante de biomasa, y El Bajo Morrocoi que no tiene árboles de gran magnitud, pero si una sumatoria de biomasa representada en muchos individuos. En la figura 10 se presentan las áreas donde la probabilidad de captura de CO<sub>2</sub> es más alta, dato obtenido a partir de la interpolación Kernel en ArcGis® para el modelo propuesto por Chave (2005). Esto indica entonces que las concentraciones en tono rojo caracterizan especies con mayor capacidad de CO<sub>2</sub> descritas en el análisis anterior.

**Figura 11. Estimación de áreas con mayor probabilidad de captura de CO<sub>2</sub>**



Fuente: Elaboración propia

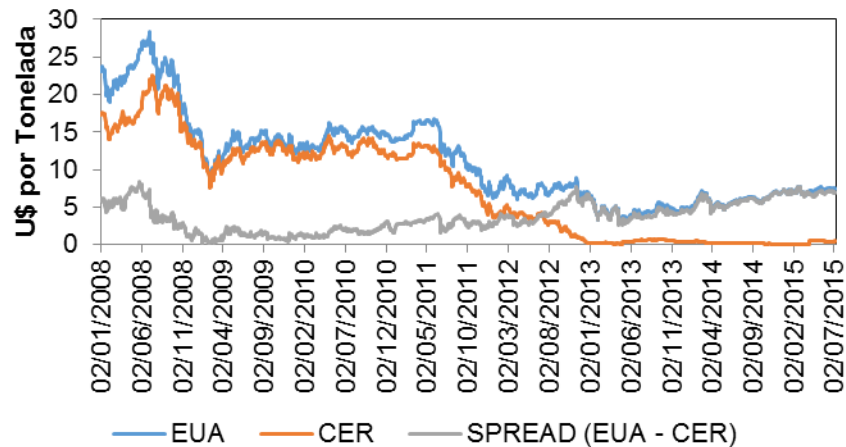
### 6.3 VALORACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES

El valor de referencia que se toma para hacer la estimación de los servicios ambientales de captación de CO<sub>2</sub> en las áreas de bosque es de U\$11,13 dólares por tonelada<sup>10</sup> que equivale al valor promedio de la serie de precios de referencia que se tomó del Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub>. No se consideró necesario hacer deflataciones para los periodos de referencia ya que solo se busca un valor estimado para hacer la valoración de los servicios ambientales de cada unidad de bosque. En la gráfica 4, se muestra el valor de los créditos de carbono por tonelada (EUA), las unidades de reducción (CER) y las reducciones voluntarias (SPREAD). La tendencia

<sup>10</sup> Nota: se toma como tasa de cambio representativa el valor de \$2.960 pesos por dólar.

indica que el precio por tonelada viene disminuyendo en razón que se diversifica la oferta ambiental que ingresa al mercado de carbono.

**Figura 12. Histórico de precios por tonelada de CO<sub>2</sub> 2008-2015.**



Fuente: elaboración con base en Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub>.

A continuación se presentan las cifras en dólares/ tonelada/ ha de CO<sub>2</sub> eq almacenado en cada uno de los bosques, como resultado principal se evidencia que la densidad de árboles/ ha (ver tabla 9) no está relacionada con el precio por unidad (ver tabla 14), sin embargo es importante mencionar que este valor está asociado con el tiempo a la madurez del bosque, es decir árboles más maduros tienen mayor cantidad de carbono eq almacenado, debido a la biomasa que han acumulado en los años, pero en cuanto a captura de carbono los árboles más jóvenes son más eficientes debido a que el proceso fotosintético se realiza de manera más eficaz, por tanto se puede inferir que en valor económico en carbono eq los bosques con árboles más maduros (de mayor diámetro y altura), tendrán un valor más alto que los bosques jóvenes o con menor desarrollo, pero si se analiza en función del secuestro de carbono los bosques más jóvenes tendrán un mayor valor representativo.

**Tabla 13. CO<sub>2</sub> eq– Dólares (U\$) / tonelada / ha**

<b>BOSQUE</b>	<b>IDEAM</b>	<b>CHAVE (2005)</b>	<b>IPCC</b>
Bajo de Morrocoi	208,59	1663,69	2167,97
Borrachera	807,89	2115,63	1986,91
Carlos Osorio 1	256,65	575,14	484,11
Carlos Osorio 2	156,61	277,96	217,35
Cascajo	175,34	567,77	542,90
Galvan	154,36	336,67	290,75
San Rafael	84,07	174,25	136,90
<b>Total general</b>	<b>1843,51</b>	<b>5711,12</b>	<b>5826,89</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se ponderan los datos de la valoración en dólares del CO<sub>2</sub> eq almacenado para la totalidad los bosques evaluados.

**Tabla 14. CO<sub>2</sub> eq almacenado – Dólares (U\$) / tonelada / Total**

<b>BOSQUE</b>	<b>IDEAM</b>	<b>CHAVE (2005)</b>	<b>IPCC</b>
Bajo de Morrocoi	3963	31610	41191
Borrachera	118759	310998	292076
Carlos Osorio 1	6416	14378	12103
Carlos Osorio 2	9866	17511	13693
Cascajo	4384	14194	13572
Galvan	8798	19190	16572
San Rafael	673	1394	1095
<b>Total general</b>	<b>152860</b>	<b>409277</b>	<b>390304</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de esta tabla hay que tener en cuenta la madurez de los bosques ya que hay una relación directa entre el grado de desarrollo y el valor a obtener en términos económicos. Esto se ve evidenciado en el bajo de Morrocoi que tiene mayor cantidad de árboles/ha (ver tabla 9), pero son de menor desarrollo por lo cual el carbono eq expresado en dólares, es menor al de Borrachera que tiene menor cantidad de árboles / ha, pero que tienen un grado mayor de desarrollo, por lo tanto su valor en término económicos es mayor. En la tabla 15 y 16 se plasman los datos de valoración económica del bosque en pesos.



**Tabla 15. Captación de CO<sub>2</sub> - Pesos (\$) por tonelada / Hectárea**

<b>BOSQUE</b>	<b>IDEAM</b>	<b>CHAVE (2005)</b>	<b>IPCC</b>
Bajo de Morrocoi	617.438	4.924.519	6.417.183
Borrachera	2.391.344	6.262.279	5.881.267
Carlos Osorio 1	759.681	1.702.411	1.432.980
Carlos Osorio 2	463.553	822.756	643.355
cascajo	519.016	1.680.600	1.606.980
Galvan	456.904	996.556	860.605
San Rafael	248.857	515.792	405.221
<b>Total general</b>	<b>5.456.793</b>	<b>16.904.912</b>	<b>17.247.591</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16. Captación de CO<sub>2</sub> - Pesos por tonelada (\$) / Total hectáreas de bosque**

<b>BOSQUE</b>	<b>IDEAM</b>	<b>CHAVE (2005)</b>	<b>IPCC</b>
Bajo de Morrocoi	11.731.314	93.565.854	121.926.476
Borrachera	351.527.583	920.555.045	864.546.206
Carlos Osorio 1	18.992.037	42.560.281	35.824.503
Carlos Osorio 2	29.203.861	51.833.623	40.531.352
cascajo	12.975.390	42.014.988	40.174.492
Galvan	26.043.525	56.803.674	49.054.500
San Rafael	1.990.854	4.126.336	3.241.768
<b>Total general</b>	<b>452.464.563</b>	<b>1.211.459.802</b>	<b>1.155.299.298</b>

Fuente: Elaboración propia

Según la estimación realizada sobre captura de CO<sub>2</sub> en Bs–T en El Carmen de Bolívar, promediando los resultados obtenidos a partir de la utilización de una ecuación alométrica y dos modelos predictivos de biomasa, se logró concluir que estos bosques se comportan como sumideros aproximadamente de 57, 2 toneladas / ha de CO<sub>2</sub> eq, lo que representa un valor de \$ 13.203.098,54 pesos/Toneladas/ ha. En total los servicios ambientales que ofrece el bosque enfocados a captura de CO<sub>2</sub> en términos económicos se logra estimar que su valor sería de \$939.741.220,90 promediando los valores de los tres modelos empleados.

Este tipo de aproximaciones a la valoración de la provisión de servicios ambientales enfocados a la captura de CO<sub>2</sub>, más allá de ver la huella de carbono como una amenaza, puede constituirse como fuente de oportunidades competitivas debido a que genera una visión positiva y una gestión ambiental estratégica, que posibilita a partir del conocimiento científico generar los mecanismos a emprender para reducir las emisiones de gases con efecto invernadero y apuntar hacia la sostenibilidad debido a

que contribuye a enfrentar los retos que genera el cambio climático en los planes de negocio y permite tener ahorros significativos en sus operaciones obteniendo beneficios económicos gracias a la gestión ambiental responsable, es muy importante al momento de precisar estrategias empresariales asumir el riesgo de tener que sopesar potenciales limitaciones y requerimientos ambientales en los mercados de bonos de carbono de los países industrializados.

Abordar con seriedad el tema de la huella de carbono contribuye a mejorar la sostenibilidad de los negocios, retardando o disminuyendo los efectos del cambio climático, esto permite obtener un plus de diferenciación a nivel competitivo en los mercados más estrictos, generando oportunidades de intervención en cadenas de valor más rigurosas o de escalar en la categorías de los eslabones de dichas cadenas, mejorando la competitividad, no solo económica, sino con un equilibrio en las tres dimensiones de desarrollo sostenible como lo son también la ambiental y social. Lastimosamente, existen evidentes rezagos en las políticas públicas tanto a nivel local, regional y nacional en lo referente a este tema. Los Ministerios públicos y las entidades gubernamentales son muy débiles en este sentido, los presupuestos para este tipo de proyectos son simbólicos, carentes de atribuciones sustantivas, este contexto se evidencia en la mayoría de países de la región.

Es muy importante que se genere un diálogo público - privado donde se estructuren estrategias que permitan unos verdaderos avances en el tema. El estado debería apalancar las iniciativas orientadas a la medición y reducción de gases efecto invernadero en los sectores productivos dado que el medio ambiente es un bien público, un compromiso serio por parte del estado contribuiría como aliciente para comprometer a los empresarios con la adopción de políticas en este sentido.

Para las empresas, los beneficios asociados al cálculo de CO<sub>2</sub> capturado y valoración económica posterior en cualquier de sus procesos, no solamente van enfocados al conocimiento de su aporte en la reducción de huella de carbono, sino que la incorporación de estas variables que requiere un esfuerzo significativo, provee oportunidades de ganancia que pueden compensar los esfuerzos de índole económico que se realicen en pro de conocer y conservar los ecosistemas.

## 7. CONCLUSIONES

Los bosques en los cuales se realizó el inventario han sido deforestados durante un periodo considerable con fines económicos para la supervivencia humana, principalmente para ampliar la frontera agrícola y sembrar cultivos de pan coger para el sustento de las comunidades. Dado lo anterior, los bosques han perdido sus características originales y se han sometido a procesos de selección disgénica, deriva genética y endogamia, por tanto la vegetación que se exhibe no es similar a la que caracteriza bosque seco tropical original y ancestral. Podría decirse entonces, que se ha disminuido la riqueza de especies tanto de flora como de fauna, así como su frecuencia al interior del ecosistema. Con respecto a la fauna se pueden advertir algunas amenazas que se deben a la poca capacidad del bosque para proveerles una variada alimentación y adecuadas condiciones de refugio y la presión antrópica, podrían disminuirse de manera dramática rompiendo la cadena trófica y causando una alteración preocupante en el ecosistema.

La cobertura vegetal actual de los bosques estudiados en la totalidad de los casos está constituida por vegetación de sucesión secundaria que ha perdido su carácter relictual. En todos los sectores solo 0,00136 % de la vegetación presenta un DAP superior a 30 cm, lo que corrobora que se trata de vegetación secundaria sin ningún grado de madurez. Es necesario entonces generar medidas de conservación para que el bosque se recupere totalmente, pero no bajo el modelo tradicional excluyente de conservación, que regularmente requiere el menor esfuerzo dado que se logra a partir de métodos coercitivos que limitan la generación de cultura, que desconectan al ser humano del hábitat, y generan injusticia social e inequidad sino más bien modelos que permitan preservar la zona vinculando a los habitantes lo cual sería más sostenible en el tiempo.

La evaluación del componente florístico permite identificar 63 especies nativas de las cuales el Guacamayo (*Albizia niopoides*), es la especie de mayor importancia ecológica en el ecosistema. Por otra parte, refleja un comportamiento de heterogeneidad del bosque, toda vez que las evaluaciones de las clases de frecuencia indican que ninguna de las especies representa más del 20% de aparición dentro de toda la muestra. Lo que nos lleva a inferir que si bien el número de especies no es suficiente para considerarse como un relicto de Bs-T el bosque tiene una alta variedad de especies, que permiten la estabilización y permanencia de la cadena trófica en la zona de estudio y desde el punto de vista genético es un verdadero banco in situ, que merece la generación de estrategias para su conservación.

Si bien la relación de abundancia, frecuencia y dominancia en sus valores absolutos y relativos indica la importancia ecológica de una especie en el ecosistema, no son estos parámetros ni sus variables, las que pueden explicar un comportamiento directo con la captura de CO<sub>2</sub>. La validación del comportamiento real de este fenómeno debe incluir además, el comportamiento de las especies en su zona de vida y los posibles impactos generados por el desarrollo de actividades antrópicas dentro o alrededor de los mismo.

El Bs-T está compuesto en su mayoría de especies caducifolias que pierden su follaje durante las temporadas de verano, cayendo al suelo y convirtiéndose en necromasa, por tanto, este ecosistema constituye una fuente de liberación de carbono hacia la atmósfera en dicha temporada al no llevarse a cabo el proceso fotosintético por falta de follaje. Por el contrario, se presenta el proceso de descomposición liberando dióxido de carbono a la atmósfera por el área foliar convertida en materia orgánica muerta por el proceso de oxidación. En la temporada de lluvias, cuando crece el follaje nuevamente, la fotosíntesis se reactiva, por tanto se inicia el proceso de captación de CO<sub>2</sub> atmosférico, lo que puede llevar a inferir que la fijación de CO<sub>2</sub> puede ser neta. Los bosques estudiados se comportan como un sumidero de unas 57,2 toneladas de carbono por hectárea, aumentando anualmente debido a que están en periodo de crecimiento y madurez. La mayor parte del carbono almacenado es equivalente al crecimiento de la biomasa aérea posterior a la defoliación.

## 8. RECOMENDACIONES

En Colombia debería existir un equipo multidisciplinario capacitado y especializado en la cuantificación de beneficios ecosistémicos enfocados a la reducción de gases de efecto invernadero. Igualmente, las empresas e instituciones cuyas actividades económica estén enfocadas a la producción forestal, deberían fomentar e incorporar en sus planes de manejo forestal, la cuantificación de servicios ambientales en sus áreas de reserva del bosque, dado que en la actualidad lo frecuente es que los inventarios forestales a nivel de unidad de manejo forestal sean solamente realizados a la fuente primaria de ingresos que está constituida por la plantación forestal.

Es importante a nivel local, realizar estudios propios de aspectos específicos de variables importantes al momento de medir la captura de CO<sub>2</sub> para determinar parámetros que no han sido cuantificados en estudios previos en la zona de vida Bs-T, como lo es la captura neta de carbono teniendo en cuenta la dinámica del ecosistema analizando los periodos de liberación y captura de CO<sub>2</sub> y teniendo en cuenta el metabolismo del carbono (plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y CAM) para obtener un resultado objetivo. En estudios posteriores sería conveniente extender el análisis de variables para la estimación del potencial de captura de CO<sub>2</sub>, usando datos de tasas de crecimiento que puedan construirse con mediciones continuas en la localidad y no haciendo uso de datos provistos por la literatura, esto permitiría hacer una proyección juiciosa en el tiempo sobre el potencial de captura de CO<sub>2</sub> y su respectiva valoración económica que podrían emplearse como herramienta de defensa del ecosistema.

Es preciso que se ejecuten con denuedo estudios rápidos que con datos más detallados, permitan entender la distribución de los bosques en la zona, tipos de sucesión vegetal, edad de los bosques, crecimiento y biomasa producida al detalle por cada uno de los compartimentos del ecosistema. Esta información es un insumo importante para la puesta en marcha de acciones en el corto plazo que conlleven a una mejor y adecuada sistematización de la información de las reservas forestales de la zona.

El desarrollo de proyectos orientados a la inclusión en mercados de mitigación de emisiones de gases con efecto invernadero primordialmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) debe ir de la mano de un acompañamiento y fortalecimiento en los parámetros técnicos como política nacional en la formulación de este tipo de proyectos. Es importante dentro de las unidades de manejo forestal, realizar labores tendientes a la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, haciendo un manejo mejorado a los bosques de reserva que permita la captación de carbono y cumplan con su papel de sumideros naturales, convirtiéndose en una labor complementaria de la unidad de manejo asociada al sector forestal, evitando cambios en el uso de suelos y actividades forestales.

Toda acción encaminada a mitigar la acumulación de gases con efecto invernadero deberá satisfacer algunos principios básicos dirigidos principalmente a disminuir la

presión antrópica que ejerce el hombre al entorno, buscando el equilibrio natural de los ecosistemas, teniendo en cuenta todos los aspectos o recursos que requieren para hacer viable la articulación de todas las piezas que lo conforman, sin necesidad de afectar o deteriorar las capacidades de entorno natural, tales como ser ecológicamente sostenible, económicamente viable; fácilmente replicable; y acomodaticio frente a probabilidades de variaciones políticas, sociales, climáticas y ecológicas, socialmente aceptables, que en últimas conduzcan a un objetivo común que es el de rehabilitar los bosques intervenidos y que estos sean conservados como sumidero de gases con efecto invernadero, mejorando su calidad estructural, replanteando el uso del bosque y reduciendo la tala de árboles maduros para suplir necesidades comunitarias.

Para el cálculo de los datos de biomasa deben usarse el mayor número de variables posibles. La validez de las ecuaciones alométricas está fundamentada en que haya una concordancia proporcional entre los crecimientos relativos de los elementos que componen un individuo. La biomasa de un árbol está relacionada directamente con su diámetro, por tanto esta variable no debe excluirse al momento de hacer cálculos de biomasa, por lo que la exclusión de este dato podría generar sobre estimación de resultados, el desafío entonces, será encontrar una relación estadística entre la biomasa y los factores explicativos lo cual tendría poco significado sin esta relación. Las variables explicativas por tanto deberían de ser buscadas entre aquellos parámetros que tienen una influencia directa sobre el crecimiento de los árboles.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, M. VARGAS, J. VELASQUEZ, A. ETCHEVERS, J. (2002) *Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, Mexico*. Oaxca México
- BROWN, S. y LUGO, A. (1982). The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbón cycle. *Biotropica*. 14:161-187
- CHAVE, J. ANDALO, C. BROWN, S. CAIRNS, M. CHAMBERS, J. EAMUS, D. FÖLSTER, H. FROMARD, F. HIGUCHI, N, KIRA, T, LESCURE, J, NELSON, B, OGAWA, H. PUIG, H. RIÉRA, B. & YAMAKURA, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* Vol. 145, pp. 87-99. [En Línea] Consultado el 10 de enero de 2015 disponible en: [http://www.winrock.org/sites/default/files/publications/attachments/Chave\\_et\\_al-2005.pdf](http://www.winrock.org/sites/default/files/publications/attachments/Chave_et_al-2005.pdf)
- Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique CARDIQUE. PGAR (2002 – 2012). [En Línea]. Cosultado el 15 de junio de 2015. Disponible en: <https://www.google.com>
- Esquema de Ordenamiento Territorial, municipio del Carmen de Bolívar (2002-011)
- ERHARD, D. Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal. (1995).
- FARBER, S. COSTANZA, R. WILSON, M (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. [En Línea] Consultado el 20 de agosto de 2015 de la web. <http://www.elsevier.com/locate/ecolecon>
- FRANKHAM, R. (2006). Genetics and Landscape Connectivity. En K. R. Crooks y M. Sanjayan, Eds. *Connectivity Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, England. Pag 72.
- GARCÍA, V. Y SÁNCHEZ, L. (2009). Estimación de Carbono Contenido en el Bosque Bajo Manejo Forestal del Ejido de Tlalmanalco, Estado de México. Texcoco, México.
- GENTRY, A. H. 1982. Patterns of neotropical plant diversity. *Evolutionary Biology* – 15:18-84

GENTRY, A. H. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forest. En Tropical deciduous Forest Ecosystem. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 116-194.

GESTIÓN AMBIENTAL LTDA GESAM (2013). Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria VIM-2 en los Departamentos del Magdalena y Bolívar.

HERNÁNDEZ, C. RUEDA, J y SÁNCHEZ, P. (1995). Desiertos, zonas áridas y semiáridas de Colombia. Banco de Occidente.

HOLDRIDGE, L. (1971). Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. [En Línea]. Disponible en: [http://www.fs.fed.us/psw/topics/ecosystem\\_processes/tropical/restoration/lifezone/holdridge\\_triangle/holdridge\\_pub.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/topics/ecosystem_processes/tropical/restoration/lifezone/holdridge_triangle/holdridge_pub.pdf)

INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, IAVH. (1995). Exploración Ecológica a los Fragmentos de bosque seco en el Valle del Río Magdalena (Norte del Departamento del Tolima). Grupo de Exploraciones Ecologicas Rapidas, IAVH, Villa de Leyva. Colombia.

INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, IAVH. (1995). El Bosque Seco Tropical (bs-T) en Colombia. Programa de Inventario de la Biodiversidad Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA.

INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, IAVH. 1997. Caracterización ecológica de cuatro remanentes de Bosque seco Tropical de la región Caribe colombiana. Grupo de Exploraciones Ecologicas Rapidas, IAVH, Villa de Leyva.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2010). coord. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. [En Línea]. Disponible en: [http://www.pnud.org.co/img\\_upload/36353463616361636163616361636163/2%C2%AA\\_Comicaci%C3%B3n\\_Cap\\_2.pdf](http://www.pnud.org.co/img_upload/36353463616361636163616361636163/2%C2%AA_Comicaci%C3%B3n_Cap_2.pdf)

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2011). Aportes del IDEAM para la definición y aplicación de la Estructura Ecológica Nacional.. Bogotá D.C., Colombia.



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2003 pag 610). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Published by: IGES, Japón.

KLINGEBIEL, A Y MONTGONERY, P (1961) Clases de capacidad de uso del USDA. [En Línea] Consultado el 26 de noviembre de 2015 de la web: <http://www.cebra.com.uy/renare/media/Clases-de-Capacidad-de-Uso-del-USDA-.pdf>

MACHÍN, M. y CASAS, M. (2006, abril 18). Valoración económica de los recursos naturales: Perspectiva a través de los diferentes enfoques de mercado.

MELO, O Y VARGAS R. (2003). Evaluación Ecológica Y Silvicultura De Ecosistemas Boscosos. Universidad Del Tolima. Ibagué, Colombia.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL MAVDS – INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT, IAVH. (2014). Distribución espacial del bosque seco tropical en Colombia (actualización del mapa nacional de BST a escala 1:100,000). [En Línea] Consultado el 3 de enero de 2015 de la web. <http://www.humboldt.org.co/es/investigacion/proyectos/en-desarrollo/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia>

MURPHY, P. Y LUGOA A. 1986. Ecology of tropical dry forest. Annual Review of Ecology and Systematics. 17: 67 – 88

SIGAC-SIAC (2007); IDEAM, IGAC, IAVH, INVEMAR, I. SINCHI E IIAP (2007) citado por NEXOS EMPRESARIAL (2014). Identificación de áreas con atributos de alto valor de conservación – AVC, para Tekia S.A.S. p.36

PEÑA, M. PORTER, A. ALARCION, G. BLATE, U. CHOQUE, T. FREDERICKSEN, M. JUSTINIANO, C. LEAÑO, J. LICONA, W. PARIONA, F. PUTZ, L. QUEVEDO, M. TOLEDO, M. 2012. Soil effects on forest structure and diversity in a moist and a dry tropical forest. Biotropica 44: 276 – 283.

PEREZ, M. Y DIAZ, J. (2010) Estimación de carbono contenido en la biomasa forestales aérea de dos bosques andinos en los departamentos de Santander y Cundinamarca. Bogotá. Colombia.

PIZANO, C Y GARCÍA, H. (2014). El Bosque Seco Tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia.

PIZANO, C. Y GARCÍA, H (editores). 2014. El Bosque Seco en Colombia. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH). Bogotá, D.C., Colombia. P.34

PUBLICACIONES SEMANA. (2012). El Mundo Respira CO2. [En Línea]. Consultado el 1 de junio de 2015, Disponible en: <http://www.semana.com/especiales/contaminacion/>

RUDOLF, S. MATTHEW, A. WILSON y ROELOF, M. BOUMANS, J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services.

SAMPEDRO, M. GÓMEZ, H Y BALLUT, G.(2012) Inventario de flora y fauna en predios de La Reforestadora del Caribe S. A. en El Carmen de Bolívar (Bolívar) y Ovejas (Sucre).

SIERRA, D. (2010). Relación De La Captura De Carbono En Saccharum officinarum Con Otros Factores Ambientales Para El Cultivo De Caña Panelera. Bogotá, Colombia.

TALERO, E, UMAÑA, G. (2000). Modelo De Educación Ambiental Para La Capacitación De Docentes. Bogotá, Colombia. Pág: 7.

TOMASINI D. (1995) Bases Económicas para el manejo de los recursos naturales. En Manuel Anaya Garduño y Felipe Diaz Calero (Ed). Memorias para el IV Curso sobre Desertificación y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo. México. Pág: 45.

UNEP-WCMC. 2011. Developing ecosystem service indicators: Experiences and lessons learned from sub-global assessments and other initiatives. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, Canada. Technical Series No. 58, 118 pages.

VERDAD ABIERTA (2014, 30 Enero). [En Línea] Consultado el 15 de junio de 2015 disponible en: [www.verdadabierta.com](http://www.verdadabierta.com).

VINCENTI, AMARAL Y MEILLEUR. (2004). Desafíos de la Ordenación de los recursos genéticos silvícolas para contribuir a la subsistencia: ejemplos de Argentina y Brasil. Instituto internacional de recursos fitogenéticos, Roma, Italia. [Libro en línea] Consultado el día 4 de junio de 2015 de google books web: <https://books.google.com>. Pág: 14.

YEPES, A. NAVARRETE, D. DUQUE, A. 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.

ZAMORA, J. (2003). Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido "la majada" municipio de Periban de ramos, Michoacán. Uruapan, Muchacán, México.

ZANNE, A, LOPEZ, G. COOMES, D. ILIC, J. JANSEN,S. LEWIS, S. MILLER, R. SWENSON, N. WIEMANN, M. Y CHAVE, J. (2009) Global Wood density database. [En Línea] Consultado el 10 de enero de 2015 disponible en: <http://hdl.handle.net/10255/dr-yad.235>.

ZÚÑIGA, H. (2009). Elaborem un estudio de impacto ambiental. Documento Técnico. Bogotá D.C., Colombia. Pag: 12-15.

