

**Universidad Católica del Trópico Seco**

**Pbro. Francisco Luis Espinoza**



**Trabajo de tesis para optar al título profesional de**

**Ingeniero Agropecuario**

**Caracterización de la biodiversidad arbórea y  
secuestro de carbono en diferentes usos de suelo,  
en tres comunidades. Reserva Natural Tomabú, Estelí**

**Autores**

Emmanuel Betanco Vindell

Miriam Yuberling Garmendia Espinoza

**Tutores**

M.Sc. Flavia María Andino Rugama

M.Sc. William Arturo Ortiz González

Estelí, julio de 2016

# INDICE

Contenido	Página
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURA .....	iv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN .....	ix
I. INTRODUCCION.....	10
II. OBJETIVOS.....	12
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos.....	12
III. MARCO TEORICO.....	13
3.1. Generalidades de los usos de suelos.....	13
3.2. Biodiversidad.....	18
3.3. Almacenamiento y captura de carbono .....	23
3.4. Agricultura y conservación.....	27
IV. MATERIALES Y METODOS .....	29
4.1. Ubicación del estudio .....	29
4.2. Universo y muestra.....	29
4.3. Variables del estudio .....	30
4.4. Diseño del estudio .....	33
4.5. Análisis de datos.....	36
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.1. Del sitio y las características del estrato arbóreo .....	36

5.2.	Diversidad de especies en los diferentes usos de suelo.....	37
5.3.	Secuestro de carbono almacenado en los usos de suelo.....	46
5.4.	Diferencia de diversidad arbórea y secuestro de carbono en los usos de suelos....	52
VI.	CONCLUSIONES.....	56
VII.	RECOMENDACIONES .....	57
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	58
IX.	ANEXOS.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Datos generales de las fincas incluidas en el estudio .....	30
Tabla 2. Riqueza en los usos de suelos estudiados.....	38
Tabla 3. Principales géneros y especies por usos de suelo con un número de individuos mayor a nueve .....	40
Tabla 4. Diferencia de los índices de diversidad por sistemas (valores medios) .....	41
Tabla 5. Diferencia de los índices de diversidad por sistemas (valores medios) .....	44
Tabla 6. Secuestro de carbono del estrato arbóreo por t C ha <sup>-1</sup> .....	47
Tabla 7. Captura de carbono por comunidades t C ha <sup>-1</sup> .....	48
Tabla 8. Secuestro de carbono en raíces finas t C ha <sup>-1</sup> .....	49
Tabla 9. Secuestro de carbono en hojarasca t C ha <sup>-1</sup> .....	50
Tabla 10. Almacenamiento de carbono en necromasa t C ha <sup>-1</sup> .....	51
Tabla 11. Pruebas de Kruskal Wallis sobre la diferencia de los índices de diversidad arbórea entre sistemas.....	53
Tabla 12. Pruebas de Kruskal Wallis sobre la diferencia de los índices de diversidad arbórea entre sistemas.....	54
Tabla 13. Diferencia de grupos estadísticos de captura de carbono en árboles y necromasa (t C ha <sup>-1</sup> ).....	55

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Distribución de individuos por clases diamétricas y usos de suelo .....	37
Figura 2. Distribución de las familias más importantes por los usos de suelo estudiados .....	39
Figura 3. Distribución de los géneros con la mayor abundancia de individuos .....	43
Figura 4. Especies de mayor importancia en el estudio .....	45
Figura 5. Especies de mayor importancia relativa compartida en los usos de suelo estudiados.....	46

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Anexo 1. Mapa de la ubicación de la Reserva Tomabú .....	69
Anexo 2. Hoja de campo para clasificación de la diversidad arbórea .....	70
Anexo 3. Diseño de parcela en toma de datos de muestras de suelo.....	72
Anexo 4. Toma de dato de diámetro de árbol bifurcado y en pendiente y su altura .....	73
Anexo 5. Esquema de muestreo de hojarasca y raíces finas .....	73
Anexo 6. Muestreo en campo .....	74
Anexo 7. Pruebas de Kruskal Wallis sobre la diferencia de los índices por sistemas.....	77
Anexo 8. Prueba de ANOVA sobre la diferencia de captura de carbono por compartimento en los sistemas.....	78
Anexo 9. Prueba de ANOVA sobre la diferencia de captura de carbono por compartimento en los sistemas.....	78

## **DEDICATORIA**

Al ser supremo que es Dios, por su bondad de brindarnos mucha salud, sabiduría en todo momento y por darnos la confianza de hacer realidad este sueño.

A nuestros padres por darnos la vida, apoyo, buenos consejos en la vida y a quienes les debemos lo que somos hoy.

A nuestra familia por ser parte de nuestro desarrollo moral y espiritual para el servicio de nuestra sociedad.

A nuestra bella Nicaragua, nuestra patria.

A nuestra universidad UCATSE por ser nuestro hogar durante este tiempo y por la dedicación con que nos han formado.

*Emmanuel Betanco Vindell*  
*Miriam Yuberling Garmendia Espinoza*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por ser El, el dador de la vida, salud y lo creado. Por permitirme culminar mi carrera de Ingenieria Agropecuaria en esta alma mater UCATSE, por brindarme la sabiduría y discernimiento en todos los comienzos de mis etapas cristiana y profesional.

A mis padres por ser ejes fundamentales de apoyo a seguir adelante en lucha de mis sueños, para poder servir correctamente a la sociedad, por levantarme en los momentos de flaqueza y alimentar con amor y disciplina mi carácter en los momentos mas convenientes. De igual manera agradezco a mis hermanos que fueron motores de ánimo en la etapa de mi preparación. A mis tias y tios que intervinieron en la formación de mi profesión, por sus consejos y ayudas, para poder sobre salir adelante sin importar los problemas.

Agradezco también con mucho amor a mis tutores a M.Sc. Flavia Andino Rugama y Ing. William Arturo Ortiz González por el tiempo y el apoyo en el acompañamiento como tutores a la presente investigación, por su colaboración en la revisión y redacción de este estudio, así también como para el procesamiento de los datos.

Para finalizar, agradezco a todos los docentes que en algún momento de mi formación, fueron facilitadores eficiente para poder culminar mi carrera. Mis amigos y compañeros que compartimos tiempos de confianza, disciplina y respeto para poder triunfar en la vida.

*Emmanuel Betanco Vindell*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer de manera especial y muy sincera:

A Dios el ser supremo por darme el don de la vida, sabiduría, fortaleza y por ser el sostén principal de mis ilusiones y esperanzas.

A mis padres Henry y Janeth que han trabajado con gran desempeño por mi formación, brindándome su apoyo, amor, confianza y a quienes les debo lo que soy hoy.

A mis profesores por el conocimiento y la paciencia brindada en toda mi formación profesional.

A los maestros Flavia Andino Rugama y William Ortiz por su apoyo, paciencia, colaboración en mi formación académica y compartir sus conocimientos en este informe investigativo.

A mi hermana Heydi por ser mi motivo de inspiración a seguir adelante, sus consejos y su cariño incondicional siempre.

A mis abuelos de manera muy especial por su apoyo y confianza durante toda mi carrera.

A todos los que participaron de una u otra forma en la culminación de esta investigación.

A todos ellos gracias por ayudarme a culminar esta etapa de mi camino y que Dios les bendiga siempre.

*Miriam Yuberling Garmendia Espinoza*

## RESUMEN

El estudio se realizó en tres comunidades de la reserva natural Cerro Tomabú las cuales son San Antonio, Llano Redondo y El Espinal; con el objetivo de caracterizar la diversidad arbórea y captura de carbono, en tres usos de suelo (cultivo hortalizas y café; pasto y bosque). Las variables medidas fueron la diversidad de las especies específicamente estructura y composición florística, así como secuestro de carbono en los estratos arbóreo, suelo, raíces finas, hojarasca y necromasa. Se utilizó Stimate v9.1 para determinar los índices de Shannon, Simpson, ACE, ICE, Chao 1; programa R versión 3.3.0 para secuestro de carbono, Infostat versión estudiantil 2015 para análisis de Kruskal Wallis y ANOVA para determinar diferencias en las variables de carbono y diversidad entre los sistemas de uso de suelo. Respecto de diversidad, se encontraron 790 individuos distribuidos en 26 familias, 47 géneros y 57 especies. Las familias más comunes fueron Mimosaceae, Rhamnaceae y Moraceae. La abundancia está representada por 14 géneros que incluyeron el 73.80% del total de los individuos, de los cuales los géneros *Quercus* y *Guazuma* representan el 14.62% y 10.22% del total de individuos respectivamente. El sistema de bosque mostró los mejores valores para ACE, ICE, Chao1, Shannon y Simpson, superando estadísticamente a los demás sistemas (p-valor de 0.001), seguido del cultivo café. El Roble es la especie predominante, cuyo VIR es del 37.93% del total. En cuanto al secuestro de carbono, el estrato suelo del sistema de pasto alcanza la mayor captura con 316.8 t C ha<sup>-1</sup>, mientras que en bosque es el estrato arbóreo con 323 t C ha<sup>-1</sup>. Los sistemas de cultivo, pasto y bosque mostraron diferencias significativas en las variables de secuestro para los estratos arbóreo y necromasa, siendo bosque el que muestra los valores más altos (p-valor 0.0084).

**Palabras clave:** Fijación, Hojarasca, Necromasa, Índices de diversidad, Estrato arbóreo

## **I. INTRODUCCION**

Nicaragua cuenta con grandes biodiversidades arbóreas dentro de las regiones del país, en el que en su mayoría de estos se pueden diferenciar por sus gradientes altitudinales y su adaptación a tipos de suelo, dentro de las dificultades que se presentan son los escasos estudios que caractericen estas especies arbóreas y en las que su mayoría se encuentran ubicados en reservas. El país está conformado por 71 áreas de reserva natural, estas se clasifican en nueve categorías de manejo, que abarcan una superficie de 2, 208,786.7214 hectáreas, equivalentes al 17 % del territorio nacional (MARENA, 2006).

Las confrontaciones del cambio climático ante la conservación de las áreas protegidas y sus bosques, los sistemas de producción que los productores manejan, son un problema fundamental al determinar las consecuencias que este puede ocasionar tanto a la diversidad de sus áreas, como al suelo, el cual este último es primordial evaluar su manejo por su difícil recuperación. Por eso, se requiere de contribuir con sistemas de producción integrados, en el que la complementariedad entre la diversidad de las especies vegetales y el uso del suelo produzcan beneficios para el agro ecosistema, promoviendo sistemas productivos sustentables.

No obstante, existen vacíos de información respecto de la sostenibilidad ambiental de estos usos de suelo y de su contribución con la conservación de especies y más aún de su aporte al secuestro de carbono. Es por ello que, en la presente investigación se caracterizó la diversidad arbórea y secuestro de carbono en diferentes usos de suelo en la Reserva Natural Cerro Tomabú, realizando el estudio en parcelas de las comunidades San Antonio, Llano Redondo y El Espinal.

Los resultados obtenidos mediante la presente investigación brindan información relevante para establecer o diseñar sistemas de producción más eficientes de acuerdo a las especies que predominen; además contribuirá con acciones de conservación de la biodiversidad en las comunidades, por consiguiente favorecerá local y regionalmente con sistemas productivos amigables. Considerando que es de gran beneficio a instituciones que

promueven y divulgan el desarrollo económico de la localidad en un marco de sostenibilidad ambiental. Así como entidades que inciden en la zona (FIDER, CARITAS, INTA, etc.) o bien del estado que regulan las acciones de intervención en la zona de estudio como el MARENA e INAFOR y ONG interesadas en los datos obtenidos de captura de carbono y de estudios de diversidad.

## **II. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Caracterizar la diversidad arbórea y secuestro de carbono en diferentes usos de suelo en las comunidades Llano Redondo, El Espinal y San Antonio, de la Reserva Natural Cerro Tomabú, Estelí en el periodo 2015-2016.

### **Objetivos específicos**

Determinar la estructura y composición florística de la vegetación arbórea en tres usos de suelo (pasto, cultivo y bosque) en la Reserva.

Identificar especies predominantes de acuerdo a los usos de suelo que estén asociadas a una mayor diversidad arbórea.

Cuantificar el secuestro de carbono almacenado en diferentes compartimentos (estrato arbóreo, suelo, raíces finas, hojarasca y necromasa) según los diferentes usos de suelo de la Reserva.

Determinar las diferencias respecto de la diversidad arbórea y secuestro de carbono en los usos de suelo estudiados en la reserva.

### **III. MARCO TEORICO**

#### **3.1. Generalidades de los usos de suelos**

El uso de suelo en Nicaragua está determinado por las actividades agropecuarias y la explotación de los bosques naturales. El cual está clasificada en tres regiones 15% en la región del pacifico es la más desarrollada y posee suelos de alta fertilidad. La región central con 35% y esta representadas por cultivos anuales y perennes y la región atlántica con 50% rica en recursos naturales (MARENA, 2008). Por otro parte, El uso potencial de los suelos de Nicaragua, se divide de manera general en seis categorías, que son: forestal, agrícola, pecuario, agro-silvopastoriles, silvopasturas y de conservación (INAFOR, MAGFOR, FAO, 2009).

El uso de suelos en los cultivos se produce en una gran variedad de sistemas productivos. En el cual existen dos uno el uso irracional de este con máximo empleo de tecnologías químicas y en contra parte los sistemas de producción que adoptan un enfoque predominantemente eco sistémico y son tanto productivos como más sostenibles basada en un enfoque eco sistémico conserva la salud de la tierra agrícola ya en uso y puede regenerar la tierra que se encuentra en malas condiciones debido al uso indebido en el pasado estos sistemas se adaptan al cambio climático y brindan servicios ecológico para la biodiversidad (FAO, 2014).

Por su parte, Mendieta & Rocha (2007) ratifican que las prácticas inadecuadas de uso de la tierra en suelos marginales provocan muchos problemas, principalmente de erosión. La principal causa de la erosión de los suelos es la deforestación. El mantenimiento de la cobertura arbórea es de primordial importancia para la sostenibilidad económica y ecológica de los sistemas de producción de alimentos. Uno de las soluciones son los sistemas agroforestales que cumplen con función de fertilidad y protección al suelo.

Según la FAO (2005) argumenta que la diversidad agrícola está compuesta por componentes de cultivos, plantas silvestres cosechadas y manejadas para alimentos,

especies arbóreas forestales en las chacras o establecimientos, especies usadas como pasturas y pastizales naturales y en la cual cumple una función Producción sostenible de alimentos y otros productos agrícolas y servicios ecológico como la de proteger el suelo.

Por otra parte, la FAO (2002) señala que los suelos aptos para uso agrícola son solo un porcentaje relativamente reducido de las disponibilidades globales de suelos. Aproximadamente 70% de la tierra disponible dista mucho de ser ideal para la producción agrícola y, por lo tanto, requiere mejoras de diferentes tipos.

Martínez (2008) Refiere la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola como a la capacidad del sistema para mantener su productividad a pesar de las perturbaciones económicas y naturales, externas o internas. Cada finca cuenta con características específicas que se derivan de la diversidad existente en cuanto a la dotación de recursos y a las circunstancias familiares. Por consiguiente, según Escobar & Berdegue (1900) los componentes de un sistema de explotación de una finca pueden ser cuatro:

- Producción agrícola (incluida la silvicultura)
- Producción pecuaria (incluye toda clase de animales)
- Procesamiento de productos
- Transacciones entre la finca y el ambiente que la rodea (incluido todo tipo de compra, venta, comercialización a inversión).

### **3.1.1. Bosques**

Según la FAO (2002) define bosque como tierras que se extiende por más de 0.5 Ha dotadas de árboles de una altura superior a cinco metros y una cubierta dosel superior al 10 %, o de árboles capaces de alcanzar una altura *in situ*. Por su parte Cortés (2003) explica que se entiende como bosque un tipo fisionómico como “aquellas formaciones vegetales con predominio de árboles que alcanzan el estrato arbóreo (> 5 m) y superiores, siendo sus coberturas las dominantes Los bosques cubren el 31 % del total del área terrestre del planeta (Harris, *et al.* 2011).

Los bosques del planeta están en crisis. No menos de la mitad de la superficie forestal original ha sido destruido y solo una muy pequeña parte de las zonas silvestres benefician una protección adecuada. Sobre toda el planeta, alrededor de 26 hectáreas forestales (alrededor de 37 campo de fútbol) desaparecen cada minuto (CLAI y PNUMA, 2003).

Harris *et al.* (2011) señala que cada vez es más frecuente que el bosque se conserve y gestione con múltiple usos y valores, a menudo combinados. Alrededor de 949 millones de Ha, el 24% de todos los bosques, se han diseñado para usos múltiple en ello 29% para la producción, 8% para protección de suelo y agua, 12% de la conservación de biodiversidad, 4% servicios sociales, usos múltiples 24%, otros un 7% y un 16% desconocido.

La agricultura es la mayor causa de deforestación en todo el mundo. Los agricultores que siembran en tierra de bosques son los responsables de la pérdida de 5,7 millones de hectáreas de bosques tropicales cada año, un área mayor que toda la superficie de Costa Rica. Una de las causas principales de la expansión de la agricultura a costa de los bosques es el sistema de propiedad de la tierra en muchas naciones. (CLAI & PNUMA, 2003).

MAGFOR, PROFORM, BM, (2005) indican que la mayor parte del territorio nacional de Nicaragua es apta para uso forestal y agroforestal (62 % o más), con maderas duras tropicales (tanto para bosques naturales, como para plantaciones forestales), masas forestales mixtas, bosques de pino, sistemas de producción combinados, tales como especies animales asociados con especies forestales, o bien, especies agronómicas asociadas con especies forestales o sistemas agroforestales (SAF).

La vegetación típica de Nicaragua está cubierta por vegetal natural con degradación ecológica y genética tales como bosques perennifolios y sistemas de cultivos con especies forestales. Nicaragua posee cuatro diferentes tipos de bosques que son Latifoliados, coníferas, mixtos y manglar.

Los bosques latifoliados se clasifican en bosque siempre verdes latifoliados y se conforman por especies de hoja ancha La condición siempre verde se refiere a que más del 75% de la

cobertura está formada por individuos que no pierden sus hojas. Los bosques siempre verdes montano una de las variantes de este tipo de bosque, son las formaciones de este tipo en pisos altitudinales de montaña. Se observan como bosques densos con precipitaciones entre 2000 y 4000 mm como promedio anual. Por otro lado, están los tipos de bosques deciduo latifoliados se caracteriza porque la mayoría de los árboles pierden sus hojas simultáneamente en la época seca de cada año (Programa REDD-CCAD-GIZ, 2011).

El tipo de bosque de coníferas está determinado con especies del género *Pinus* como la principal formación en esta clase de vegetación, se localiza en zonas que tienen una precipitación promedio menor a los 2,500 mm por año. Las mezclas principales son *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi* con especies del género *Quercus*, *Caripus* y *Liquidamber* (Programa REDD-CCAD-GIZ, 2011). Por su parte, (Beek y Saenz, 1992), determinan la clasificación basado en la altura y el diámetro de las plantas determinando tres grupos de la regeneración natural:

- Brinzales: aquellos individuos entre 0,3 m a 1,5 m de altura.
- Latizal bajo: árboles de 1,5 m de altura a 4,9 cm de diámetro
- Latizal alto: de 5,0 cm a 9,9 cm de diámetro.

### **3.1.2. Suelos y cultivos hortícolas**

Las hortalizas son un conjunto de plantas herbáceas que pueden ser cultivadas anuales o perennes generalmente en huertos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o cocida, pueden ser las hojas, bulbos, tallos, frutos, inflorescencias y tubérculos, con bajos niveles de calorías, altos contenidos de vitaminas, minerales y de agua (Zevallos, *et al.* 2009)

El cultivo de las hortalizas en Nicaragua representa una ínfima parte de la superficie agraria, tan solo se cultivan en menos del 5% de las fincas agropecuarias, ocupando unas 15,000 ha y a pesar de las buenas condiciones que tiene el país para producir hortalizas frescas para el mercado interno y de exportación tiene que importar una buena cantidad de

las mismas. El conjunto de estos rubros representan el 74% del volumen total de las importaciones de los productos hortícolas (CENAGRO, 2001).

En la investigación descriptiva por Arvizu Barrón *et al.* (2014) sobre el diagnóstico de la producción y comercialización de hortalizas en el mercado Huixcolotla, México; determinaron que ha sido un factor importante para que se dé un proceso de integración económica en la región. Las actividades que desempeña el productor en la producción y comercialización de hortalizas estrechamente están ligadas para la siembra, cosecha y abastecimiento; con una excesiva cantidad de mano de obra; descontrol en la compra y aplicación de insumos agrícolas; falta de un contrato de compra-venta; insuficientes servicios de comercialización; así como, tecnología para llevar a cabo con eficiencia las labores de cultivo.

Un factor relevante en el manejo de los cultivos hortícolas es la fertilización y el manejo de la fertilidad de los suelos. A medida que la tecnología y los sistemas de cultivo cambian y mejoran es importante que las recomendaciones, basadas en los análisis de suelo, sean periódicamente evaluadas. Al respecto, la materia orgánica es importante para mantener la fertilidad del suelo y el buen desempeño del uso de los fertilizantes. La reducción de los niveles de materia orgánica en los últimos años es un indicador importante de que las prácticas adoptadas deben ser modificadas. La caída en los niveles de materia orgánica es una amenaza para la sostenibilidad de la fertilidad del suelo, debida al aumento de los procesos de lixiviación y la reducción de liberación de fósforo en el sistema radicular (FAO, 2009).

### **3.1.3. Suelos y pasturas**

Los pastos son plantas que no deben de considerarse como una entidad aparte sino como una unidad de un sistema de producción. Su mejoramiento debe investigarse en base al papel que juega en el sistema al que se orientarán. Además, hay que saber qué disponibilidad de recursos son con los que cuenta, y aquí es relevante el recurso agua cuya cantidad de ésta en el suelo determinará la vegetación de la zona (Perrachon, 2010).

En Nicaragua en lo referente a pasturas, las gramíneas ocupan grandes extensiones en el país, ofreciendo su reproducción de biomasa, para alimentación del ganado, lo mismo que protegiendo y conservando los suelos de la erosión (Carballo *et al.* 2005). Sin embargo MARENA (2005) expresa que esto se agrava cuando se maneja inadecuadamente los pastizales con pastoreo continuo que provoca sobrepastoreo, invasión de malezas y deterioro de pasturas. Ha dejado suelos frágiles y vulnerables a la erosión ya sea por pisoteo del ganado, acción del viento o por las lluvias.

Los pastos ofrecen cubiertas perennes y densas, con una elevada capacidad de fijación de carbono, que favorecen el desarrollo de suelos extremadamente orgánicos. (Canals, sf) No obstante FAO (2002) nos informa que muchas áreas de tierras de pastoreo en las zonas tropicales y áridas son mal manejadas y están degradadas; por lo tanto, ofrecen variadas posibilidades de secuestro de carbono.

Por lo general, en América Latina las pasturas tienen lugar en zonas con suelos escasa vocación pecuaria, lo cual es un factor que indudablemente contribuye al proceso de degradación de los suelos (Sánchez & Rosales, 2001).

### **3.2. Biodiversidad**

Biodiversidad se refiere a la gran variedad de organismos y ecosistemas que existen sobre la Tierra. Representa el capital natural de una región y es tan importante como los otros capitales que generalmente reconocemos: el económico y el humano (Martínez *et al.* 2011). En tanto, Bird & Molinelli, (2001) definen biodiversidad a la variedad de especies de plantas, animales y otras formas de vida presentes en el Planeta; esta biodiversidad comprende no tan solo los diferentes biomas y ecosistemas que se dan en el Planeta, sino también la variedad de especies presentes en los mismos y la diversidad genética que existe entre los miembros de cada especie.

La biodiversidad o diversidad biológica es el resultado de la evolución que se manifiesta en la existencia de diferentes formas y modos de vida. Es una característica que le confiere a

los seres vivos la posibilidad de estar formados por muchas y variadas especies y entidades. Así mismo, es una propiedad que se encuentra en todos los niveles de organización desde las células hasta los ecosistemas y un carácter esencial para el funcionamiento adecuado de los seres vivos, como individuos o como conjuntos, ya que les proporciona las condiciones necesarias para hacer frente a la lucha biológica y los cambios ambientales (Gómez *et al.* 2013).

En el estudio realizado por Castillo *et al.* (2014) fue comparada la estructura y composición de la selva baja caducifolia (SBC) y la selva mediana subcaducifolia (SMS), en dos localidades en Campeche, México. Las variables tomadas fueron riqueza de especies, abundancia, distribución de los árboles y características dasométricas dentro de la comunidad vegetal; los resultados indican que la riqueza de especies de árboles fue mayor en SMS con 70 especies, 30 familias con un promedio de 13 especies por parcela; que en SBC con 50 especies 21 familias y se registraron 11 especies por parcela. La diversidad de los árboles en la SBC fue de 1.91 frente a 2.2 en la SMS. La composición de especies fue estadísticamente diferente entre las comunidades de plantas.

El cambio climático supone uno de las principales alteraciones al funcionamiento de los ecosistemas. Los ecosistemas forestales, entre ellos, destacan por albergar gran parte de la biodiversidad terrestre, y ser su correcto funcionamiento esencial para el mantenimiento de dicha diversidad (Pardos, 2010).

Según López & Gil (2006) las estrategias de conservación de la biodiversidad radican en las especies arbóreas de amplia distribución. Frente al mantenimiento de la diversidad interespecífica que se aplica a los taxones herbáceos/arbustivos, las especies arbóreas fundamentan su capacidad de cambio en la diversidad intraespecífica. Por consiguiente, se toma como regeneración natural el mecanismo ecológico y perpetuación de las especies para crear su hábitat y el monitoreo de la regeneración natural es base fundamental para conocer la dinámica del bosque, su diversidad y debe ser quien guíe el manejo del mismo (Zamora, 2002).

La diversidad de especies en un territorio viene definida por el número de especies (riqueza) y el tamaño poblacional de cada especie (abundancia). La diversidad de especies está determinada, en gran medida por la variedad de nichos ecológicos existentes y la historia geológica del territorio. Las causas de extinción y degradación de las especies como los son la destrucción de las hábitats naturales; alteraciones del ciclo ecológico contaminación atmosférica envenenamiento de suelo, etc. (Domínguez, 1997).

La biodiversidad se divide en diferentes niveles: genética, taxonómica y funcional de ecosistemas, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje. Se ha separado la biodiversidad según Whittaker (1972) citado por (Luna Asanza, 2012) en:

- Diversidad Alfa que es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que se considera homogénea
- Diversidad Beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje
- Diversidad Gamma es la riqueza de especies de conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultando tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta

### **3.2.1. La diversidad y la producción**

La agricultura de conservación aporta la base para sustentar la productividad de los recursos naturales y la protección del ambiente y la salud. Ello le permite incluso el desarrollo de servicios ambientales como la fijación de carbono, la generación de oxígeno, el agroturismo, la agro-diversión, el agro-ecoturismo y en general productos alimenticios de calidad que juegan un papel cada vez más importante en el desarrollo de la sociedad (INTA, 2005).

La dimensión más fácil de visualizar cuando se habla de la importancia de la diversidad biológica es la económica o productiva. Los principales usos que el ser humano hace de las especies animales y vegetales están relacionados con su alimentación, vestimenta, producción de energía y distintos tipos de materiales (Fagundez, 2013).

En los datos mencionados por Flores *et al.* (2012) en sistemas de cultivo y biodiversidad periurbana, estudio de caso en la cuenca del río Texcoco en tres comunidades con agricultores, que en su conjunto manejan 47 sistemas de cultivo, como resultado se identificaron monocultivos y policultivos, éstos últimos registraron asociaciones e intercalaciones, combinando maíz, calabaza y leguminosas de grano. El índice de diversidad de Shannon en Ixayoc fue 3.65, en Tequexquihuac 3.57 y en Nativitas 3.25, la mayor diversidad se registró en territorios más alejados de la zona urbana. El 50% de biodiversidad en parcelas fue de arvenses, el resto de cultivos anuales, frutales, árboles, arbustos y ornamentales

### **3.2.2. Métodos de medición de la biodiversidad de las especies**

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. En cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades (Moreno, 2001).

**Índice de Riqueza de las especies.** Riqueza es la expresión de dos componentes, el primero de ellos es el número de especies presentes en la comunidad y se denominada riqueza de especies. El segundo componente es la equitabilidad, y describe cómo se distribuye la abundancia.

**Índice de dominancia Simpson.** Los índices de dominancia se basan en parámetros inversos a los conceptos de equidad puesto que toman en cuenta la dominancia de las especies con mayor representatividad, para lo cual el índice más común para utilizar es el índice de Simpson (Orellana, 2009).

$$D_{Si} = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

$\pi_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

**Índice de equidad de Shannon-Wiener.** Se define como la diversidad que se alcanza cuando todas las especies están igualmente presentes (Pla, 2006)

$$H_i = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i$$

Mide el contenido de información por individuo en muestras obtenidas al azar proveniente de una comunidad ‘extensa’ de la que se conoce el número total de especies  $S$ .

**Índice de estructura Chao 1.** Este es un estimador del número de especies en una comunidad basándose en el número de especies raras que hay en la muestra (Quiñones Matínez, 2009)

$$Chao\ 1 = S + \frac{a^2}{2b}$$

$S$  = es el número de especies en una muestra

$a$  = es el número de especies que están representadas solamente por un único individuo en esa muestra

$b$  = es el número de especies representadas por exactamente dos individuos en la muestra

**Estimador de abundancia de cobertura ACE.** Dividen las especies presentes en una muestra en abundantes ( $r_{abun}$  cuando tiene más de  $k$  individuos en la muestra) y raras ( $r_{rara}$  aquellas con  $k$  o menos individuos). La estimación del número de especies ausentes utilizado para corregir el sesgo se basa enteramente en las especies consideradas raras ya que las abundantes serán observadas en toda muestra (Pla, 2006).

$$ACE = r_{abun} + \frac{r_{rara}}{C_{rara}} + \frac{f_1}{C_{rara}} \gamma^2$$

**Estimador de cobertura en incidencia ICE.** ICE se basa en el número de especies raras (las observadas en menos de 10 unidades de muestreo (Gonzales Oreja, Fuentes Dias, Hernandez Santin, Buzo Franco, y Bonache Regidor, 2010). Según (Basualdo, 2011) la descripción de la fórmula es

$$ICE = S_{Frec} + \frac{S_{Inf}}{C_{ICE}} + \frac{Q_1}{C_{ICE}} \gamma_{ICE}^2$$

Donde

$S_{frec}$  = número de especies frecuentes, es decir, las especies presentes en más de k muestras (por defecto cada encuentran en más de 10 muestras)

$S_{Inf}$  = número de especies poco frecuentes, es decir, especies presentes en menos de k muestras (por defecto cada encuentran en 10 o menos muestras)

$Q_1$  = La frecuencia total de usuarios únicos

$C_{ICE}$  = Muestra la cobertura incidencia estimador

$\gamma_{ice}$  = Coeficiente estimado de variación del  $Q_i$  para especies poco frecuentes

### 3.3. Almacenamiento y captura de carbono

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono (Rugnitz, *et al.* 2009). Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de  $CO_2$ . En el pasado, el desarrollo de la agricultura fue la principal causa del incremento de la concentración de  $CO_2$  en la atmósfera, Un hecho importante, es que mientras la deforestación de muchas áreas tropicales produce emisiones de carbono estimadas en 1,5 Pg/año, al mismo tiempo se produce una acumulación en los ecosistemas terrestres de 1,8 a 2 Pg/año (FAO, 2002).

Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados - degradados o mejorados- por los cambios en el uso y el manejo de la tierra (FAO, 2002).

El carbono presente en el suelo está ampliamente relacionado al proceso de descomposición de la biomasa por las actividades bacterianas. Parte del carbono presente en el suelo regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización del carbono orgánico (Rugnitz *et al.* 2009).

### **3.3.1. Los bosques como reserva de carbono**

Un bosque, como cualquier ecosistema, acumula carbono de la atmósfera por descomposición de dióxido de carbono, en carbono y oxígeno. El carbono así producido es almacenado en los troncos de los árboles, ramas, hojas y otras partes de las plantas, así como en los suelos en forma de biomasa viva y muerta. La biomasa seca de un árbol supone dos toneladas aproximadamente, que pueden contener alrededor de una tonelada de carbono. Un bosque tropical húmedo puede almacenar hasta 430 toneladas de carbono por hectárea en la biomasa aérea (CIFOR centro de investigación forestal, 2009).

Según el informe de 2007 del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático los bosques del mundo almacenan más de 650,000 millones de toneladas de carbono: el 44% en biomasa; el 11 % en madera muerta y hojarasca, y el 45 % en suelo. Los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro sumidero de carbono. En proyectos de fijación de carbono este componente es importante, ya que corresponde a entre un 10 y un 40% de la biomasa total (Andrade e Ibrahim, 2003). Las investigaciones recientes indican que los bosques, aún en pie, fijan por lo menos 25% del carbono (CO<sub>2</sub>) proveniente de la combustión de combustibles fósiles (Malhi 1998 *et al.* Citado Zamora, 2002).

En el sector del uso de la tierra y bosques se han identificado dos estrategias principales para acumular carbono. La primera se refiere a aumentar la fijación de carbono al crear o mejorar los sumideros existentes y la segunda consiste en prevenir o reducir la tasa de liberación de carbono ya fijado en sumideros existentes. Las actividades de fijación de carbono pueden incluir tratamientos silviculturales para aumentar el crecimiento, agro forestación, forestación, reforestación y restauración de áreas (Zambrano *et al.* 2004).

Los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen el 60% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad. Los ecosistemas forestales contienen más

carbono por unidad de superficie que cualquier otro uso de la tierra y sus suelos (que contienen cerca del 40% del total del carbono) son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. La reforestación, sobre todo en suelos degradados será una forma importante de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo (Zambrano *et al.* 2004).

La biomasa tiene muchas ventajas para asegurar un futuro favorable para el medio ambiente. Los estudios sobre secuestro del carbono y la producción de carbono orgánico del suelo, son características importantes en los ciclos biogeoquímicos y la contribución del suelo a las emisiones de gas del efecto invernadero. Los macroagregados (>0,25 mm de diámetro) tienen una mayor concentración de carbono de la biomasa microbiana y del carbono mineralizable que los microagregados cerca de la superficie del suelo. (Zambrano *et al.* 2004).

El almacenamiento neto de carbono orgánico en los bosques depende del manejo dado a la cobertura vegetal, edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta. El servicio ambiental que proveen los bosques y selvas como secuestradores de carbono permite reducir la concentración de este elemento en la atmósfera, mismo que se incrementa debido a las emisiones producto de la actividad humana (Torrez & Guevara, 2002).

Los bosques maduros, que ya no crecen más, alcanzan al mismo tiempo una acumulación cero de carbono; cuando los árboles mueren, arden o se talan, una parte del carbono se libera a la atmósfera. Los bosques secundarios se establecen como un acumulador de carbono en los primeros 25 años de vida, la cantidad absoluta que se acumula anualmente aumenta de manera exponencial desde un mínimo en el año 1 sucesional a un punto máximo de 100% a los 25 años. Luego desde el año 25 al 75 la cantidad acumulada tiende a reducirse exponencialmente hasta el año 75, de ahí en adelante el bosque almacena carbono (MAGFOR, PROFORM, BM, 2005).

Salazar *et al.* (2012) reportan el estudio realizado al este del lago de Nicaragua, con el propósito de identificar áreas remanentes de bosque con alto potencial de servicios ambientales. Se seleccionaron seis fragmentos de vegetación, tomando las variables diversidad de bosque y carbono almacenado. Los resultados evidencian que el fragmento tres mostró mayor diversidad y se identificaron 21 familias, 25 géneros y 30 especies, en cuanto a carbono capturado los fragmentos uno con 30 Mg de C/ha y el fragmento tres con 24 Mg de C/ha presentaron las mayores capturas.

### **3.3.2. Sistemas de producción y secuestro de carbono**

En el estudio realizado por Sierra D. C. (2010) en el cultivo de caña de azúcar en relación de captura de carbono con factores ambientales determinó que los factores de manejo están estrechamente asociados a la captura de carbono; tales factores corresponden al tipo de siembra, la cosecha y la fertilización; en el caso del primer factor, este influye en la densidad de plantas por unidad de área dentro del cultivo, lo cual podría influir en los rendimientos de biomasa por hectárea del mismo.

Una mejor aireación del suelo generada por el aumento en el contenido de la materia orgánica y el resultante aumento en la estabilidad de la agregación inhibirá la desnitrificación y estimulará la oxidación del CH<sub>4</sub>. La conversión de suelos naturales a suelos agrícolas reduce su capacidad para servir como un sumidero para CH<sub>4</sub> (Verhulst *et al.*, *sf*)

La capacidad de secuestrar carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: el área total de esos ecosistemas y el número de árboles por unidad de área (Ortiz & Riascos, 2006).

El carbono del suelo en las tierras de sistemas con pastizales es estimado en 70 t/ha, cifra similar a las cantidades almacenadas en los suelos. Debido a la poca confiabilidad de los datos, las estadísticas de la FAO sobre uso de la tierra no proporcionan más el área de las tierras de pastoreo; Muchas áreas de tierras de pastoreo en las zonas tropicales y áridas son

mal manejadas y están degradadas; por lo tanto, ofrecen variadas posibilidades de secuestro de carbono. (FAO, 2002).

Por otra parte, Flores *et al.* (2013) realizaron estudio con el objetivo de evaluar los servicios ambientales en términos de diversidad arbórea y secuestro de carbono en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* en cinco fincas cafetalera de Madriz. Las variables medidas corresponden a características dasométricas, diversidad en el SAF con café y secuestro de carbono. Los resultados reflejaron que en los sistemas estudiados existen un total de 43 especies de árboles, distribuidas en 25 familias siendo las más comunes *Musaceae* y *Fabaceae*, en cuanto al secuestro de carbono estos sistemas fijan alrededor de 137 Ton C/Ha, siendo el componente suelo quien fija la mayor parte (44.53%) y la biomasa de café (31.62%), en cambio la biomasa aérea y radicular de los árboles de sombra fijan el 18.46% y 3.69% respectivamente.

### **3.4. Agricultura y conservación**

Parte de la economía nacional, se basa en la utilización de los componentes de la biodiversidad. Más del 30% del PIB es atribuible a los sectores que hacen uso y aprovechamiento de la biodiversidad destacándose la agricultura y la ganadería (MARENA, 2014). Las comunidades vegetales están íntimamente asociadas al manejo del sistema agrícola y son un claro reflejo de la sostenibilidad del sistema de producción. La presencia y diversidad de vegetación acompañante puede ser un útil indicador de la calidad del sistema productivo en términos de conservación (Becker, 1995). La agricultura intensiva (monocultivos que requieren grandes aportaciones de productos químicos) actúa de forma negativa sobre la biodiversidad, imponiendo barreras entre los ecosistemas naturales y envenenándolos (Pearce, 2006).

Pero, la biodiversidad (ecosistemas, especies y genes) ha estado amenazada, fundamentalmente por los modelos de desarrollo y los sistemas tecnológicos utilizados en los procesos productivos. Estas repercusiones afectan con mayor intensidad a las personas

que dependen directamente del servicio de los ecosistemas (MARENA, 2014). Según el Convenio sobre la Biodiversidad Biológica en el año 2008, hacen énfasis en que los sistemas modernos incluyendo el uso de monocultivos, usos de variedades de altos rendimientos y los híbridos, la alta necesidad de insumos, la homogenización de la agricultura con el paisaje, eliminación de los espacios naturales, arboledas y los humedales a fin de lograr mayor escala de producción han llevado también a la disminución de la biodiversidad y los servicios ecológicos (Biológica, 2008).

La magnitud del impacto de los diversos sistemas agropecuarios sobre de la diversidad varía según la intensidad del sistema agropecuario, la tecnología que emplea la cantidad de espacio que ocupa y la vulnerabilidad del ecosistema natural. Los sistemas poco intensivos, tecnificado y de pequeña escala son menos dañinos para la diversidad natural, que los sistemas comerciales de gran escala que implican una mayor sustitución natural y utilizan más insumos químicos (Eastmond & García, 2006).

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1. Ubicación del estudio**

El estudio se llevó en la Reserva Natural de Cerro Tomabú, cuenta con una extensión de 809,128 has en el Área Protegida y 1.316,351 has en su Zona de Amortiguamiento, ubicada en el municipio de Estelí, del departamento de Estelí, en tres comunidades que son El Espinal, Llano Redondo y San Antonio (anexo 1). La Reserva se encuentra en un cuadrante con las siguientes coordenadas 12° 59' 54" a 13° 03' 34" Latitud Norte y 86°16' 10" a 86°19'20" Longitud Oeste (Earth,Google, 2015).

El área de la reserva Cerro Tomabú es una zona protegida de acuerdo a la ley 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. La que resalta en sus artículos las normalidades y control del área protegida, administración del sistema y su respectiva zona de amortiguamiento (República de Nicaragua, 1996). Por otro lado, el decreto N<sup>o</sup> 42-91 definió las áreas protegidas como cerros, montañas y lagunas que una vez delimitada se establecerán normas, regulaciones y la conservación de sus ecosistemas, protección de especies y aprovechamiento racional de los recursos naturales (República de Nicaragua, 1991).

### **4.2. Universo y muestra**

La investigación se realizó en la reserva Natural Tomabú, en donde se tomaron tres fincas en las tres comunidades, utilizando como criterio que incorporará más de un uso de suelo, con un área mínima de una manzana de bosque, media manzana de producción hortícola e igual para pastizales.

**Tabla 1. Datos generales de las fincas incluidas en el estudio**

Nombre del productor	Comunidad	Coordenada		Altitud msnm
		X	Y	
Rodolfo Valdivia	Llano Redondo	0575151	1441608	1170
Samuel Isaías Avilés	San Antonio	0576451	1443915	812
Isidro Montenegro	El Espinal	0578768	1441751	1005

Para el uso de suelo con pastos, las parcelas establecidas presentaron pasto mejorado Marandú (*Brachiaria brizantha*), Taiwán (*Pennisetum purpureum*), Estrella (*Cynodon* sp.) y grama de montaña. Mientras que las parcelas de cultivo presentaron tomate bajo riego por goteo y el cultivo de café bajo sistema agroforestal. Las parcelas de bosque ubicadas en la misma finca.

### **4.3. Variables del estudio**

#### **4.3.1. Del sitio y las características del estrato arbóreo**

**Altitud:** Distancia vertical de un punto de la tierra con respecto al nivel del mar, expresado en metros sobre el nivel del mar medidos en msnm con un GPS Garmin 73.

**Diámetro a la altura del pecho (Dap):** Valor numérico del diámetro del árbol tomado a la altura del pecho o 1.3 m. Se midió con una cinta diamétrica para cada una de los individuos del dosel arbóreo dentro de la parcela y se expresa en centímetros el cual se utilizó para determinar las clases diamétricas de los árboles en estudio, valor de importancia relativo y captura de carbono.

**Altura del árbol:** La medición de la altura de los árboles se realizó con la ayuda de un Clinómetro, la medición de la altura se realizó en distancias del árbol (a 15, 20, 30 o 40 metros). Para evitar los errores de medición, la distancia desde el árbol debe ser equivalente a su altura. Este dato se utilizó para determinar secuestro de carbono.

**Área basal:** Es al área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura del pecho, es decir, a 1.30 m, se obtiene a partir de la fórmula del área del círculo, expresada como  $A = (\pi/4)*d^2$ , donde "d" es el diámetro. Este dato se utilizó para determinar secuestro de carbono y el VIR (Valor de importancia Relativo).

**La densidad de población:** denominada población relativa (para diferenciarla de la absoluta), se refiere al número promedio de individuos en relación a una unidad de superficie dada de  $1000m^2$  el cual se utilizó para determinar el VIR.

#### **4.3.2. Diversidad de especies en los diferentes usos de suelo**

**Riqueza:** Se considera la definición propuesta por Moreno (2001). Se incluyen:

1. Número de especies encontradas o estructura de la comunidad (dominancia, equidad, riqueza), expresadas en frecuencias e individuos.
2. Número de géneros encontrados y se agrupan por familias.
3. Número de familias encontradas expresadas en frecuencia y porcentaje.

**Estructura:** Se considera la definición propuesta por Moreno (2001), se calculó la frecuencia y acumulación de individuos-especies definidas por el modelo no paramétrico:

1. El Índice de Chao1
2. Estimador de abundancia de cobertura (ACE)
3. Estimador de incidencia de cobertura (ICE)

**Abundancia.** Se realizó mediante cálculos de los índices siguientes de acuerdo a Moreno (2001):

1. Índice de dominancia utilizando el Índice de Simpson.
2. Índice de equidad considerando el Índice de Shannon-Wiener

**VIR (Valor de importancia relativa)** Es la sumatoria del área basal relativa más la densidad relativa; donde el área basal relativa es el área basal de cada especie dividida por el área basal total en la hectárea y la densidad relativa es el número de individuos por especie dividida por el número total de individuos presentes por parcela.

### **4.3.3. Secuestro de carbono en los diferentes usos de suelo**

Se entiende como la estimación del carbono total almacenado en los diferentes estratos que son en el estrato arbóreo, hojarasca, suelo, necromasa y raíces finas expresado en t C ha<sup>-1</sup>. A continuación se explica cada uno de ellos.

#### **Secuestro de carbono en el estrato arbóreo**

La estimación de biomasa aérea a nivel de parcela, es una sumatoria de la biomasa de todos los individuos encontrados en la parcela. La estimación de la biomasa aérea de cada uno de los individuos se realizó por medio de ecuaciones alométricas basadas en diámetros a la altura del pecho (Dap) y altura total (H).

#### **Secuestro de carbono en hojarasca**

Corresponde al peso seco de la hojarasca en la unidad de muestreo. Una vez obtenido el peso seco en gramos por unidad de muestreo (0.25 m<sup>2</sup>), se extrapoló a una hectárea (factor de extrapolación 0.04).

#### **Secuestro de carbono en raíces finas**

En el caso de las raíces finas se realizó el mismo procedimiento que para hojarasca, pero para la extrapolación se utilizó el factor de extrapolación 1, ya que el área de muestreo es de 0.01 m<sup>2</sup>).

#### **Secuestro de carbono en suelo**

Corresponde al carbono contenido en el suelo y se calculó a partir de la materia orgánica según el método de pérdida por calcinación (Sadzawka, Renato, Mora, Hugo, & Neaman, 2006), por consiguiente, para el cálculo de carbono orgánico se multiplicó la materia orgánica por el coeficiente 1.724 (Leon & Aguilar, 1987).

#### **Secuestro de carbono en necromasa**

Se obtiene de la biomasa estimada a partir del registro del diámetro (cm) de todas las ramas muertas con un diámetro < 2 cm (necromasa fina) y ≥ 2 cm (necromasa gruesa) localizadas dentro del transecto (Scott *et al.* 1992).

#### **4.4. Diseño del estudio**

Es un estudio cuantitativo no experimental, que utilizó como técnica la observación y la hoja de campo como instrumento. En estos últimos se registraron las variables considerando la comunidad, parcela, uso de suelo y finca. Se prepararon hojas de campo para determinar y clasificar la biodiversidad en bosque la cual contenía número de árboles, nombre común, nombre científico. En esta misma hoja se determinaron datos para determinar carbono y se estableció el diámetro del árbol y altura. Por otro lado, se estructuraron hojas de campos para raíces finas y hojarasca en donde se anotaron los pesos de éstos. La misma forma se estructuró una hoja de campo para especificar captura de carbono en suelo. (Anexo 2)

Para la recopilación y análisis de datos, el estudio se dividió en tres fases de la siguiente manera: fase de campo, fase de laboratorio y fase de análisis de datos. Cada una de las fases de la metodología empleada se describe en detalle a continuación.

##### **4.4.1. Fase de campo**

###### **Muestreo de vegetación**

En el área de la Reserva Cerro Tomabú, se definieron parcelas por uso de suelo de acuerdo a los sistemas de producción presentes, teniendo en cuenta un número mínimo de tres parcelas por sistema, considerando la ubicación de los sistemas dentro las fincas (anexo 3). La forma de cada parcela de medición fue rectangular con un tamaño de 0.1 ha (20 x 50 m) que fue dividida en 10 sub-parcelas de 100 m<sup>2</sup> (5 x 20 m) de acuerdo a metodología propuesta por (Gentry, 1993b). En cada parcela se registraron el nombre de la especie, Dap (diámetro a la altura del pecho) y altura total (H) para todos los individuos con Dap > a 8 cm de circunferencia y mayores a tres metros de altura (anexo 4).

Para árboles con tallos múltiples el Dap de todos los tallos se midió a la altura del pecho. Individuos cuyo tallo era ramificado por debajo de 1.3 mts (Dap), cada una de las ramificaciones a la altura del pecho se midió y posteriormente se sumaron las áreas basales obtenidas de cada una de estas ramificaciones. Se incluyeron árboles caídos que estaban

vivos, pero que la raíz se encontraba dentro de la parcela. Árboles que se encontraban en el límite de la parcela incluidos cuando al menos la mitad de su tronco estuviese dentro de la parcela (anexo 6).

La identificación de especies arbóreas se realizó en el campo con la intervención de las personas de la zona que reconocían las especies con sus nombre comunes, además se llevaron muestras al Instituto Técnico Forestal (INTECFOR) para comparar algunas especies de difícil identificación con la ayuda de docentes dendrólogos. Con la ayuda de guías dendrológicas se determinaron las taxas y características de las especies (Salas Estradas, 1993), (Cordero & Boshier, 2003).

#### **Muestreo de hojarasca, suelo y raíces finas**

En cada parcela de medición se establecieron cuatro puntos de muestreo de la hojarasca y las raíces finas. La selección de los puntos de muestreo dentro de la parcela siguió un patrón sistemático, con un distanciamiento de 10 m entre cada punto de muestreo. En cada punto de muestreo fue recolectado todo el material muerto en un área de 0.25 m<sup>2</sup> y puesto en polietileno para ser transportado al laboratorio y ser pesado posteriormente.

En el mismo punto se obtuvieron las muestras de raíces extrayendo el suelo de un área de 10 cm x 10cm a una profundidad de 20 cm (anexo 5). Para las muestras de suelo se colectó una muestra por parcela, anterior a esto, se extrajo tres submuestras de tres sitios de la parcela, haciendo un hoyo de 20 cm de profundidad, se utilizó una pala pequeña, luego las submuestras de suelo se homogenizaron para obtener una sola muestra, que se empacó en bolsas de polietileno para su transporte al laboratorio de suelos de UCATSE (anexo 6).

#### **4.4.2. Fase de laboratorio**

##### **Secado y pesado de la hojarasca y raíces finas**

En el laboratorio, las muestras de raíces fueron lavadas y separadas por medio de un tamiz de 0.5 mm de apertura después de una inmersión en agua. Se separaron las raíces más gruesas y otros residuos procurando dejar en la muestra solamente las raíces inferiores a 0.5 mm de diámetro. Las muestras lavadas de raíces se colocaron en bolsas de papel y secadas

al horno a 70° C por al menos 72 horas (Acosta *et al.* 2001). Al mismo tiempo, las muestras de hojarasca se colocaron en bolsas de papel y secadas a la misma temperatura por el mismo tiempo. Luego las muestras tanto de hojarasca como de raíces finas se pesaron en una balanza de precisión (anexo 6).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La diversidad de especies en un territorio viene definida por el número de especies (riqueza) y el tamaño poblacional de cada especie (abundancia) y está determinada en gran medida por la variedad de nichos ecológicos existentes y la historia geológica del territorio. Pero hay que tener en cuenta que las comunidades vegetales están íntimamente asociadas al manejo del sistema agrícola y son un claro reflejo de la sostenibilidad del sistema de producción. La presencia y diversidad de vegetación acompañante puede ser un útil indicador de la calidad del sistema productivo en términos de conservación (Becker, 1995).

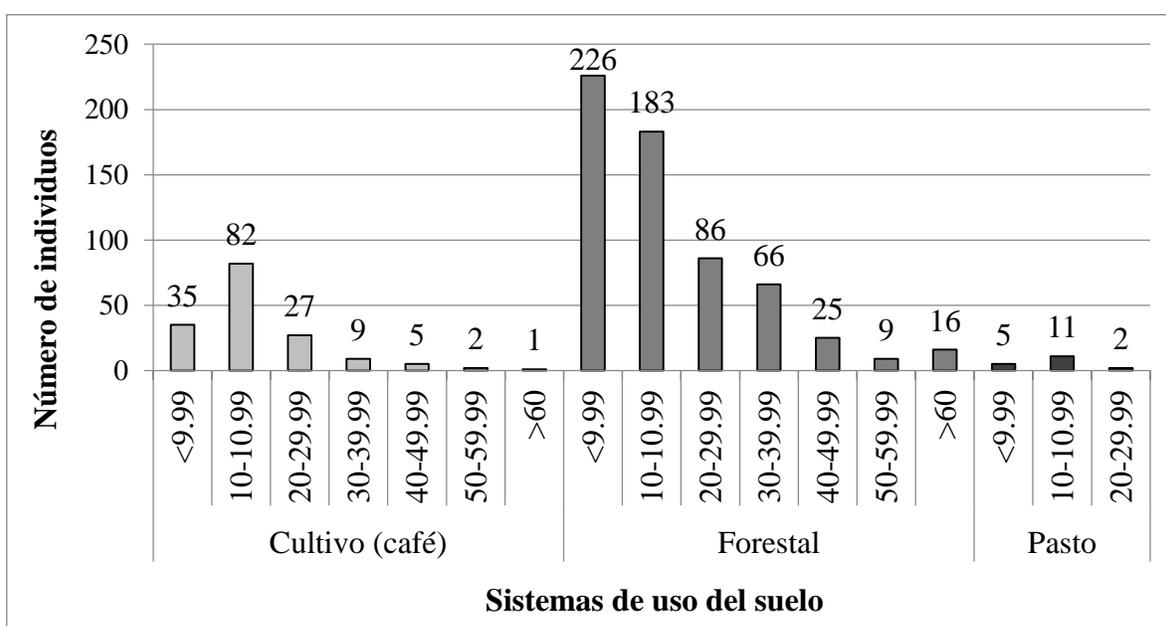
El avance de la frontera agrícola es el principal factor de presión sobre la diversidad arbórea de la reserva, siendo el enemigo número uno del bosque, las áreas destinadas para cultivos de granos básicos con un 97.7% del área total y hortalizas con un 1.8% del total del área. Sin embargo, los sistemas de producción compatibles para mantener la diversidad arbórea, son los rubros café y frutales con un 0.5% del total del área (Valdivia Lorente, 2016).

### 5.1. Del sitio y las características del estrato arbóreo

Se tomó la altura de los sitios donde fueron establecidas las parcelas, de manera que se identificó que las parcelas de la comunidad Llano redondo se ubican con la mayor altura de 1170 msnm, teniendo diferentes altitudes a lo largo de un gradiente de 812 a 1170 msnm, con una diferencia aproximada de 170 metros de altura entre ellos. El gradiente de altitud, sumado a diferencias en calidad de suelos y otras condiciones puede establecer diferencias estructurales y florísticas, tal como lo destaca Alaníz (2013), que encontró en la Reserva Privada Santa Rosa, en el Tisey, Estelí, tres asociaciones de vegetación con base en la similitud de especies dominantes, en donde la asociación *Quercus* y otras especies se ubicaron a mayor elevación (1460 a 1530 msnm).

Respecto de las clases diamétricas, la figura 1 indica que el sistema forestal es el que obtiene la mayor tasa de individuos y diversidad de diámetros por árboles, pero con el

número más alto de individuos de 9.99 cm de diámetro, clasificándose como bosque de latizales altos (Beek & Saenz, 1992). El INAFOR (2008) por su parte, recomienda que los bosques con estas clases diamétricas necesiten algún tipo de aplicación de tratamientos silviculturales para favorecer su crecimiento y sanidad. Asimismo, indica que en los bosques latifoliados de Nicaragua la mayoría de las especies (15%) tienen un diámetro de 30 a 30.99 cm de diámetro, mostrando similitud con los resultados de la presente investigación en cuanto a un orden decreciente de los diámetros. También, se encontraron resultados similares para árboles en pasturas de fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica, donde el mayor número de árboles tienen diámetros de 10 a 20 cm (Villanueva *et al.* 2003).



**Figura 1. Distribución de individuos por clases diamétricas y usos de suelo**

## 5.2. Diversidad de especies en los diferentes usos de suelo

La diversidad se refiere a la variedad de ecosistemas, de hábitats y de comunidades de la Tierra, tales como el bosque tropical, el bosque mediterráneo, arrecifes, desiertos, etc. También se refiere a la variedad de procesos ecológicos que sostienen la vida y contribuyen a su evolución. Los ecosistemas varían de un lugar a otro por las diferencias físicas que existen (tipo de suelo, disponibilidad de agua, clima) además de las perturbaciones humanas y naturales (Pearce, 2006).

### 5.2.1. Riqueza arbórea de los usos de suelos en estudio

En la tabla 2 se expresa la distribución total de la riqueza, se contabilizaron 26 familias, 47 géneros y 57 especies de un total de 790 individuos. Las familias en los sistemas arbóreos más comunes fueron Mimosaceae, Rhamnaceae y Moraceae.

En sistemas de café bajo sombra, Méndez *et al.* (2013) obtuvieron una mayor riqueza con 46 familias, pero menor con relación a los géneros y especies con 15 y 34 respectivamente, es decir el presente estudio se concentra en menos familias. Pero los resultados son superados ampliamente por los hallazgos de López *et al.* (2014) en estudio sobre la vegetación secundaria en tres regiones de la sierra norte de Chiapas, México, al encontrar 43 familias distribuidos en 104 géneros con 133 especies.

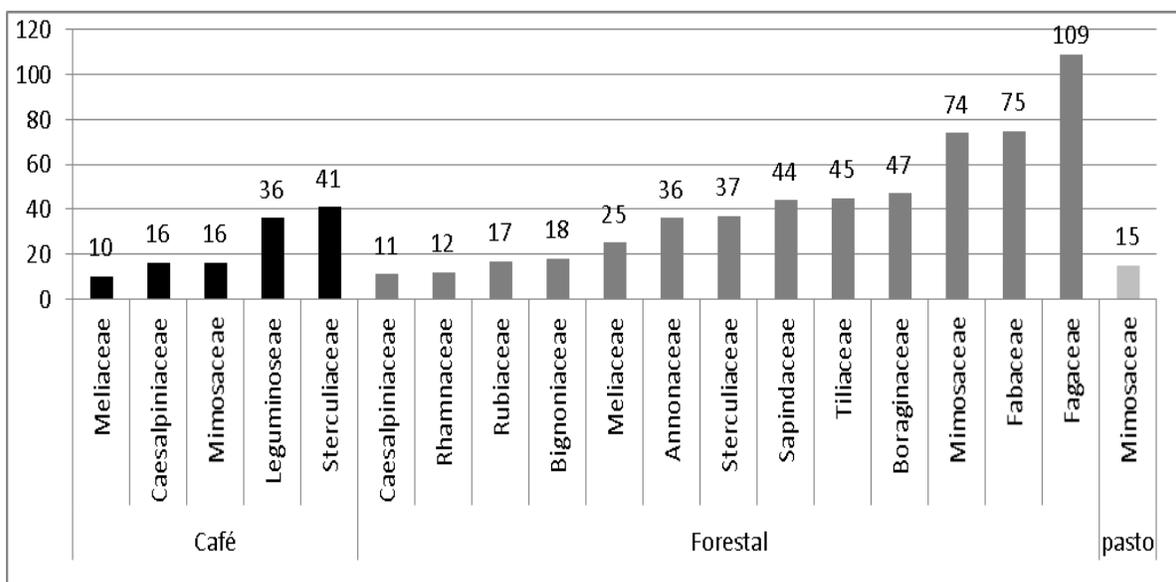
**Tabla 2. Riqueza en los usos de suelos estudiados**

Taxas	Sistema						Número de individuos
	Bosque		Cultivo		Pasto		
	Frec	%	Frec	%	Frec	%	
<b>Familia</b>	26	55.32	17	36.17	4	8.51	47
<b>Géneros</b>	47	68.12	18	26.09	4	5.80	69
<b>Especies</b>	57	69.51	21	30.43	4	4.88	82

En la figura 2 se demuestra las diferencias entre familias de importancia por sistemas que obtuvieron un número mayor de 10 individuos y para un total en los tres usos de suelos de 790 individuos. La familia que se considera de importancia es Mimosaceae por estar presente en todos los sistemas. Los resultados indican una actividad selectiva, ya que en contraste, estudio realizado por Vázquez *et al.* (2011) en una selva alta perennifolia de Tabasco, México, las familias más importantes fueron Rubiaceae, Fabaceae, Sapotaceae, Moraceae, Annonaceae y Arecaceae, de las cuales solamente Fabaceae y Annonaceae fueron encontradas en las áreas de bosque en el presente estudio.

No obstante, la familia Mimosaceae con 13 especies y nueve géneros resultó la más importante, en trabajo realizado por Siles *et al.* (2013) en cercas vivas, al igual que en el

presente estudio. Por su parte, en una investigación realizada por Delgado & Ramírez (2008) en México, refleja que en los sistemas de pasturas se encuentran comúnmente las familias Fabaceae, Moraceae, Sterculiaceae, familias que no se reconocen en las áreas de pastos en la actual investigación, pero aparecen en el bosque, con excepción de Moraceae.



**Figura 2. Distribución de las familias más importantes por los usos de suelo estudiados**

Los géneros comunes a los tres sistemas que se encontraron son *Acacia*, *Cordia*, *Guazuma* y *Karwinskia*, con una especie cada uno, que son las que presentan la mayor cantidad de individuos, y que se encontraron en la diversidad arbórea de los tres sistemas. El sistema forestal contiene 13 géneros, cuatro de ellos incluyen dos especies cada uno y son *Acacia*, *Annona*, *Lysiloma* y *Pithecellobium*. El bosque comparte siete y cuatro géneros con el cultivo café y pastos respectivamente.

La familia Mimosaceae y en particular *Acacia pennatula* es de importancia por su gran capacidad colonizadora en áreas de pasto abandonadas. Varias de las especies que se han encontrado son características de áreas de vocación forestal sometidas a cierto grado de explotación antrópica, las especies *Guazuma ulmifolia* y *Acacia collinsii* están asociadas a las comunidades de *A. pennatula* (Cabanes *et al.*, 2012).

En este sentido, Acuña *et al.* (2013) encontró en áreas de pastos de Estelí, a *Guazuma ulmifolia* y *Karwinskia calderonii*, la primera de las cuales, parece ser muy común por las preferencias de los productores. Se considera que los patrones de la riqueza en los sistemas de pastizales están relacionados con la adaptación a la plasticidad ante el manejo de las pasturas y las preferencias de los productores, lo que se refleja en especies comunes en zonas ecológicas similares (Ibrahim, Villanueva, Rojas, & Casasola, 2006).

**Tabla 3. Principales géneros y especies por usos de suelo con un número de individuos mayor a nueve**

Café		Forestal		pasto	
Género	Especie	Género	Especie	Género	Especie
<i>Acacia</i>	<i>Pennatula</i>	<i>Acacia</i>	<i>Pennatula</i>	<i>Acacia</i>	<i>pennatula</i>
<i>Bursera</i>	<i>Simaruba</i>		<i>Hindssi</i>	<i>Cordia</i>	<i>alliodora</i>
<i>Caesalpinia</i>	<i>Velutina</i>	<i>Annona</i>	<i>Reticulata</i>	<i>Guazuma</i>	<i>ulmifolia</i>
<i>Cedrela</i>	<i>Odorata</i>		<i>Squamosa</i>	<i>Karwinskia</i>	<i>calderonii</i>
<i>Gliricidia</i>	<i>Sepium</i>	<i>Cedrela</i>	<i>Odorata</i>		
<i>Guazuma</i>	<i>Ulmifolia</i>	<i>Cordia</i>	<i>Alliodora</i>		
<i>Karwinskia</i>	<i>calderonii</i>	<i>Enterolobium</i>	<i>ciclocarpum</i>		
		<i>Guazuma</i>	<i>Ulmifolia</i>		
		<i>Karwinskia</i>	<i>Calderonii</i>		
		<i>Luehea</i>	<i>Candida</i>		
		<i>Lysiloma</i>	<i>divaricatum</i>		
			<i>Latisiliquum</i>		
		<i>Pithecellobium</i>	<i>Dulce</i>		
			<i>Saman</i>		
		<i>Quercus</i>	<i>Oocarpa</i>		
		<i>Sapindus</i>	<i>Saponaria</i>		
		<i>Sapium</i>	<i>macrocarpum</i>		

### 5.2.2. Estructura atendiendo a los usos de suelo

En la tabla 3 se describen los resultados de los índices de diversidad ACE, ICE y Chao 1, en los sistemas en estudio indicando las comunidades; en los que resalta que estas áreas de bosque guardan una diversidad que supera a aquellas destinadas a la actividad productiva, que todavía conservan árboles, como el caso de las parcelas con pasto en El Espinal o café en Llano Redondo.

Las parcelas de San Antonio muestran los valores más bajos para estos índices. El índice ICE para el sistema forestal de la finca el Espinal muestra un valor de 73.07. La misma tendencia se observa para el índice de Chao 1 con un valor de 63.29, indicando que el sistema forestal presenta mayor número de especies raras con respecto a los otros sistemas. Los menores valores para Chao 1 se encuentran en los sistemas de cultivo y pasto. Igual, sucede con ACE que presenta un valor de 64.94.

Respecto de estos índices, similar comportamiento se encontró en la caracterización de la vegetación arbórea y arbustiva con potencial de servicios ambientales, al este del lago de Nicaragua, en donde ICE y ACE indican que los fragmentos de bosque estudiado todavía conservan una diversidad de especies que justifica implementar un programa de manejo y conservación para estos fragmentos de bosque (Salazar, Gámez & Siles, 2012).

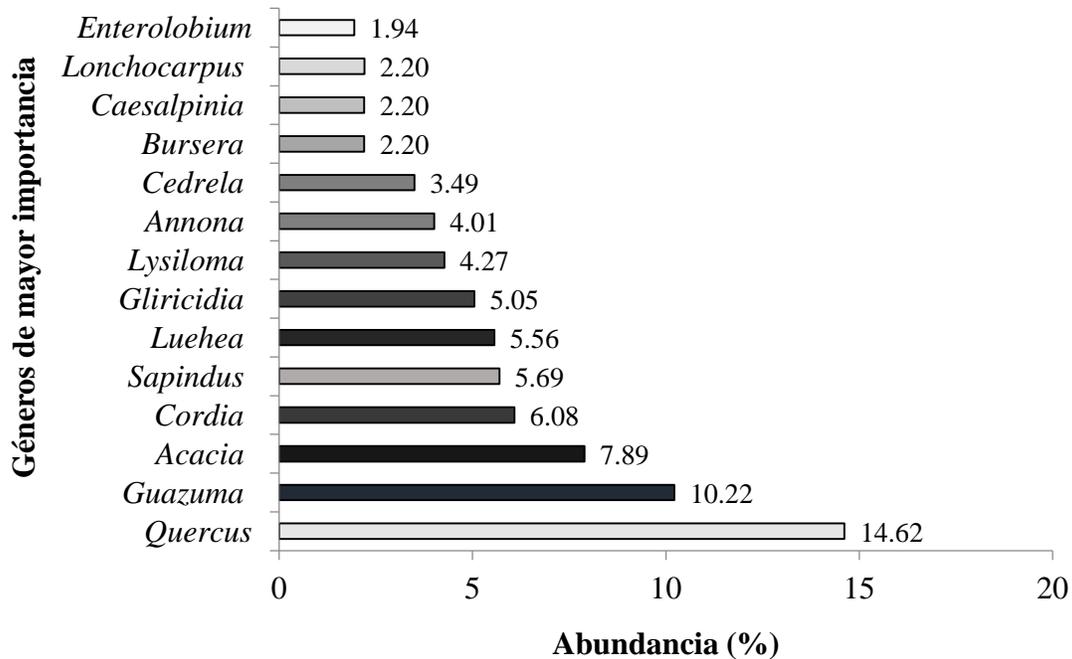
**Tabla 4. Diferencia de los índices de diversidad por sistemas (valores medios)**

Comunidad	Sistema	ACE	ICE	Chao 1
San Antonio	Cultivo	0.00	0.00	0.00
	Forestal	36.89	48.15	34.10
	Pasto	0.00	0.00	0.00
Llano Redondo	Cultivo (café)	24.53	27.53	24.87
	Forestal	55.33	62.71	54.33
	Pasto	0.00	0.00	0.00
El Espinal	Cultivo	0.00	0.00	0.00
	Forestal	64.94	73.07	63.29
	Pasto	8.57	13.03	7.62

### 5.2.3. Abundancia de individuos en el área estudiada

Tal como lo indica la figura 3, la abundancia de las especies de las parcelas estudiadas, está representada con un total de 73.80% (14 especies) del total de los individuos (597 Individuos), teniendo en cuenta que el género y especie con más representatividad es *Q. oocarpa* con un 14.62%, y *G. ulmifolia* con 10.22%. De igual manera, en el estudio realizado por (Alaniz, 2013) se encontraron en las parcelas muestreadas en la Reserva Tisey, Estelí, como familias de mayor abundancia Fagaceae (la que incluye el género *Quercus*), Myrtaceae, Mimosaceae y Fabaceae, representando estas familias el 92.4% de abundancia de individuos encontrados.

Hay similitudes con resultados del inventario Nacional Forestal realizado por INAFOR (2007-2008) respecto de la especie *G. ulmifolia* que ésta entre las 10 especies más abundantes conformadas por el 21.4%, dentro de los bosques de Nicaragua, con un representación del 2.66% del total, la especie *P. oocarpa* se encontró en un 1.67% y de igual manera en las áreas fuera de bosque, *G. ulmifolia* se halló en primer lugar con un 7.13% de 34.94% del total representado por 10 individuos, seguido de *C. alliadora* con 6.10% y en tercer lugar *G. sepium* con un 3.82%, *G. ulmifolia* con 12.6% es la segunda de las 10 especies más abundantes que conforman el 70.5%, en cercas vivas del trópico seco de Costa Rica (Villanueva *et al.* 2003). Entre las 10 especies más abundantes está primeramente *T. rosea* con un 12.8% de abundancia y en tercer lugar *C. alliadora* con 12%.



**Figura 3. Distribución de los géneros con la mayor abundancia de individuos**

La abundancia de los sistemas determinada en este estudio por los índices de Shannon y Simpson, indica que las parcelas abundantes respecto de individuos y número de especies es el uso de suelo forestal con respecto a los demás sistemas (3.22 y 15.35 respectivamente). Las parcelas de cultivo en las comunidades de San Antonio y El Espinal, así como las de pasto en San Antonio y Llano Redondo no muestran valores para estos índices por no contener componente arbóreo.

De acuerdo al índice de Shannon en el sistema forestal están representadas todas las especies y uniformemente distribuidas en todas las parcelas, lo que indican que este sistema es equitativo (3.22, 3.14 y 2.71). Asimismo, este sistema es el más dominante de acuerdo al índice de Simpson indicando que muestra una probabilidad más alta de que dos individuos sacados al azar correspondan a la misma especie (15.35, 14.82 y 11.75).

En la investigación de especies leñosas en tres ecosistemas de los Llanos centrales de Venezuela se encontraron datos similares al estudio puesto que los valores de abundancia refieren que el índice de diversidad de Shannon mostró valores de 2.55, 2.02 y 2.09 para la

vegetación de bosque arbustal y sabana y deducen que el bosque está mejor representado (Soler *et al.* 2013).

Por otro lado, Vázquez *et al.* (2011) en la investigación de la estructura y composición florística de la selva alta perennifolia en Tabasco, México con cuatro muestreos de árboles, muestra que son similares respecto a la diversidad de especies, siendo la unidad de muestreo tres la más rica y representativa en número de especies con una diversidad de 3.9.

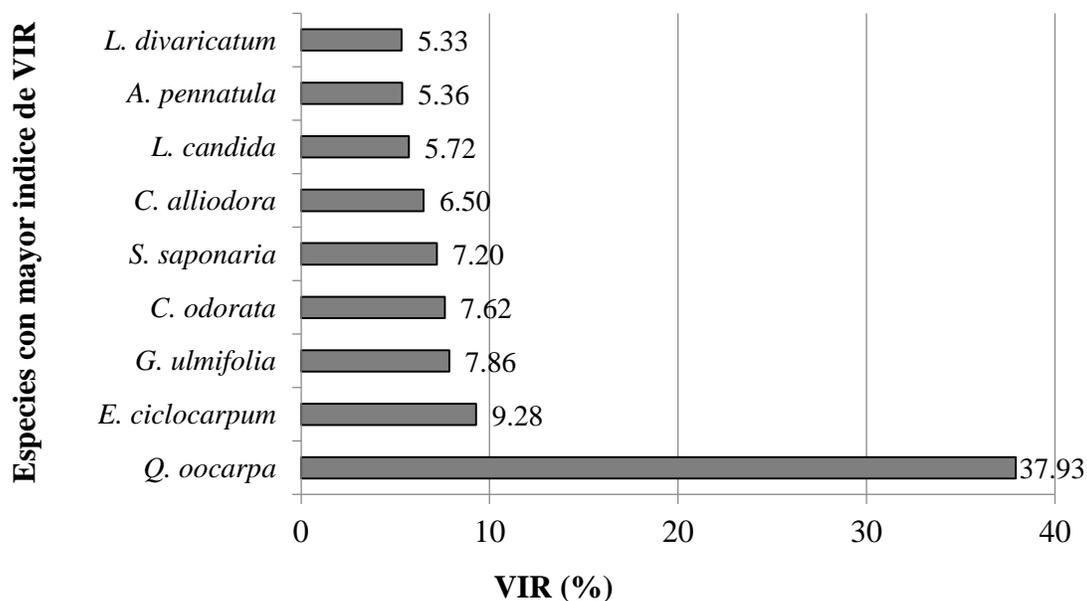
**Tabla 5. Diferencia de los índices de diversidad por sistemas (valores medios)**

Comunidad	Sistema	Shannon	Simpson
San Antonio	Cultivo	0.00	0.00
	Forestal	2.71	11.75
	Pasto	0.00	0.00
Llano redondo	Cultivo (café)	2.13	6.39
	Forestal	3.14	14.82
	Pasto	0.00	0.00
El Espinal	Cultivo	0.00	0.00
	Forestal	3.22	15.35
	Pasto	1.23	4.23

#### 5.2.4. Especies predominantes asociada a la diversidad arbórea

En la figura 4 se expresa de manera general las 10 especies de mayor valor de importancia relativa, en la que se destaca el Roble encino (*Quercus oocarpa*) con un 37.93% del total del VIR, siguiéndole el Guanacaste con 9.28% del total. Las especies de encinos tienen ámbitos específicos de distribución altitudinal, y las diferentes especies se reemplazan por otras conforme aumenta la elevación. Cada especie se adapta a determinadas condiciones de suelo, temperatura y humedad (Kappelle, 2008). Esta especie es dominante en estudio de Alaníz (2013) y en asociación con otras especies se ubica a mayor elevación, pero en altitudes mayores a las de la presente investigación.

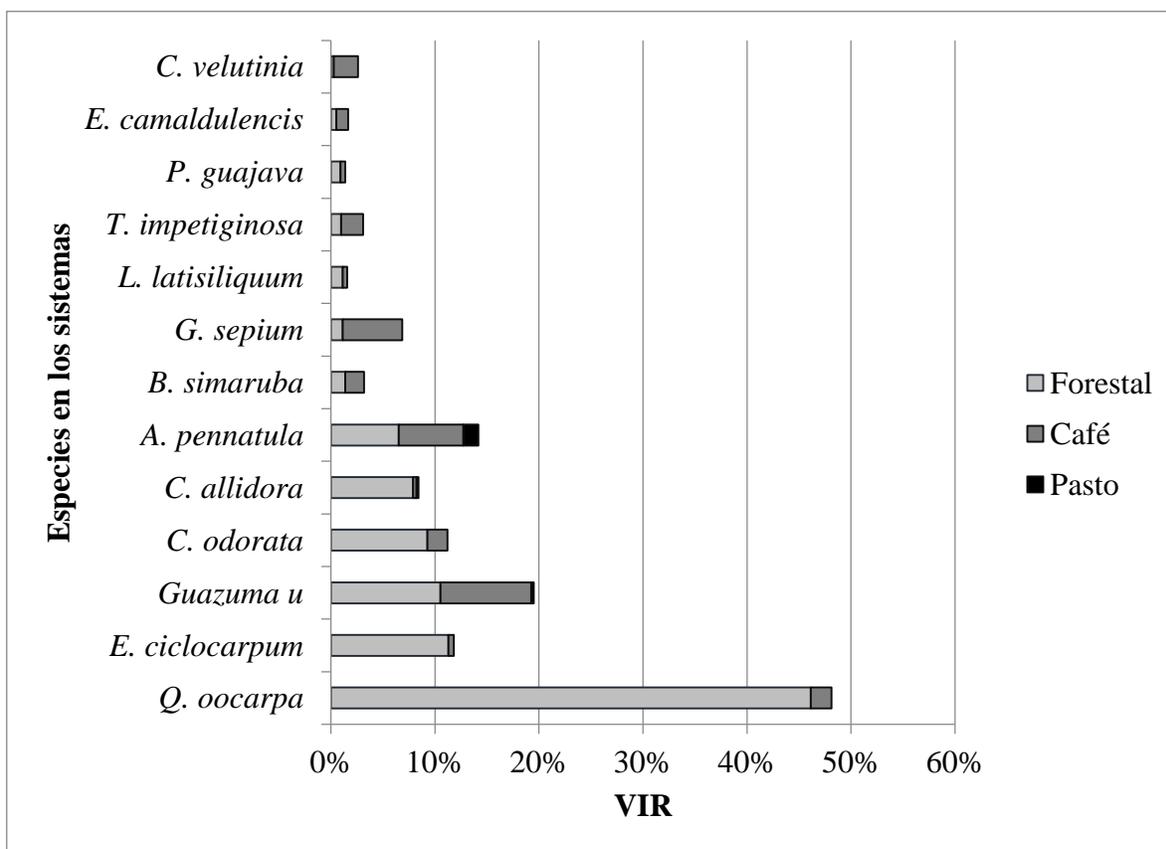
Pero los valores para el VIR son más bajos que los reportados en la investigación de (Chacon *et al.* 2003) que estudiaron cuatro tipos de sistemas de bosque y pasturas en la Zona Atlántica de Costa Rica resultando con mayor valor de importancia relativa en los sistemas de bosque secundario y bosque Ribereños *Pentaclethra macroloba* con un VIR 38.70% y 36 % respectivamente.



**Figura 4. Especies de mayor importancia en el estudio**

Respecto de las especies de mayor valor de importancia relativa compartida en los sistemas estudiados, tal como se muestra en la figura 5, la especies de *Q. oocarpa*, *E. cyclocarpum* son las especies de mayor peso de VIR en los sistemas forestal y cultivo café. Por otra parte, las especies principales encontradas en los tres sistemas como lo es *A. pennatula*, *C. alliodora* y *G. ulmifolia*, hallándose en menor cantidad cuatro especies. Cabe señalar que *G. ulmifolia* es una especie con gran capacidad de colonización (Ibrahim, Villanueva, Rojas, & Casasola, 2006). En el estudio de Chacón *et al.* (2003) se encontraron datos donde *C. alliodora* está compartida en dos sistemas de pasturas, una compartimento con cobertura arbórea y otro con baja cobertura arbórea, refiriendo a un VIR de 17.9% y 38.9% respectivamente.

Por otro lado, en el estudio realizado por López *et al.* (2014) en tres regiones de Chiapas, México, obtuvieron resultados similares al presente estudio en la cual, se encontró la especie *Burseras* en dos tipos de zona de acuerdo a su VIR, en la zona del valle con un VIR de 7.62% y en la zona de Las Colinas con 7.45%.



**Figura 5. Especies de mayor importancia relativa compartida en los usos de suelo estudiados**

### 5.3. Secuestro de carbono almacenado en los usos de suelo

#### 5.3.1. Secuestro de carbono en biomasa total de árboles en los usos de suelos de estudio

En la siguiente tabla demuestra las diferencias de captura de carbono del estrato arbóreo de las parcelas de las comunidades y por sus usos de suelo, dando como resultados que las parcelas de la comunidad San Antonio, en el sistemas forestal, es el que secuestra la mayor cantidad de carbono en el estudio con 323 t C ha<sup>-1</sup>, sin embargo, los usos de suelos de

cultivo y pasto no se encontraron cantidades de captura de carbono, con excepción del sistema pasto de la comunidad El Espinal.

En el estudio de estimación de la biomasa y carbono en el bosque forestal, expresa en sus resultado de secuestro de carbono en bosque situado en la cordillera de andes con un total de acumulación de 662.06 t C ha<sup>-1</sup>y alude que la cantidad de carbono almacenado de un bosque depende del tipo y estado de desarrollo, justificando que el carbono almacenado en los bosques estudiados son mucho más alto que el bosque tropical (Bastienne, 2001).

Las comunidades vegetales están íntimamente asociadas al manejo del sistema agrícola y son un claro reflejo de la sostenibilidad del sistema de producción (Becker, 1995). Aquí se observa entonces cómo la introducción de árboles a los sistemas de producción no solamente contribuye con la diversidad, sino también con la captura de carbono. Además, es de tener en cuenta que los principales servicios que pueden proveer los sistemas agroforestales comprenden el mantenimiento de la fertilidad, conservación de agua, captura de carbono, enfatizando el potencial de los sistemas silvopastoriles y la conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados (CATIE, 2003)

**Tabla 6. Secuestro de carbono del estrato arbóreo por t C ha<sup>-1</sup>**

<b>Comunidad</b>	<b>Sistema</b>	<b>Biomasa</b>
San Antonio	Cultivo	0.00
	Forestal	323.00
	Pasto	0
Llano Redondo	Café	122.95
	Forestal	322.84
	Pasto	0
El Espinal	Cultivo	0
	Forestal	147.51
	Pasto	7.66

### 5.3.2. Secuestro de carbono del compartimento suelo

La siguiente figura expresa el secuestro de carbono en las parcelas estudiadas por el compartimento suelo, resultando con mayor secuestro se encontraron en las parcelas de pastos en la comunidad El Espinal con 316.8 t C ha<sup>-1</sup> y por último en menor cantidad aquellas parcelas del sistemas de cultivo en San Antonio con 176.00 t C ha<sup>-1</sup>.

No obstante Flores *et al.* (2013) en su estudio de evaluación de los servicios ambientales en términos de diversidad arbórea y secuestro de carbono en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* en cinco fincas cafetalera de Madriz. Obtuvieron como resultado que el secuestro de carbono de estos sistemas fijan alrededor de 137 t C ha<sup>-1</sup>, siendo el componente suelo quien fija la mayor parte (44.53%) y la biomasa de café (31.62%), en cambio la biomasa aérea y radicular de los árboles de sombra fijan el 18.46% y 3.69% respectivamente. En la presente investigación la tendencia se mantiene, sin embargo, el estrato suelo sobrepasa estos niveles de captura desde 176 t C ha<sup>-1</sup> hasta 310 t C ha<sup>-1</sup>.

De igual manera Martínez Albán (2014) en su estudio encontró valores similares en cuanto a captura de carbono en pastos con 200 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que en café encontró valores inferiores a los del presente estudio con 168 t C ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 7. Captura de carbono de suelo t C ha<sup>-1</sup>**

Comunidad	Sistema		
	Cultivo	forestal	pasto
San Antonio	176.00	217.47	210.13
Llano redondo	278.60	302.93	310.73
El Espinal	246.4	312.0	316.8

### 5.3.3. Captura de carbono de las raíces finas de los usos de suelo

La siguiente tabla expresa el carbono almacenado en raíces finas, siendo éste mayor en las parcelas de la comunidad Llano Redondo con 8.305 t C ha<sup>-1</sup> en el uso de suelo de pastos, mientras que el uso de suelo que menos fijó carbono es el sistema de cultivo debido a la variación entre las parcelas. De igual manera Alaniz (2013) encontró datos similares en la Reserva Santa Rosa, Tisey Estelí donde las raíces finas presentaron un promedio global de 6.6 Mg ha<sup>-1</sup> con un rango de 2 a 9 Mg ha<sup>-1</sup>.

En el estudio de estimación de captura de carbono y flujo de carbono en silvopastoreo en Colombia en el compartimento de las raíces finas concluyen que la mayor cantidad de raíces en proporción se hallan en los primeros 15 cm del suelo de igual modo las proporciones de raíces finas en los árboles (Giraldo *et al.* 2006)

La biomasa de las raíces finas es diferente en función del estadio de sucesión del bosque seco tropical siendo mayor para el estadio temprano por tratarse de sitios en los que coexisten pastos nativos y exóticos con árboles y arbustos. La biomasa varía en función de la profundidad del suelo (Calvo *et al.* SF)

**Tabla 8. Secuestro de carbono en raíces finas t C ha<sup>-1</sup>**

Comunidad	Sistema		
	Cultivo	forestal	pasto
San Antonio	0.00	8.1925	4.72
Llano redondo	5.8375	6.6575	8.305
El Espinal	0.00	5.515	2.9965

### 5.3.4. Almacenamiento de carbono en hojarasca

La siguiente tabla indica el carbono fijado por el componente hojarasca siendo más representativo los sistemas de la comunidad Llano Redondo con 15.91 t C ha<sup>-1</sup> en el sistema forestal, cultivo 6.99 y pastos con 0.14 t C ha<sup>-1</sup>. Sin embargo en la investigación de Alaniz (2015) se encontraron datos diferentes al estudio, donde la hojarasca depositada en el suelo fijaba en promedio 17.5 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono. En el estudio de captura de carbono en

ecosistemas terrestre obtuvieron resultados similares al presente estudio en compresión a lo que es captura de carbono en el compartimiento de hojarasca en la que va de 3.30 a 3.40 t C ha<sup>-1</sup> en los diferentes bosques de estudio (Aceñolaza *et al.* 2007).

En contraste, al estudio Figueroa *et al.* (2005) indica que el porcentaje de carbono promedio en la hojarasca de todos los sistemas bosques de estudio fueron similares, con un promedio de 44.7% en el estudio de concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación. Los resultados de la investigación indican que los componentes de las vegetaciones dominantes en paisajes de ladera presentan una concentración de carbono que no es la misma en todos los casos, lo cual debe ser considerado cuando se estime el tamaño de los almacenes de carbono para esa condición.

**Tabla 9. Secuestro de carbono en hojarasca t C ha<sup>-1</sup>**

Comunidad	Sistema		
	cultivo	forestal	pasto
San Antonio	0.00	4.12	1.30
Llano redondo	6.99	15.99	0.14
El Espinal	0.00	7.14	0.81

### 5.3.5. Almacenamiento de carbono en necromasa

En la siguiente figura se establece el carbono almacenado en necromasa, resultando con mayor fijación en el uso de suelo forestal de las parcelas de la comunidad el Espinal con 3.92 t C ha<sup>-1</sup> seguido de igual manera por San Antonio con 3.22 t C ha<sup>-1</sup> en el uso forestal; las que solamente contienen necromasa en dichos usos sin embargo Llano redondo fija carbono en necromasa en sus tres usos de suelo siendo mayor entre estos en el uso de suelo de cultivo café con 2.88 t C ha<sup>-1</sup> posteriormente uso forestal con 2.70 t C ha<sup>-1</sup> y por último en menor cantidad el uso de suelo en pastos con 0.63 t C ha<sup>-1</sup>.

En el estudio de estimación de carbono de bosque pino-encino de la reserva biosfera el cielo obtuvieron resultados contrastante a nuestro estudio puesto que sus bosque son de

amplio dinamismo y pocas especies, ninguna latifoliada, sus resultados de necromasa fue de 0.31 t C ha<sup>-1</sup> (Rodríguez *et al.* 2009).

Por el contrario en el estudio realizado por Mena *et al.* (2011) encontraron que el carbono almacenado por la necromasa de un bosque secundario agroforestal con café en Costa Rica era de 9.6 t C ha<sup>-1</sup>. Estos valores coinciden con los de Ortiz & Riascos (2006) los que reflejan que el Carbono almacenado en el compartimento necromasa en los cacaotales de la Reserva de Talamanca, Costa Rica son de 8.75 t C ha<sup>-1</sup>.

Por otro lado Mena E. (2008) en el corredor Biológico Volcánico de Talamanca Costa Rica su estudio reflejo que en un bosque secundario la necromasa encontrada fijaba 5.5 t C ha<sup>-1</sup> y con valores inferiores se encontró Dávila (2011) en el sur-occidente de Guatemala en sistemas agroforestales donde la necromasa tan solo almacena 0.04 t C ha<sup>-1</sup>.

Fonseca *et al.* (2008) Reportan que en su investigación sobre la biomasa y carbono almacenado por sitio y componente en bosques secundarios y plantaciones forestales en Guácimo, Limón, Costa Rica. La biomasa aérea y la necromasa almacenaron el 14% del carbono total del sistema (18,4 t C ha<sup>-1</sup>).

**Tabla 10. Almacenamiento de carbono en necromasa t C ha<sup>-1</sup>**

Comunidad	Sistema		
	Cultivo	forestal	pasto
San Antonio	0.00	3.22	0.00
Llano redondo	2.88	2.70	0.63
El Espinal	0.00	3.92	0.00

## **5.4. Diferencia de diversidad arbórea y secuestro de carbono en los usos de suelos**

### **5.4.1. Diferencia entre los sistema de estudio por sus índices de biodiversidad**

Se realizaron análisis estadístico de Kruskal Wallis para determinar las diferencias entre los sistemas con una p-valor  $> 0.05$  (anexo 7), y se determinó por grupos que los sistema cultivo (café) y forestal son similares y los usos de suelo pastos y cultivo son similares, pero diferentes a los otros, con ACE (p-valor de 0.0001), ICE (p-valor  $< 0.0001$ ), Chao1 (p-valor  $< 0.0001$ ), Shannon (p-valor de 0.0004) y Simpson (p-valor de 0.0001).

La estimación del índice o valor funcional de una especie frente a la conservación de la biodiversidad se hace combinando tres subservicios: provisión de alimento, provisión de hábitat y valor de existencia (Marinidou, 2009), lo que implica que los sistemas de producción que permiten estos subservicios serán los que presenten condiciones para la conservación, en este caso, las áreas destinadas al cultivo de café.

Esto se explica por el hecho de que las comunidades vegetales están íntimamente asociadas al manejo del sistema agrícola y son un claro reflejo de la sostenibilidad del sistema de producción. La presencia y diversidad de vegetación acompañante puede ser un útil indicador de la calidad del sistema productivo en términos de conservación (Becker, 1995), lo que podría explicar por qué las parcelas del cultivo de café guarda cierta similitud con las parcelas de bosque respecto de los índices estudiados.

Aunque el cultivo de café no es característico de la zona, representa una posibilidad de conservación de la biodiversidad, ya que el café con sombra influye en la conservación de especies de flora y fauna nativas, porque presenta características similares a las de los bosques que aún no han sido intervenidos por el hombre (Rojas *et al.* 2012).

**Tabla 11. Pruebas de Kruskal Wallis sobre la diferencia de los índices de diversidad arbórea entre sistemas**

Trat.	ACE		ICE		Chao 1	
	Medias	Rango	Medias	Rango	Media	Rango
Cultivo	0.00	7.50 a	0.00	7.50 a	0.00	7.50 a
Pasto	2.86	8.67 a	4.34	8.67 a	2.54	8.56 a
Cultivo (café)	24.53	17.00 a b	27.53	16.00 a b	24.87	17.33 a b
Forestal	52.39	22.67 b	61.31	23.00 b	50.57	22.67 b

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Con relación a la abundancia, se observa una similar tendencia que los índices anteriores, ya que los valores para las parcelas se diferencian por uso de suelo, en donde pasto y cultivo están agrupados en una misma categoría; mientras que bosque se comporta de una manera diferente (anexo 7). En el caso del uso de suelo con café, guarda cierta similitud con los dos grupos anteriores, ya que se conforman tres grupos estadísticos para los índices de Shannon (p-valor de 0.0004) y Simpson (p-valor de 0.0001).

La agricultura intensiva (monocultivos que requieren grandes aportaciones de productos químicos) actúa de forma negativa sobre la biodiversidad, imponiendo barreras entre los ecosistemas naturales y envenenándolos (Pearce, 2006), lo que se refleja para las parcelas con cultivos, en donde los valores de los índices fueron de 0.00, es decir carecen de biodiversidad, indicando que dicho modelo de producción no es compatible con la conservación y por tanto con el objetivo de la Reserva Natural Cerro Tomabú, porque ejercen una presión sobre la diversidad arbórea principalmente y modifican el paisaje.

**Tabla 12. Pruebas de Kruskal Wallis sobre la diferencia de los índices de diversidad arbórea entre sistemas**

Tratamiento	Shannon		Simpso				
	Medias	Rangos		Medias	Rango		
Cultivo	0.00	7.50	a	0.00	7.50	a	
Pasto	0.41	9.67	a	1.41	8.78	a	
Cultivo(café)	2.13	16.67	a	b	6.39	16.00	a b
Forestal	3.03	21.78	b	13.97	22.89	b	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

#### 5.4.2. Diferencias de captura de carbono por compartimentos

Respecto del secuestro de carbono en los compartimentos por usos de suelos, se observa de la tabla 13, que el estrato suelo alcanza la mayor captura de  $316.8 \text{ t C ha}^{-1}$  en sistema pasto hasta  $176 \text{ t C ha}^{-1}$  en el cultivo, y el componente de raíces finas es el que menos secuestra carbono con un máximo de  $15.91 \text{ t C ha}^{-1}$  (anexo 8).

Se realizó análisis estadístico ANOVA para determinar las diferencias entre los sistemas con una p-valor  $> 0.05$ , y se determinó que para las variables de secuestro de carbono del estrato aéreo con una p-valor de 0.0084 y necromasa con una p-valor de 0.0266 las parcelas por uso de suelo son estadísticamente diferentes, conformándose dos grupos estadísticos, siendo superior en las parcelas forestales con  $264.45 \text{ t C ha}^{-1}$  y  $3.28 \text{ t C ha}^{-1}$  para estrato aéreo y necromasa respectivamente (anexo 9).

Estos resultados del estudio son similares a resultados de estudio en diferentes usos en sistemas agroforestales con café que almacenan  $102 \text{ Mg t C ha}^{-1}$ , mientras que el potrero almacena  $52 \text{ t C ha}^{-1}$ , y el bosque primario es el sistema que más almacena carbono total, con un valor de  $355 \text{ t C ha}^{-1}$  (Espinoza *et al.* 2012).

Por consiguiente, en el estudio de biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y bosque secundarios en gradientes altitudinales se encontraron diferencias significativas ( $p = 0,0036$ ) en el carbono almacenado en la biomasa total entre los pisos altitudinales inferior 600, medio 800 y superior 1300 m de altitud ( $93,7$ ;  $79,6$  y

34,8 Mg t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Asimismo, se encontraron diferencias significativas (p<0,0001) entre los sistema de uso de tierra bosque secundario y sistemas agroforestales de laurel-café (Mena *et al.* 2011)

En los argumento de Hernández *et al.* (2014) afirma que los principales factores que afectan negativamente el contenido de carbono en los pastizales son el sobrepastoreo y la quema. En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben a los procesos de erosión y de mineralización de la materia orgánica.

**Tabla 13. Diferencia de grupos estadísticos de captura de carbono en árboles y necromasa (t C ha<sup>-1</sup>)**

Trat.	C. del estrato arbóreo			C. del estrato de Necromasa				
	Medias	n	E.E.	Medias	N	E.E.		
Pasto	2.55	3	41.25	a	0.21	3	0.60	a
Cultivo (café)	40.98	3	41.25	a	0.96	3	0.60	a
Forestal	264.4	3	41.25	b	3.28	3	0.60	b

## VI. CONCLUSIONES

En el estudio realizado se encontraron 790 individuos distribuido en 26 familias, 47 géneros y 57 especies. Resaltan tres familias en los sistemas arbóreos consideradas comunes a los tres usos de suelo estudiados. De manera general los géneros están representados por una especie, siendo los géneros más importantes *Acacia*, *Cordia*, *Guazuma* y *Karwinskia*.

La abundancia está representada por 14 géneros que incluyeron el 73.80% del total de los individuos, de los cuales los más importantes son *Quercus* y *Guazuma* con el 14.62% y 10.22% del total de individuos respectivamente, el primero de los cuales está mayormente localizado en parcelas de mayor altitud. Para el VIR es el roble (*Quercus oocarpa*) la especie más importante (37.93%), siguiéndole el Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) con 9.28% del total de individuos. *A. pennatula*, *C. alliodora*, *G. ulmifolia*, son las especies de mayor importancia que están distribuidas en las parcelas de los tres sistemas.

En cuanto al secuestro de carbono, el estrato arboreo alcanza la mayor captura con 323 t C ha<sup>-1</sup> en las parcelas del sistema pasto, lo que está determinado por la cobertura del suelo permanente; mientras que el componente de necromasa es el que menos secuestra carbono con un máximo de 3.92 t C ha<sup>-1</sup>.

Respecto de los índices de estructura es el sistema forestal presenta los mejores valores considerándose un sistema más equitativo y con una mayor predominancia de especies dentro de las parcelas muestreadas. Los resultados para las parcelas con el sistema café indican que la diversidad es compatible con la actividad productiva y la conservación, contribuyendo en la conservación del patrimonio genético cultural.

Sin embargo, para la captura de carbono el sistema bosque es el único permisible y diferente estadísticamente para secuestrar carbono en cuanto al estrato arbóreo y necromasa, indicando que tratamientos silvícolas y de conservación son necesarios para potencializar la captura de carbono. Los demás estratos están en similares condiciones respecto del secuestro de carbono.

## VII. RECOMENDACIONES

Fomentar proyectos participativos con los productores y organismos residentes en la zona, como FIDER, INTA, CARITAS, donde se impulsen las prácticas de uso sostenibles de la conservación de biodiversidad arbórea, suelo y agua, lo que implica un cambio tecnológico de producción.

Fortalecer las estrategias de manejo sostenible de los sistemas de cultivo, a través de la implementación de sistemas agroforestales, considerando los componentes biofísicos y socioeconómicos, que les permita a los pequeños productores desarrollar sistemas de cultivo agroforestales y sistemas silvopastoriles como alternativa de conservación de biodiversidad y pago por servicios ambientales que contribuya con una mejora en la generación de ingresos económicos, fuentes energéticas para la producción y preparación de alimentos, así como la conservación de la diversidad. En estos sistemas deben priorizarse aquellas especies adaptadas a las zonas y de interés como guácimo ternero, madero negro, guanacaste y cedro para mantener los servicios ambientales y la fijación de carbono.

Permitir la regeneración natural y realizar el enriquecimiento artificial de la reserva con semillas o plántulas nativas, protegiendo los remanentes de bosque que existen en las comunidades de la Reserva Natural Cerro Tomabú. De igual manera, establecer plantaciones mixtas con especies de rápido y lento crecimiento, podría ser una alternativa viable para productores y finqueros con la ventaja de poder incluir especies de alto valor comercial que contribuyan una mayor diversidad de productos forestales incluyendo venta servicios ambientales.

En futuras investigaciones con esta línea de investigación se estudien las bondades de las especies arbóreas encontradas para beneficios en la agricultura desde la perspectiva del fitomejoramiento y medicina natural para el sector pecuario.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, B., Castillo, A., & Montoya, A. (2013). Composición florística y secuestros de carbono en sistemas silvopastoriles en Esteli. UCATSE, Estelí.
- Aceñolaza, P., Zamboni, L., & Gallardo, J. (2007). *Estimación de carbono en tres bosques de la llanura aluvial del Bajo Paraná*. Printed in Spain.
- Acevedo-Rodríguez, P. (2005). *Vines and climbing plants of Puerto Rico and the Virgin Islands. Contributions from the United States National Herbarium*.
- Acosta, M., Etchevers, J., Monreal, C., Quednow, K., & Hidalgo, C. (2001). *Un método para la medición de carbono en los compartimentos subterráneos (Raíces y suelos) de sistemas forestales y agrícolas*. Colegio de Potsgradus, Valdivia.
- Alaniz, L. (2013). *Estructura y composición florística de los bosques de pino-encino en la reserva Santa Rosa, Tisey, Esteli*. Tesis, Esteli.
- Andrade, H., & Ibrahim, M. (2003). *¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?* CATIE, Bangor.
- Arvizu Barron, E., Jimenez Sanchez, L., Jiménez Velasquez, M., Quispe Limaylla, A., Villa, M., & Avila Dorante, J. (agosto de 2014). Análisis de producción y comercialización de hortalizas: caso del mercado de Huixcolotla, Puebla. *Revista Mexicana de ciencias agrícola*, V(4).
- Bastienne, S. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono de bosque de tipo forestal siempreverde*. Universidad Austral de Chile, Santiago.
- Basualdo, V. (2011). *Choosing the best non-parametric richness estimator for benthic macroinvertebrates databases*. Universidad Nacional de Tucuman, Ciencias Naturales, Tucuman.
- Becker, B. (1995). *Indicator plants for sustainability assessment of tropical production system*. Tesis.

- Beek, R., & Saenz, G. (1992). *Manejo Forestal Basado .en la Regeneración Natural del Bosque: Estudio de Caso en los robledales de altura de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica*. CATIE, Turrialba.
- Biológica. (2008). *La biodiversidad y la agricultura*. Documental, Canadá.
- Bird, L., & Molinelli, J. (2001). *La Biodiversidad*. Obtenido de <http://alianzageografica.org/leccionbiodiversidad.pdf>
- Bonilla Morales, N. (2009). *Cultivo del maíz (Zea mays)*. Recopilación, San Jose.
- Butler, B. a. (1998). *Species richness, spatial variation, and abundance of the soil seed bank of a secondary tropical forest*. Biotropica.
- Calvo, J., Calvo, A., & Mullins, S. (SF). *Distribucion de biomasa de raíces fina en cuatro estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica*. Santa Rosa.
- Canals, R. M. (sf). *Secuestro de carbono en suelos de pastos*. Navarra-España.
- Carballo, D., Matus, M., & Ruíz, C. (2005). *Manejo de pastos I*. Managua-Nicaragua.
- Casseres, E. (1980). *Producción de hortalizas*. Instituto Interamericano de Ciencias agrícola. San Jose: Editorial IICA.
- Castillo, B., Chanatásig Vaca , C., & Gonzales Valdivia, N. (2014). *Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México*. Universidad del norte de Nicaragua, Departamento de ciencias de la sustentabilidad, Esteli.
- Castillo, G., Laguna, T., & Alfaro, J. (2008). *Producción, procesamiento y comercialización de frutas y hortalizas para garantizar la seguridad alimentaria de la población nicaragüense*. MAGFOR, Managua.
- CATIE. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforesteria en Las Americas*.
- CENAGRO, C. N. (2001). *III Censo nacional agropecuario Nicaragua*. INEC.

- Chacón, M., Harvey, C., & Delgado, D. (2003). Diversidad arbórea y almacenamiento y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la Zona Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*(51-12), 19-32.
- Chave, J., & C. Andalo, S. (2005). *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest*.
- Chavez, J., Andalo, C., Browns, S., Cairn, A., Chamber, Q., Eamus, D., . . . Yamakura, T. (2005). *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. Oecologia. Springer-Verlag.
- CIFOR centro de investigacion forestal. (2009). Lima.
- CLAI, C., & PNUMA, P. (2003). *Bosques*. Suiza-México.
- Coddinton, C. a. (1994). *Estimating terrestrial biodiversity through exploration* (Vol. London). London: Phil. Trans. Royal Soc.
- Colwell, R. (1994). *EstimateS: statistical stimation of species richness and shared species from samples. Version 5. Departament of Ecology and Evolucionary Biology , University of Connecticut, U.S.A. Accesible en internert: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>*. U.S.A.
- Cordero, J., & Boshier, D. (2003). *Árboles de Centro América*. CATIE, Turrialba.
- Cortés, S. (2003). *estructura de la vegetación arbórea y arbustiva en el costado oriental de la serranía de chía (Cundinamarca, Colombia)*. Bogotá.
- Dávila, H. A. (2011). *Estimción de la cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao L.), en los departamentos de Suchitepquez y Retalhuleu del Sur Occidente de Guatemala*. Guatemala.
- Domínguez, J. (1997). *Biodiversidad y protección de especies y habitat*. Zaragoza.
- Earth,Google. (2015). *Ubicacion de la Reserva Tomabú*. Nicaragua.
- Eastmond, A., & García, A. (2006). *Impacto de los sistemas agropecuarios sobre la biodiversidad*. Documental, Yucatan.

- Escobar, G., & Berdegue, J. (1900). *Tipificación de los sistemas de producción agrícola*. Santiago de Chile: Grafica Andes Ltda.
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Alarcón, A., & Tórrez, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Chapingo*, 57-70.
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vásquez, A., & Torres, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Chapingo*, 57-70.
- Fagundez, C. (2013). *Biodiversidad y conservación de especies arbóreas*. Rocha-Uruguay.
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Ambiental en manejo de carbono de suelo, Roma.
- FAO. (2005). *Uso sostenible de la Diversidad Biológica Agrícola y de los Sistemas Productivos*. Taller de experto americanos y del caribe sobre diversidad biológica, Buenos Aires.
- FAO. (2009). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. Paraguay.
- FAO. (2014). *Sistemas de explotación agrícola*.
- Figuerola, C., Etchevers, J., Velázquez, A., & Acosta, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra norte de OAXACA. *Terra Latinoamericana*, 57-64.
- Flores González, J., Díaz Lagos, C., & Montolla Vallejos, A. (2013). *Diversidad arbórea y secuestro de carbono en sistemas agroforestales de Coffea arabica en fincas cafetaleras de Matriz*. Matriz.
- Flores Sánchez, D., Navarro Garza, H., Carballo Carballo, A., & Pérez Olvera, A. (2012). *Sistemas de cultivo y biodiversidad periurbana. estudio de caso en la cuenca del río Texococo*. Postgrados Agroecología, Montecillo.
- Fonseca, W., Alice, F., Montero, J., Toruño, H., & Leblanc, H. (2008). Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia*

guatemalensis e Hieronyma alchorneoides en el Caribe de Costa Rica. *Agroforesteria de las Américas*(46).

Fournier, L. (1984). *Recursos naturales, Hortalizas*.

Gentry, A. (1993a). *A field guide to the families and genera of Woody plants of Northwest South America(Colombia,Ecuador, Peru ) with supplementary notes en herbaceous taxa; Illustrations by Rodolfo Vasquez.Conservation international and the University of Chicago press,895p. Chicago.*

Gentry, A. (1993b). *Pattarsns of diversity and floristic composition in Neotropical Montane forest.In biodiversity and conservation of Neotropical Montane forest.proceedings of the neotropical montane forest biodibersity and conservation symposium. New York-USA.*

Giraldo, L., Zapata, M., & Montoya , E. (2006). Estimación de la captura y flujo de carbono en silvopastoreo de Acacia mangium asociada con Brachiaria dictioneura en Colombia. *Pastos y forrajes*, 29(4).

Gómez, M. L., Toro, J. L., & Piedrahita, E. (2013). *Conservacion y propagacion de especies arboreas nativas* (primera ed.). Medellín.

Gonzáles Oreja, A., Fuentes Dias, A., Hernandez Santin, L., Buzo Franco, D., & Bonache Regidor, C. (2010). Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation* .

Gotelli, N. a. (2001). *Quantifying biodiversity : Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness*.

Harris, J., Birjandí, M., & García, A. (2011). *Bosque, agricultura y clima: Consideraciones Economicas y de politicas*. Medfor.

Hernández, J., Torres, D., & Beltrán, R. (2014). *Captura de carbono en los suelos*. Universidad Autonoma del estado de Hidalgo, Hidalgo.

- Holdridge, L. a. (1997). *Arboles de Costa Rica Volumen I: Palmas y otras monocotiledoneas arboreas de hojas compuestas y lobuladas*. Centro Científico Tropical, San Jose, Costa Rica. 522 P. San Jose, Costa Rica.
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Rojas, & Casasola, F. (2006). Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y forrajes*, 29(4).
- IICA-SICTA-COSUDE. (2009). *Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua*. Boaco. Obtenido de <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>
- INAFOR. (2006). *Plan de manejo de la Reserva Natural Cerro Tomabú*.
- INAFOR. (2007-2008). *Resultado del inventario Nacional Forestal*. Managua.
- INAFOR, MAGFOR, FAO. (2009). *Inventario Nacional Forestal*. Managua-Nicaragua.
- INTA. (2005). *Manual de agricultura de conservación para Nicaragua*. Managua.
- INTA. (2013). *Proyecto de apoyo a la producción de semillas de granos básicos para la seguridad alimentaria en Nicaragua*. Managua.
- Jardim, A. T. (2003). *Guía de los árboles y arbustos del bosque seco Chiricano, Bolivia, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia* 324 p. Bolivia.
- Kappelle, M. (2008). Biodiversidad de los bosques de roble (encino) de la América tropical. Ed. INBio. Instituto Nacional de Biodiversidad. Heredia, Costa Rica. 336 pág.
- Keller, R. (2003). *Identificación de plantas leñosas tropicales en ausencia de flores. Una guía de campo (2ª edición)*, Berlin. 294 p. Berlin.
- Killen, T. a. (1998). *Guía de árboles de Bolivia. Herbario nacional de Bolivia-Missouri Botanical Garden, Santa Cruz, Bolivia*. 958 p. Santa Cruz -Bolivia.
- Leon, J., & Aguilar, A. (1987). *Análisis químico para evaluar la fertilidad de los suelos*. Sociedad mexicana de la ciencia de suelo, Chapingo.

- López, P., Kageyama, P., & Santos, K. (sf). *La biodiversidad y el control biológico natural: elementos clave para la gestión de las principales plagas*. Sao Paulo.
- López, U., & Gil, L. (2006). *La diversidad en las especies forestales: un cambio de escala. El ejemplo del alcornoque*. Ciudad Universitaria s/n 28040, Madrid.
- Luna Asanza, N. (2012). *Métodos de medición de la diversidad*. Ecología, Gestion ambiental. Recuperado el 15 de octubre de 2015, de <http://documents.tips/documents/metodos-de-medicion-de-la-diversidad.html>
- MAGFOR. (2009). *Fortalecimiento al sistema nacional de semilla evaluacion social de territorios*. Managua.
- MAGFOR, PROFORM, BM. (2005). *Potencial de Plantaciones Forestales y Fijación de Carbono en Nicaragua*. Managua Nicaragua.
- MARENA. (2005). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Managua-Nicaragua.
- MARENA. (2006). *Informe nacional de areas protegidas Nicaragua*. Managua.
- MARENA. (2008). *Manejo y aprovechamiento de los bosques latifoliados*. (ANIECATIE, Ed.) Managua, Nicaragua.
- MARENA. (2014). *V Informe Nacional de Biodiversidad Nicaragua*. Managua.
- Marinidou, E. (2009). *Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservacion de la biodiversidad : diseño y aplicacion de una metodología en Chiapas México*. Tesis de posgrado, CATIE, Turrialba.
- Martínez Albán, V. (2014). *Crecimiento y fijacion potencial de carbono en plantaciones forestales mixtas de Araucaria hunsteinii en la zona Atlantica Costa Rica*. Cartago.
- Martínez Flores, A., Rodriguez Ortega, C., Solares Rojas, V., Gonzales Ruíz, T., & Garcia Ceresedo, M. (2011). *Serie ¿Y el medio ambiente? Biodiversidad conocer para conservarla*. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, Tlalpan.
- Martínez, C. R. (2008). *Sistemas de producción agricola sostenible*. Buenos Aires.

- Mena, E. (2008). *Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica*. Tesis, Turrialba.
- Mena, V., Andrade, H., & Navarro, C. (2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios e un gradiente altitudinales en Costa Rica. *Agroforesteria neotropical*.
- Mena, V., Andrade, H., & Navarro, C. (septiembre de 2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforesteria neotropical*(1).
- Mendieta, M., & Rocha, L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Managua.
- Moreno, C. (2001). *Metodos para medir la biodiversidad* (Primera ed., Vol. I). (P. I. Desarrollo, Ed.) Zaragoza: GORFI, S.A.
- Navar, J., & Gonzales, S. (2009). *Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de durango, México*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN, Durango.
- Obando, L., & Leod, C. (2010). *Cultivo de hortalizas en Magallanes*. Chile.
- Orellana, J. (2009). *Determinacion de los indices de diversidad florística arboreas en las parcelas permanentes de muestreo de valle de Sacta*. Titulo de tecnico superior agropecuario, Universidad Mayor de San Simon, Cochabamba.
- Ortiz, A., & Riascos, L. (2006). *Almacenamiento y fijacion de carbono del sistema agroforestal cacao Theobroma cacao l y laurel cordia alliodora en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica*. Costa Rica.
- Pardos, J. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Madrid.
- Pearce, H. (2006). *Diversidad y Riqueza*. Recuperado el 08 de Julio de 2016, de [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Publicacio](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicacio)

nes\_Divulgacion\_Y\_Noticias/Documentos\_Tecnicos/Jardines\_botanicos/03-  
riqueza\_diversidad.pdf

Perrachon, J. (2010). *Manejo de pastos*.

Pla, L. (2006). Biodiversidad inferencia basada en el indice de Shannon y la Riqueza. *Interciencia*(XXXI).

Programa REDD-CCAD-GIZ. (2011). *Tipos de bosques y contextos de mapeo de la cobertura forestal en centro america y Republica Dominicana* . Antigua Guatemala.

Quiñones Matinez, M. (2009). *Manual de practicas ecologicas de comunidades*. Universidad autonoma de ciudad Juarez, Ciudad Juarez.

República de Nicaragua. (4 de Noviembre de 1991). Declaración de áreas protegidas en varios cerros macizos montañosos, volcanes y lagunas del país. *La Gaceta diario oficial*.

República de Nicaragua. (6 de Junio de 1996). Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. *La Gaceta Diario Oficial*.

Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, Ó., & Razo, R. (2009). Estimacion de carbono almacenado de pino-encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, Mexico. *Ra Ximhai*.

Rojas, A., Hartman, K., & Almonacid, R. (2012). El impacto de la produccion de cafe sobre la biodiversidad la transformacion del paisaje y las especies exoticas invasoras. *Ambiente y desarroll*, 93-104.

Rugnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales*. Centro mundial agroforestal, Lima.

Sadzawka, A., Renato, G., Mora, M., Hugo, F., & Neaman, A. (2006). *Método de análisis de suelo recomendado para los suelos de Chile*. Santiago: Imprenta Saleciano.

Salas Estradas, J. (1993). *Árboles de Nicaragua*. Managua, Nicaragua: HISPARMER.

Salazar, E., Gamez , S., & Siles, P. (2012). *Caracterización de la vegetación arbórea y arbustiva con potencial de servicios ambientales, al este del lago de Nicaragua*.

Centro de Investigación y Estudios del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Ingeniería , Managua.

Sánchez, M., & Rosales. (2001). *Agroforesteria para la producción animal en América Latina II*. Roma.

Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). *Manual de procedimientos para inventario de carbono en ecosistema forestales*. Universidad Mastral De Chile, Valdivia.

Scott, D., Proctor, J., & Thomason, J. (1992). *Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Romaira, Brazil. II*. Brazil.

Sierra, A., Simonne, E., & Treadwell, D. (2013). *Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en*. Universidad de Florida, Departamento de Horticultural Sciences, Servicio de Extensión Cooperativa , Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Florida.

Sierra, D. C. (2010). *Relación de la captura de carbono en Saccharum officinarum con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera*. Trabajo de grado, Universidad nacional del Colombia, Ciencias económicas y administrativa.

Soler, P., Berroterán, J., Gil, J., & Acosta, R. (2013). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 25-37.

Tórrez, J., & Guevara, A. (2002). *El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico*. Mexico: Gaceta Ecológica.

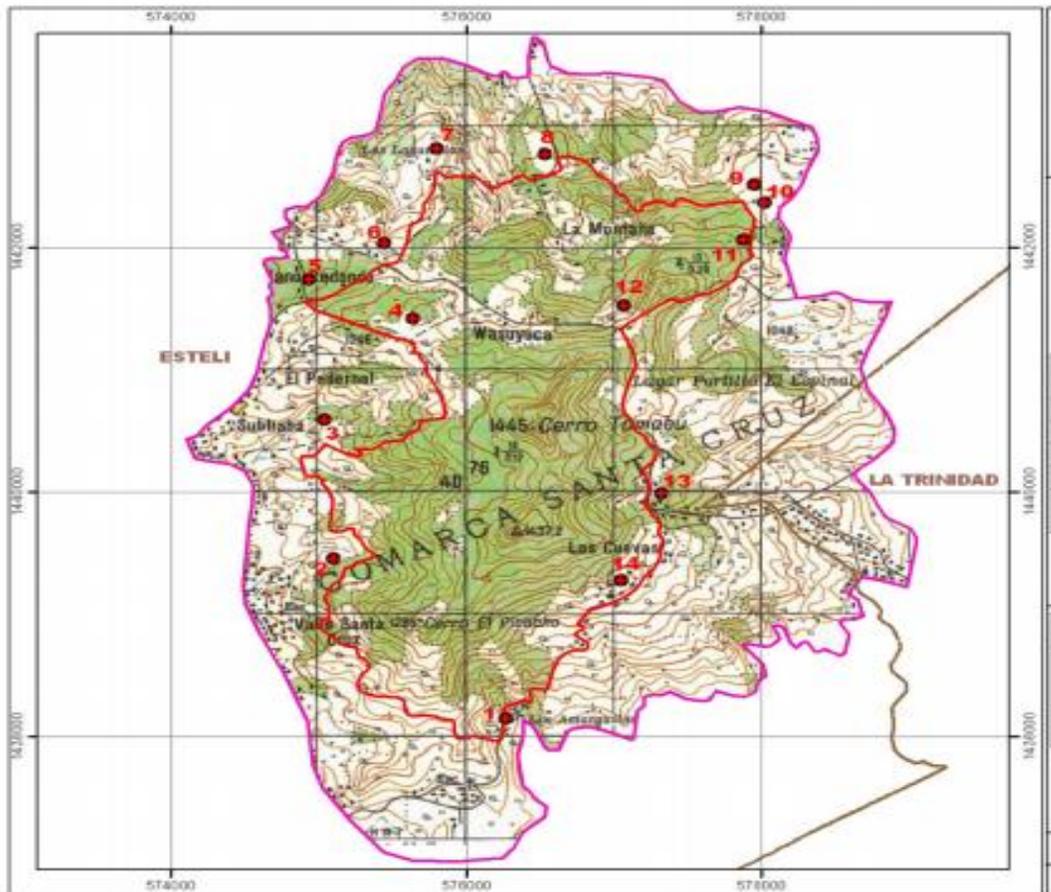
Valdivia Lorente, P. (2016). *Estudio de los medios de vida de la reserva Cerro Tomabu*. Tesis maestral, documento no publicado, Esteli.

Verhulst, N., Francois, I., & Govaerts, B. (sf). *Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor*. Mexico DF.

- Villanueva, C., Ibrahim, M., Harvey, C., & Esquivel, H. (2003). Tipología de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas*, 10(39-40).
- Villanueva, C., Muhammad, I., Harvey, C., & Esquivel, H. (2003). *Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica*. Cañas.
- Zambrano, A., Franquis, F., & Infante, A. (2004). *Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales*.
- Zamora, N. (2002). *Estudio de regeneración natural de 26 especies forestales no tradicionales del bosque latifoliado de Honduras*. La Ceiba.
- Zevallos, H., Aceituno, P., Arostegui, D., & Obispo, O. (2009). *Producción de hortalizas en biohuertos familiares*. Perú.

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Mapa de la ubicación de la Reserva Tomabú



Fuente: (INAFOR, 2006)



### Hoja de campo para raíces finas y hojarasca

<b>Comunidad</b>		<b>Parcela</b>	
<b>Finca</b>			
<b>Uso de suelo</b>			
Pesos	D1 (0 cm-10 cm)	D2 (10cm-20cm)	Hojarasca

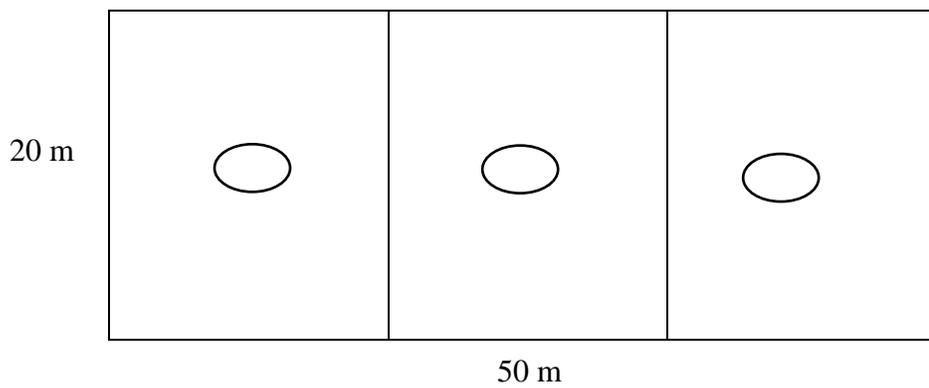
### Hoja de campo para carbono en suelo

<b>Comunidad</b>	
<b>Finca</b>	
<b>Uso de suelo</b>	
<b>Parcelas</b>	<b>Carbono capturado Kg/Ha</b>
1	
2	
3	

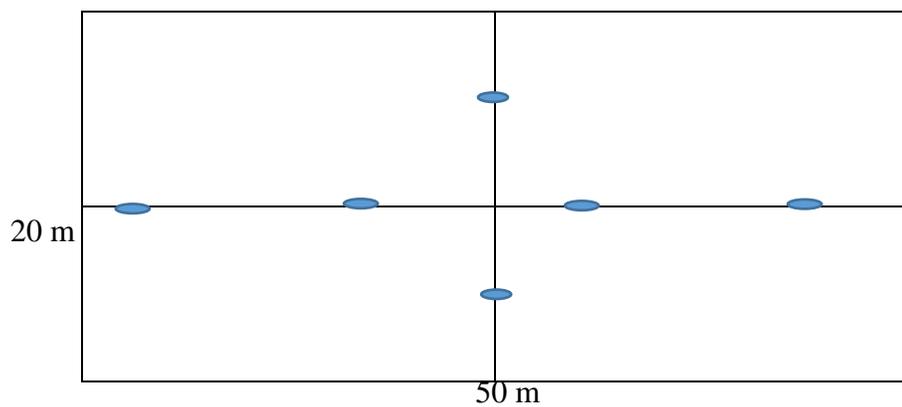
### Hoja de campo para necromasa

<b>Comunidad</b>	<b>Parcela</b>
<b>Finca</b>	
<b>Uso de suelo</b>	
<b>Diámetro</b>	

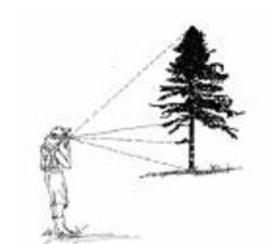
**Anexo 3. Diseño de parcela en toma de datos de muestras de suelo**



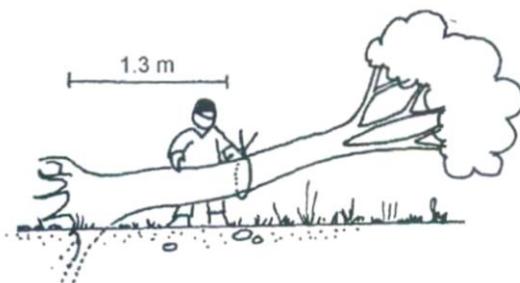
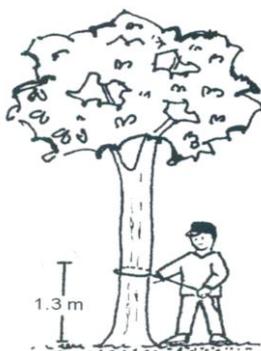
**Diseño de parcela en toma de datos de muestras de necromasa**



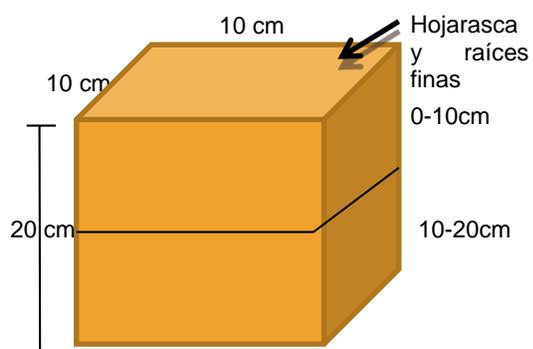
#### Anexo 4. Toma de dato de diámetro de árbol bifurcado y en pendiente y su altura



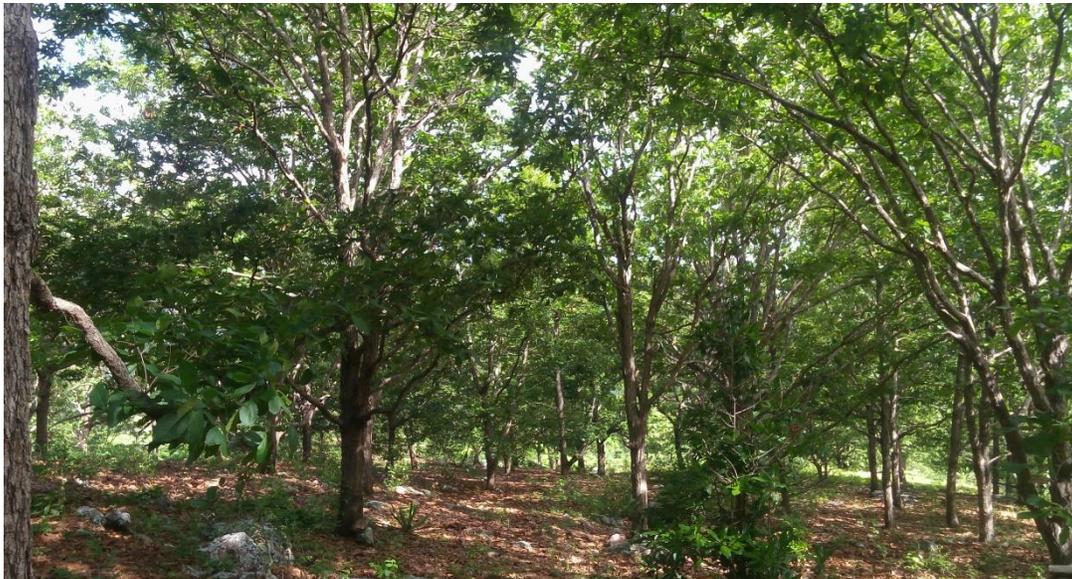
#### Correcta toma de diámetro de árbol



#### Anexo 5. Esquema de muestreo de hojarasca y raíces finas



## Anexo 6. Muestreo en campo



Parcela de roble *Quercus oocarpa*



Hojas de *Quercus oocarpa*



Delimitación de las parcelas



Medición de muestras de necromasa



Pesado de raíces finas



pesado de hojarasca



Muestras de suelo

### Anexo 7. Pruebas de Kruskal Wallis sobre la diferencia de los índices por sistemas

Variable	Sistema	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
ACE	Cultivo	6	0.00	0.00	0.00	19.25	0.0001
	Cultivo (café)	3	24.53	9.85	25.57		
	Forestal	9	52.39	13.65	55.53		
	Pasto	9	2.86	8.57	0.00		

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Variable	Sistema	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
ICE	Cultivo	6	0.00	0.00	0.00	19.85	<0.0001
	Cultivo (café)	3	27.53	8.43	28.24		
	Forestal	9	61.31	11.38	62.71		
	Pasto	9	4.34	13.03	0.00		

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Variable	Sistema	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
Chao 1	Cultivo	6	0.00	0.00	0.00	19.52	<0.0001
	Cultivo (café)	3	24.87	11.01	27.03		
	Forestal	9	50.57	14.32	54.79		
	Pasto	9	2.54	7.62	0.00		

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Variable	Sistema	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
Shannon	Cultivo	6	0.00	0.00	0.00	15.69	0.0004
	Cultivo (café)	3	2.13	0.25	2.24		
	Forestal	9	3.03	0.32	3.15		
	Pasto	9	0.41	1.23	0.00		

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Variable	Sistema	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
Simpson	Cultivo	6	0.00	0.00	0.00	19.40	0.0001
	Cultivo (café)	3	6.39	0.82	6.84		
	Forestal	9	13.97	2.19	14.90		
	Pasto	9	1.41	4.23	0.00		

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Anexo 8. Tabla resumen para cada comunidad sobre la captura de carbono por compartimento en los sistemas (t C ha<sup>-1</sup>)**

Comunidad	Sistema	E. Arbóreo	Suelo	Raíces	Hojarasca	Necromasa
San Antonio	cultivo	0	176.00	0	0	0.00
	forestal	323	217.47	8.1925	4.12956	3.22
	Pasto	0	210.13	4.72	1.30392	0
Llano Redondo	cultivo	122.95	278.6	5.8375	6.99834	2.88
	forestal	322.84	302.93	6.6575	15.91796	2.70
	Pasto	0	310.73	8.305	0.14778	0.63
El Espinal	cultivo	0	246.4	0	0	0
	forestal	147.51	312	5.515	7.14626	3.92
	Pasto	7.66	316.8	2.9965	0.81706	0

**Anexo 9. Prueba de ANOVA sobre la diferencia de captura de carbono por compartimento en los sistemas**

**Sec. C. aéreo (t C ha<sup>-1</sup>)**

C.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	120004.08	2	60002.04	11.75	0.0084
Sistema	120004.08	2	60002.04	11.75	0.0084
Error	30629.38	6	5104.90		
Total	150633.46	8			

**Sec. C. suelo (t C ha<sup>-1</sup>)**

C.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	3996.62	2	1998.31	0.66	0.5500
Sistema	3996.62	2	1998.31	0.66	0.5500
Error	18125.68	6	3020.95		
Total	22122.30	8			

**Sec. C. Raíces (t C ha<sup>-1</sup>)**

C.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	37.07	2	18.53	2.71	0.1448
Sistema	37.07	2	18.53	2.71	0.1448
Error	41.00	6	6.63		
Total	78.07	8			

**Sec. C. Hojarasca (t C ha<sup>-1</sup>)**

C.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	116.83	2	58.42	3.24	0.1114
Sistema	116.83	2	58.42	3.24	0.1114
Error	108.33	6	18.05		
Total	225.16	8			

**Sec. C. Necromasa (t C ha<sup>-1</sup>)**

C.V	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	15.37	2	7.68	7.05	0.0266
Sistema	15.37	2	7.68	7.05	0.0266
Error	6.54	6	1.09		
Total	21.91	8			