

**Estimación de Carbono Forestal para
Quercus sp. en parcelas permanentes de
monitoreo en Reserva Biológica Uyuca,
Honduras**

Lorena Ivette Martinez Orellana

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

**Estimación de Carbono Forestal para
Quercus sp. en parcelas permanentes de
monitoreo en Reserva Biológica Uyuca,
Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Lorena Ivette Martinez Orellana

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Estimación de Carbono Forestal para *Quercus* sp. en parcelas permanentes de monitoreo en la reserva biológica Uyuca, Honduras

Lorena Ivette Martínez Orellana

Resumen: El bosque nublado de la Reserva Biológica Uyuca (RBU) presenta un potencial de captura de Carbono. El objetivo del estudio fue estimar el Carbono forestal para el género de mayor importancia en la RBU. Se realizó en tres parcelas permanentes de monitoreo con un área efectiva de 50×50 m. En cada parcela se midió e identificó a los individuos mayores de 10 cm de diámetro a la altura del pecho (dap). Los datos de dap se utilizaron para obtener el Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies. El contenido de Carbono del fuste se determinó en las muestras extraídas con barrenos de incremento. La edad de los individuos se obtuvo del análisis dendrocronológico determinado con software COFECHA[®]. Las especies con mayor IVI fueron: *Quercus benthamii*, *Quercus sapotifolia*, *Pinus maximinoi* y *Quercus* sp. Las especies del género *Quercus* capturan 97.08 ton de CO₂ en 0.25 ha y 388.32 ton de CO₂ en 1 ha de bosque nublado. La edad para *Quercus sapotifolia* fue de 41 años y para *Quercus benthamii* fue de 53 años. El crecimiento acumulado en anillos para *Quercus sapotifolia* fue de 14.08 cm y *Quercus benthamii* fue de 21.30 cm, lo que indica que son especies de crecimiento no tan acelerado. En esta área de bosque la mayoría de los individuos pertenecen a las clases diamétricas menores pues es un bosque en crecimiento y constante captura de CO₂.

Palabras clave: Carbono Forestal, Dendrocronología, dióxido de carbono, Índice de Valor de Importancia.

Abstract. The Cloudy forest in Biology Reserve Uyuca (RBU) has a lot of potential in Carbon capture. The objective of this study was to estimate the forest Carbon for the gender of greater importance in the RBU. The study was made in three permanent monitoring plots with an effective area of 50×50 m where we measured and identified each tree over a diameter at breast height (DBH) of 10 cm. We use data from the DBH measurements to get the Importance Value Index (IVI) of each species. Then we extract wooden dowels to determinate Carbon fraction of three shanks. We use COFECHA[®] as a dendrochronological analysis tool to get the age and growth rings of the trees. The species with a high IVI was: *Quercus benthamii*, *Quercus sapotifolia*, *Pinus maximinoi* and *Quercus* sp. We estimate that in 0.25 ha the species from the gender *Quercus* capture 97.08 ton of CO₂ and in 1 ha of cloudy forest captures 388.32 ton of CO₂. The *Quercus sapotifolia* age was 41 years and *Quercus benthamii* was 53 years. The accumulated rings growth of *Quercus sapotifolia* was 14.08 cm and *Quercus benthamii* was 21.30 cm, indicating that this species does not have an accelerated growth. Most of the trees belong to the smaller diameter classes which mean that is a forest in constant growth and CO₂ capture.

Key words: Carbon dioxide, Dendrochronology, Forest Carbon, Importance Value Index.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES... ..	13
5. RECOMENDACIONES	14
6. LITERATURA CITADA.....	15
7. ANEXOS.....	18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Porcentaje de Carbono por especie.....	10
2. Estimación de Carbono y CO ₂ en las parcelas permanentes de monitoreo.....	10
3. Análisis dendrocronológico de las muestras	11

Figuras	Página
4. Mapa de Ubicación de las Parcelas Permanentes de Monitoreo.	3
5. Diseño de Parcelas Permanentes de Monitoreo.....	4
6. Esquema de rotulación de árboles.	4

Anexos	Página
7. Tabla de IVI Primera Parcela Permanente de Monitoreo.....	18
8. Tabla de IVI Segunda Parcela Permanente de Monitoreo.....	18
9. Tabla de IVI Tercera Parcela Permanente de Monitoreo.	19
10. Tabla de IVI de las tres Parcelas Permanentes de Monitoreo.	19
11. El género <i>Quercus</i> representa el 38% de las capturas de Carbono en 1 ha de bosque nublado	20
12. Estimación de Carbono Parcela 2.....	20

1. INTRODUCCIÓN

Investigaciones de las Naciones Unidas manifiestan que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) aumentaron a una tasa de 1.6% anual. Esto debido a la deforestación, conversión de humedales a arrozales, producción ganadera, uso de fertilizantes y quema de biomasa. Dentro de los GEI, el CO₂ ha tenido un aumento acelerado de 1.9% anual (Corona, 2015). Los ecosistemas forestales del trópico son depósitos de Carbono natural. Investigaciones muestran que estos bosques tropicales maduros pueden acumular Carbono con una tasa de 1-2 Mg/ha/año (Guevara, 1996). Un bosque tropical almacena de 60 a 115 toneladas de Carbono por hectárea (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2006).

Honduras está ubicada en la parte norte de los trópicos, lo que causa que haya una gran variedad de condiciones climáticas. Esto provoca gran diversidad de hábitats y estructuras boscosas. Un ejemplo son los bosques nublados que posee el país, donde existen asociaciones de árboles latifoliados y coníferas con alturas de 30 - 40 m y se localizan en altitudes de 1,800 a 2,900 msnm. Este tipo de bosque suele tener un ecosistema muy complejo donde el endemismo de especies de plantas y animales es alto e incluso se puede encontrar especies en peligro de extinción (Agudelo, 1998).

Uno de los bosques nublados de Honduras se encuentra en la Reserva Biológica Uyuca (RBU) característico por áreas de laderas con pendientes moderadas a fuertes. La época lluviosa condiciona el tipo de vegetación existente. La RBU presenta vegetación de bosques de pino, latifoliados y mixto (Mora, Lopez, Acosta y Maradiaga, 2013). Es una de las áreas silvestres más importantes de la zona, por su biodiversidad y su cobertura boscosa, además de los bienes y servicios ecosistémicos que brinda a más de 20 comunidades aledañas. Estos servicios incluyen; el abastecimiento de agua, la regulación del microclima, la captura de Carbono, la belleza escénica, la erosión del suelo y otros que ayudan al equilibrio ecológico (Mora, Lopez, Acosta y Maradiaga, 2013).

En 1998 se realizó un estudio sobre el potencial de Carbono y fijación de dióxido de Carbono en bosques de Guatemala. Este reveló que un bosque latifoliado en 295,000 ha aproximadamente tiene un contenido de 639,182.128 ton de Carbono (Pratt, 1998). Este dato indica la importancia que tienen los bosques en la captura de CO₂ pues sirven como depósitos naturales que purifican el aire de la atmosfera.

Dentro de estos bosques hay determinadas especies que capturan más CO₂ que otras y esto depende de la edad, especie, área basal y tasa de crecimiento. En general, a mayor área basal habrá una mayor cantidad de Carbono almacenado. Según estudios realizados, el Pino y Roble están dentro de las especies con mayor captura de Carbono para bosques

tropicales (FAO, 2006). El plan de manejo de la RBU indica que la cantidad de Carbono total captada por el bosque nublado es de 102, 503 toneladas. Sin embargo, no hay estudios que evalúen cuanto captura cada especie en diferentes niveles altitudinales.

Según estudios, se registró que en la RBU predomina el bosque latifoliado nublado (Moscoso, 1998). El género *Quercus* presenta un mayor número de especies de importancia ecológica de la familia Fagaceae. Las especies de este género son un componente importante porque constituyen una gran porción de la cobertura forestal y se encuentran en casi todos los pisos altitudinales (Agudelo, 1998). Otro estudio realizado por Rojas (1997) demostró que la familia Fagaceae representada por el género *Quercus* tuvo el mayor IVI dentro del bosque nublado. Esta es una especie con alto Índice de Valor de Importancia y quizás una de las especies que mejor contribuye a la captura de Carbono y CO₂.

La población desconoce que un árbol en pie brinda mejores beneficios que al deforestar y utilizarlo como leña o madera (Guevara, 1996). En el pasado Escobar (2011) realizó un estudio en Valle del Yeguaré donde se evaluó la exposición del género *Quercus* al cambio climático. El estudio demuestra la vulnerabilidad del *Quercus* ante el cambio climático y la importancia social y ambiental de la especie. El género *Quercus* brinda beneficios a las comunidades proveyendo 90% de energía (leña) en zona rurales. Los estudios revelaron que el 91% de los pobladores reportaron que el principal uso que le dan al *Quercus* es para leña o madera, sin embargo, no tienen conocimiento que se pueda utilizar para conservación de suelos y protección de cuencas (Escobar, 2011).

Estudios en el año 2000 reportaron que la especie *Pinus sp* tiene un potencial de fijación y reducción de CO₂ de 141.01 ton C/ha. La especie *Pinus sp* es la única que está cuantificada para captación de Carbono en la RBU (Gavilanes, 2000). Estudios de línea base pueden mostrar la importancia de especies forestales con mayor potencial de captura de Carbono. El objetivo de esta investigación fue estimar el contenido de Carbono forestal del género de mayor importancia en la RBU. Específicamente se buscó determinar el género con mayor importancia ecológica y posteriormente evaluar el potencial de captura de Carbono y la dendrocronología de las especies más representativas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La RBU se encuentra ubicada en los municipios de Tatumbula y San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán. Ubicada a 15 km al sureste de la ciudad de Tegucigalpa y a 14 km de la Escuela Agrícola Panamericana. La superficie de la Zona Núcleo es de 237.1 ha y la Zona de Amortiguamiento mide 579.8 ha para un total de 816.9 ha (Mora, .Lopez y Maradiaga, 2013).

Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM). Se establecieron tres parcelas permanentes de monitoreo (PPM) en la RBU para registrar datos ecológicos y dasométricos del bosque. El objetivo de las PPM es monitorear cambios en la vegetación. Este estudio se realizó a partir de los 1,700 hasta los 1,900 msnm. El área efectiva de las PPM es de 50 × 50 metros (0.25 ha) y están ubicadas a tres niveles altitudinales (Figura 1).

- Parcela Permanente de Monitoreo 1: 1,700 msnm
- Parcela Permanente de Monitoreo 2: 1,800 msnm
- Parcela Permanente de Monitoreo 3: 1,900 msnm

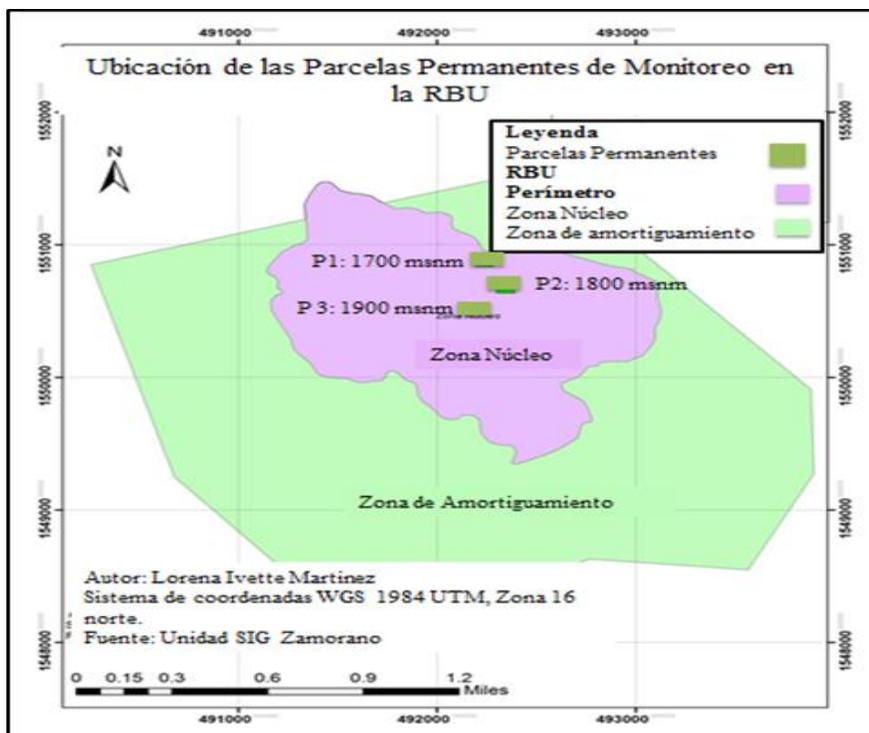


Figura 1. Mapa de Ubicación de las Parcelas Permanentes de Monitoreo.

Subdivisión de la parcela. El área efectiva de cada parcela establecida estaba dividida en 25 cuadrados o subparcelas de 10 × 10 m. Estas parcelas siguen el protocolo de establecimiento de Camacho y Pinelo (2000) (Figura 2).

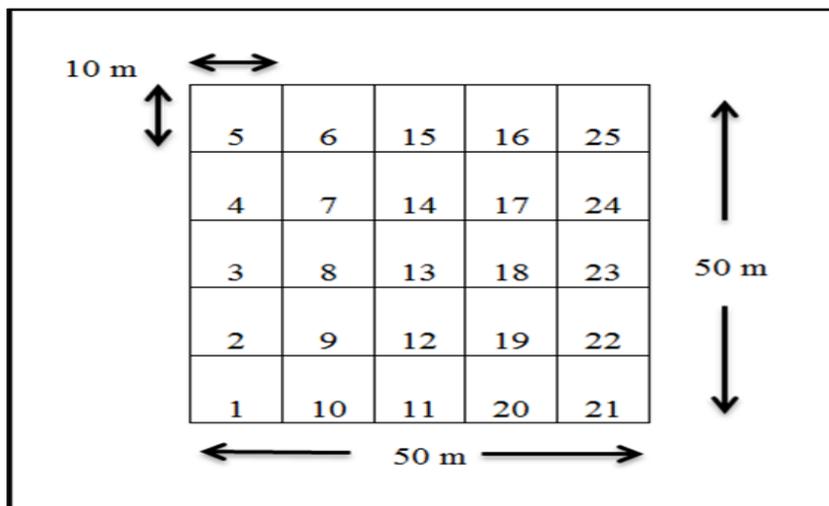


Figura 2. Diseño de Parcelas Permanentes de Monitoreo

Las PPM se instalaron en 2015 por estudiantes de Aprender Haciendo de cuarto año de la carrera de Ambiente y Desarrollo. Los estudiantes marcaron los arboles con un dap mayor a 10 cm. Además se enumeraron con placas de aluminio de la siguiente manera: arriba el número del cuadrado o subparcela y abajo el número correlativo del árbol, por ejemplo: 2/5 (Figura 3).

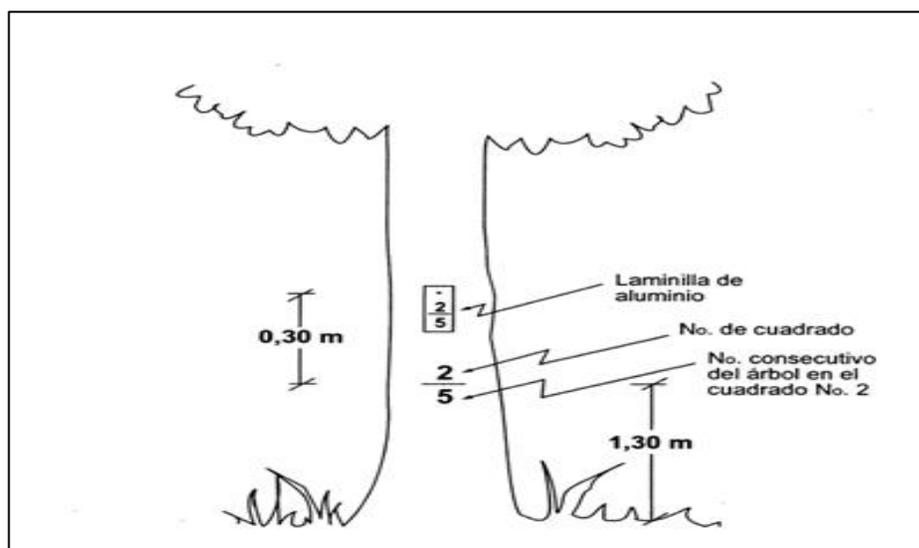


Figura 3. Esquema de rotulación de árboles.

Fuente: Morales (2000).

Identificación de especies. El dap se midió de cada uno de los individuos por parcela y se obtuvo muestras de follaje de 20 - 35 cm con flor o fruto usando una tijera podadora. Los individuos que tenían gran altura o eran de difícil acceso solo se obtenían muestra de la corteza. Esta actividad se realizó con ayuda del personal de forestales y una pasante de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) de la Carrera de Biología.

Las muestras colectadas se organizaron en bloques siguiendo el protocolo de Picado e Izaba (2014). Las muestras se identificaron con el número de árbol, parcela y sub parcela. Luego en el herbario Paul Standley se identificó el nombre de las especies. Las muestras se colocaron en un secador con bombillas eléctricas de 750 W a una temperatura de 45 °C por espacio de 24 horas. Las especies no identificadas se asignaron a la categoría de desconocidas. Finalmente, se verificó el nombre de cada especie en el sitio web Tropicos.org (Picado e Izabá, 2014).

Importancia ecológica de las especies. Las tres PPM se midieron para obtener el Índice de Valor de Importancia (IVI) de la especies. Este índice pondera la importancia de las especies presentes en las parcelas mediante parámetros como: frecuencia, abundancia y dominancia (Acosta, Araujo e Iturre, 2006).

Para obtener el IVI se midieron todos los árboles con un dap mayor a 10 cm. Se utilizó una cinta diamétrica y una ficha de monitoreo de árboles para anotar el dap, el número de la parcela y subparcela, la fenología (estéril/flor/fruto). Además se caracterizó cada árbol para observar si es un hospedero de plantas epifitas, musgos o lianas. Los datos de las parcelas y subparcelas se registraron en una ficha.

El fuste de cada individuo se midió asegurando que la cinta diamétrica estuviera bien ajustada a la corteza (FAO, 2004). Los árboles bifurcados se midieron considerando cada fuste como un árbol independiente (León, 2009). El diámetro de cada individuo en las tres parcelas sirvió para evaluar los parámetros del IVI [1]; abundancia, frecuencia y dominancia (Leyva et al., 2005).

$$IVI= A\%+F\%+D\% \quad [1]$$

Abundancia relativa [2]: define que especies son las que tienen una mayor presencia en el bosque (Leyva et al., 2005). Esta variable se define como la proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema.

$$A\% = \frac{\text{Número de individuos de la especie}}{\text{Número total de individuos del inventario}} \times 100 \quad [2]$$

Dominancia Relativa [3]: Es un estimado de la cobertura. Se define como la proporción de cada especie respecto al área basal, por ello se estimó esta variable a partir del dap (Leyva, et al., 2005). El área basal es importante como un Indicador de la calidad del sitio y grado de desarrollo del bosque (Larreta, Rivas, Calderon y Nagel, 2010).

$$\text{Área basal (g)} = \frac{dap^2 \times \pi}{4}$$

$$G = \sum_{i=1}^n g_i$$

$$D\% = \frac{\text{Área basal de una especie (g)}}{\text{Área basal total (G)}} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

G = sumatorias de áreas basales en m²/ha.

g = área basal del individuo en m².

Frecuencia Relativa [4]: mide la regularidad de la distribución horizontal de cada especie (Leyva et al., 2005). Permite determinar el número de parcelas en que aparece una determinada especie, en relación al total de parcelas inventariadas.

$$F\% \equiv \frac{\text{Número de parcelas donde ocurre la especie}}{\text{Número total de parcelas}} \times 100 \quad [4]$$

EL IVI de las especies de cada PPM se obtuvo de la suma de los parámetros anteriores. Este índice detecta la adaptabilidad de las especies (Lara y Timoté, 2010). La información colectada y los cálculos para estimar el IVI se organizaron en una base de datos de Excel.

Estimación de Carbono en fuste. Se procedió a extraer tarugos de madera de tres individuos con mayor IVI: *Quercus benthamii* (parcela 1; individuo 12/1), *Quercus sapotifolia* (parcela 2; individuo 12/2) y *Quercus* sp. (parcela 3; individuo 14/4). Estas muestras sirvieron para determinar el contenido de Carbono en cada uno de los individuos.

Las barrenaciones se realizaron con ayuda del personal de la RBU. Se utilizó un barreno de incremento para extraer tarugos de madera del árbol vivo sin provocar daños en el fuste (Chave, 2006). Se sacaron tres tarugos de madera de 43.52 cm, 39.45 cm y 48.76 cm de longitud que corresponden a cada uno de los individuos barrenados con diámetros de 0.61 y 0.66 metros respectivamente.

Los tarugos de madera se prepararon y se enviaron al laboratorio de dendrocronología en Utah State University. El personal del laboratorio analizó las muestras y determinó el porcentaje de Carbono de cada uno de los tres individuos que pertenecen a las especies con mayor IVI en las PPM.

Estimación de la Biomasa y Carbono capturado: La biomasa en fuste se calculó de manera indirecta usando el volumen y la densidad de la madera [6]. Una de las variables para obtener el volumen es la altura de cada individuo en la parcela. Para medir la altura se usó un hipsómetro SUUNTO® desde una distancia horizontal de 20 metros.

El factor de forma, es un cociente del volumen real y el volumen del cilindro de referencia. Se utilizó el factor de forma de 0.66 reportado por (La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID], 1997) a través de tablas volumétricas de especies del genero *Quercus*. El volumen (m^3) es el producto de estas tres variables: área basal, altura y factor de forma [5].

$$V=AB \times H \times F \quad [5]$$

Donde:

V = volumen

AB = área basal

H = altura

F = factor de forma para *Quercus* con valor de 0.66

La densidad de la madera es la relación entre el peso seco y el volumen húmedo. Esta se obtuvo como parte de los análisis de contenido de Carbono que se hicieron a los tres tarugos de madera en el laboratorio de Utah State University. A partir de estos datos se estimó la biomasa (ton) a través del producto de la densidad (ton/m^3) y el volumen (m^3) de la madera. Luego para obtener la cantidad de Carbono capturado por árbol, se utilizó el porcentaje de Carbono dado por los análisis en laboratorio y se multiplico por la cantidad de biomasa en toneladas.

$$C \text{ capturado} = \%C \text{ en muestras} \times B \quad [6]$$

Donde:

C = Carbono capturado

%C = porcentaje de Carbono encontrado en los tarugos de madera.

B = biomasa en toneladas

Para convertir este Carbono (C) a dióxido de Carbono (CO_2) se multiplicó el resultado de la ecuación [6] por 44 y se dividió por 12 (donde 44 es la masa molecular del CO_2 y 12 la

masa atómica del Carbono). Este procedimiento se aplicó a todos los individuos en cada parcela. Luego se sumó el dióxido de Carbono de los individuos para obtener el total de dióxido de Carbono capturado en cada parcela en toneladas.

Evaluación dendrocronológica para *Quercus* sp. Los tarugos de madera de *Quercus benthamii* y *Quercus sapotifolia* se analizaron en el laboratorio de dendrocronología de Utah State University para conocer las edades y el crecimiento de los individuos.

El análisis de los valores medidos se hizo a través del dendroSoftware COFECHA[®] (Holmes, 1989) . Este programa identifica y data los anillos asignando a cada uno de ellos el año de calendario en el cual se formó. En especies latifoliadas de bosques tropicales es difícil reconocer los anillos, lo que puede generar errores. En estas especies no se presentan estaciones bien marcadas y como consecuencia no forman anillos anuales bien definidos (Mayer, 2001). Por lo anterior, los tarugos de madera se lijaron para lograr una buena visualización de los anillos.

Para confirmar la presencia de anillos de crecimiento y medir la distancia entre ellos se utilizó un macroscópico. Se escaneó la muestra y se introdujo los datos de medición y conteo de anillos al programa COFECHA[®]. El programa efectuó una comparación entre los anillos de la imagen escaneada y la base de datos que se generó en el conteo bajo macroscópio. Luego COFECHA[®] realizó una sincronización visual y estadística para asegurar que a cada anillo se le diera la fecha exacta de su formación (Mayer, 2001). Al final del análisis se generó un informe con los datos de edad, crecimiento de los anillos en mm y sus fechas correspondientes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Valor de Importancia (IVI). Se identificaron todas las muestras a nivel de familia y especie, haciendo un total de 25 especies (Figura 4). Se encontró que en alturas de 1700 y 1900 msnm las especies con mayor IVI son: *Quercus benthamii* con (130.91) *Quercus sapotifolia* con (32.69), *Pinus maximinoi* con (26.22) y *Persea americana* con (19.14). Estas especies también se identificaron en los estudios de Moscoso (1998), Torres (2002) y Mora (2013). El *Pinus maximinoi* con (26.22) tiene menor IVI a medida que aumenta la altitud, mientras que las especies de la familia Fagaceae tienen mayor abundancia, frecuencia y dominancia en las parcelas de 1,800 a 1,900 msnm.

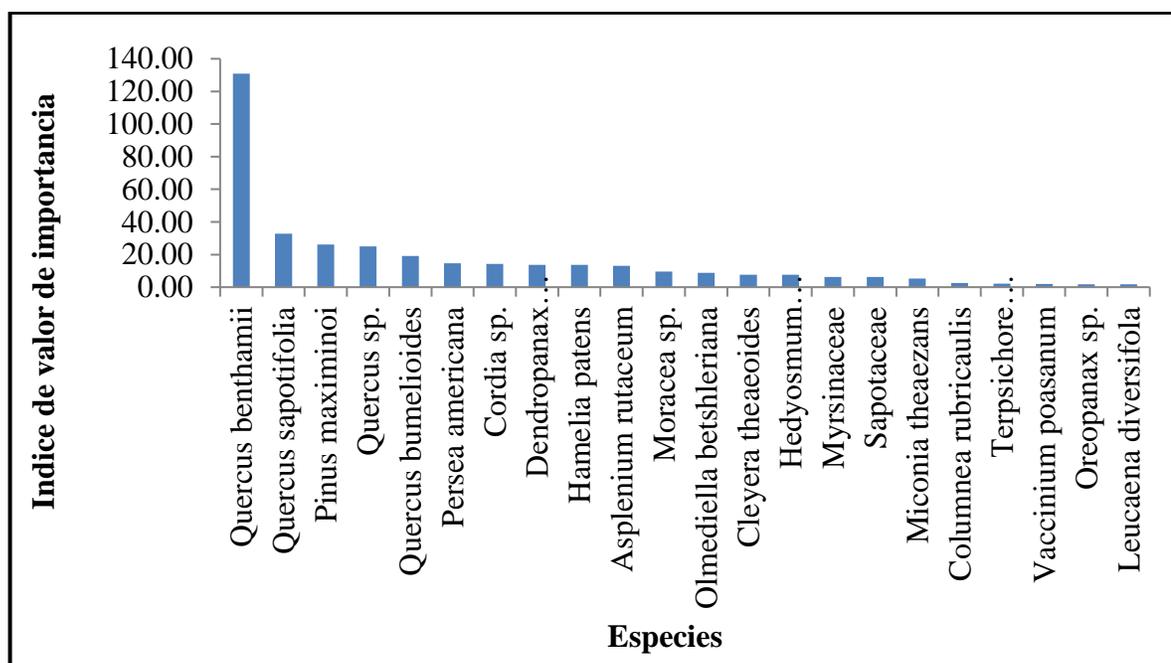


Figura 4. Índice de Valor de Importancia de las especies identificadas.

Estimación de Carbono Forestal. Los análisis de Carbono almacenado en fuste fueron utilizados para todas las especies del género *Quercus*. El contenido de Carbono es similar al encontrado por Díaz (2011) y Guerra (2005) con valores entre 42% y 46,4% para especies del género *Quercus* en bosques nublados de México. Esto asegura que las muestras fueron tomadas correctamente y que el contenido de lignina y minerales en el tejido del fuste de las especies del género *Quercus* es similar.

Cuadro 1. Porcentaje de Carbono por especie.

Especie	% Carbono
<i>Quercus sapotifolia</i>	44.7
<i>Quercus benthamii</i>	44.5
<i>Quercus sp.</i>	46.3

Estimación de la Biomasa y Carbono capturado. La estimación de Carbono en fuste se realizó para las tres parcelas con especies de *Quercus benthamii*, *Quercus sapotifolia* y *Quercus sp.* En la tercera parcela se encontró una mayor captura de Carbono con 41.61 toneladas. El área basal total (7.22 m²) de *Quercus* es mayor en esta parcela con respecto a la primera parcela (4.26 m²) y la segunda (2.99 m²).

El promedio de Carbono capturado por el género *Quercus* para las tres parcelas permanentes es de 26.48 ton. Si se extrapola para una ha, se obtienen que las especies del género *Quercus* investigadas capturan 105.91 ton C/ha que equivale a 388.34 ton de CO₂/ha. Lo que representa el 38% de la captura de Carbono del género *Quercus* en el bosque nublado. La literatura reporta un factor de Carbono de 0.50 para especies del género *Quercus*, sin embargo, al utilizar factores de métodos indirectos no se obtienen resultados precisos. Por lo tanto en este estudio se usó el factor obtenido por el laboratorio a través de las barrenaciones de fuste de 3 individuos (Cuadro 1).

Cuadro 2. Estimación de Carbono y CO₂ en las parcelas permanentes de monitoreo.

N° Parcela	Volumen (m3)	Biomasa (ton)	Carbono capturado (ton)	CO₂ capturado (ton)
Parcela 1	64.64	45.25	20.57	75.41
Parcela 2	53.62	37.53	17.25	63.26
Parcela 3	130.40	91.28	41.61	152.58
Promedio	82.89	58.02	26.48	97.08
Promedio (1ha)	331.55	232.09	105.91	388.34

Evaluación dendrocronológica para *Quercus sp.* El análisis dendrocronológico identificó los anillos y les asignó el año de calendario exacto en el cual se formó. En este caso, el crecimiento radial de los anillos fue asignado de manera anual desde 1962 hasta 2015. El crecimiento radial total para el individuo de la especie *Quercus benthamii* es de 21.4 cm en 53 años y para el individuo de la especie *Quercus sapotifolia* es de 14.97 cm en 41 años.

Cuadro 3. Análisis dendrocronológico.

Especie	Años datados	Edad
<i>Quercus sapotifolia</i>	1974	41
<i>Quercus benthamii</i>	1962	53

El crecimiento acumulado anual de *Quercus bethaminae* y *Quercus sapotifolia* (Figura 8) no es continuo y presenta cambios debido a factores de clima, agua y suelo. Según un estudio realizado por Tomazello 2009 y Alvarado 2012 en base a dendrocronología y dendroecología en América Latina, la actividad del cambium es muy sensible a los factores ambientales. Esta sensibilidad queda reflejada en las características de los anillos formados. Por lo tanto, la variabilidad del clima, la composición atmosférica y las características del suelo modifican la tasa de formación de nuevas células y por ende de los anillos de crecimiento de las especies.

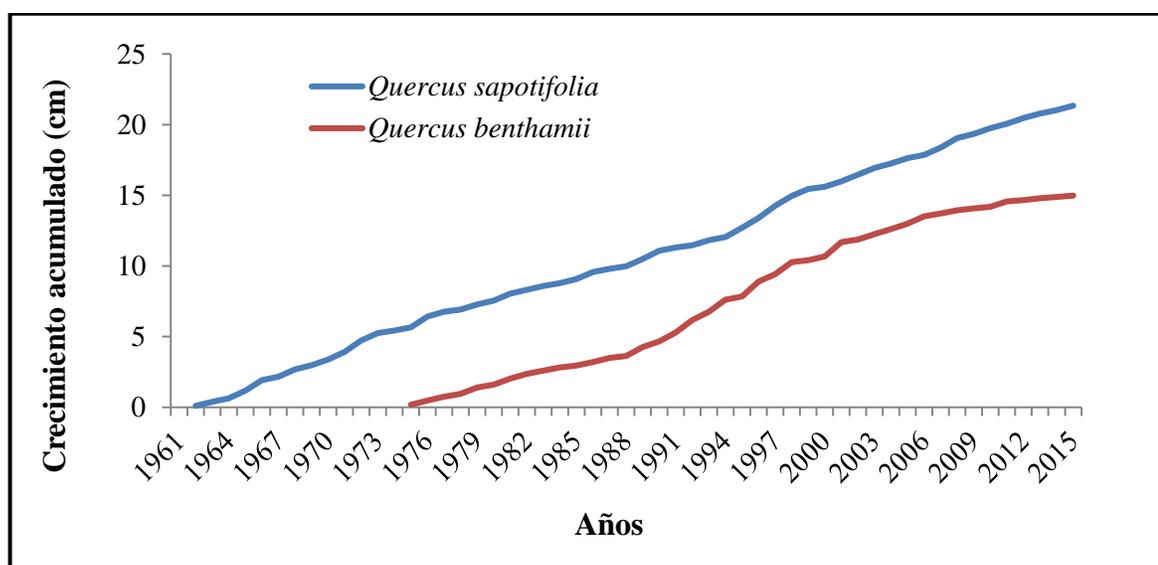


Figura 5. Crecimiento acumulado de dos especies del género *Quercus*.



Figura 6. Anillos de crecimiento de *Quercus benthamii*.

Distribución diamétrica de *Quercus*. Los *Quercus* identificados tienen un ancho de clase de 20 cm. A medida que las categorías diamétricas; el número de individuos disminuye. El bosque está compuesto en su mayoría por especies de *Quercus benthamii*. Muchos de estos individuos se encuentran en los rangos menores a 20 cm de diámetro. El análisis dendrocronológico, la distribución diamétrica y la edad de los individuos indican que es un bosque joven y en crecimiento y que por lo tanto hay captura continua de CO₂. Esto concuerda con los estudios realizados por Torres (2002) y Moscoso (1998) en la RBU en el cual concluye que *Quercus benthamii* es una de las especies dominantes y en crecimiento en las altitudes de 1,800 y 1,900 msnm.

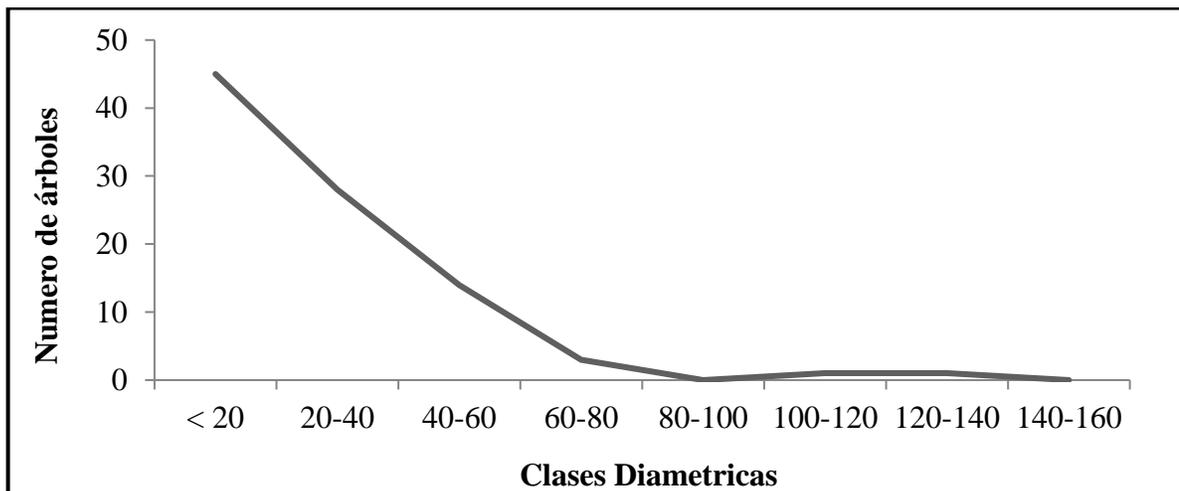


Figura 7. Distribución de clases diamétricas de género *Quercus* en la RBU.

4. CONCLUSIONES

- Las especies con mayor IVI fueron: *Quercus benthamii*, *Quercus Sapotifolia*, *Pinus maximinoi* y *Quercus* sp. El género *Quercus* con un IVI de 130.91 es el de mayor importancia ecológica en las tres PPM.
- El contenido de Carbono para género *Quercus* en las tres PPM es de 105.92 ton/ha. Este valor equivale a 388.34 ton de CO₂/ha, lo cual indica que las especies del género *Quercus* pueden capturar el 38% del Carbono total en una ha de bosque nublado de la zona núcleo en la RBU.
- El análisis dendrocronológico mostró que el crecimiento acumulado de *Quercus benthamii* es de 21.4 cm en 53 años y para *Quercus sapotifolia* es de 14.9 cm en 41 años. Esto indica que son especies de crecimiento no tan acelerado. La distribución de clases diamétricas de las especies estudiadas muestra una “J invertida” donde la mayoría de individuos del género *Quercus* se encuentran entre las clases diamétricas de 20 a 60 cm lo que indica que es un bosque en crecimiento con captura de CO₂.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con registros de la estación climatológica que actualmente funciona en Uyuca. Esto permitirá relacionar el crecimiento de especies con variables climáticas y hacer estimaciones futuras en escenarios de cambio climático.
- El género *Quercus* brinda servicios de fijación de CO₂ por lo que es importante continuar investigaciones que sirvan como línea base para iniciar el proceso de compensaciones por CO₂ que asegure la conservación de esta especie en el área.
- Se recomienda realizar más estudios de captura de Carbono en las demás especies de importancia ecológica sobre la captura de CO₂. Esta información servirá para actualizar el plan de manejo y de esta manera hacer una valoración para ofertar al mercado voluntario de Carbono.
- Realizar una investigación en donde se pueda obtener la fracción de Carbono en la biomasa concentrada en las raíces y hojas. Esto dará más información sobre el género *Quercus* como depósito natural de Carbono.

6. LITERATURA CITADA

- Acosta, V. H., Araujo, P. A., e Iturre, C. M., (2006). Caracteres Estructurales de las Masas (Vol. 22). (U.n.Chile, Ed.) Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Forestales.
- Agudelo, N., (1998). Manejo de Pino en RBU. Recuperado: 18 de septiembre de 2016, de Biblioteca Zamorano.
- Camacho, M., y Pinelo, G. (2000). Parcelas permanentes de muestreo. Costa Rica: CATIE.
- Chave, D. J. (2006). Medicion de Densidad de madera en árboles tropicales, Manual de Campo. 31000 Toulouse, France: Lab. Evolution et Diversité Biologique Université, Paul Sabatier. Recuperado de [http://www.rainfor.org/upload/Manuals Spanish/wooddensityspanish\[1\].pdf](http://www.rainfor.org/upload/Manuals Spanish/wooddensityspanish[1].pdf)
- Corona, D. J. (2015). Ecuación alométrica para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* del bosque natural de la Microcuenca Santa Inés, Honduras (Tesis Pregrado) Recuperado el 18 de septiembre de 2016, de Biblioteca Digital Zamorano: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4506/1/IAD-2015-015.pdf>
- Diaz, J. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y Carbono en *Quercus magnoliaefolia* Mexico: Recuperado de: Scielodoi:[http:// www.scielo.org.mx/scielo php?script=sciarttext&pid=S0186-32312011000200009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0186-32312011000200009).
- Escobar, M. (Noviembre de 2011). Vulnerabilidad de *Quercus* ante el cambio climático (Tesis Pregrado). Recuperado agosto 13 de 2016, de Zamorano Biblioteca Digital: [https:// bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/406/1/T3093.pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/406/1/T3093.pdf).
- Gavilanes, F. (2000). Cuantificación de la fijación y reducción potencial de emisiones de Carbono en Pino. (Tesis de Pregrado) Recuperado el 22 de agosto de 2016, de [https:// bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2729/1/IAD-2000-T006.pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2729/1/IAD-2000-T006.pdf).
- Holmes, R. L. (1989). Quality control in tree rings. Tucson: Arizona University.
- ILara, M. C., y Timoté, J. J. (2010). Estimación del Carbono forestal contenido en la biomasa de dos bosques andinos en Cudinarca y Santander. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose Caldas. Recuperado de [https:// www.academia.edu](https://www.academia.edu).

- La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID], (1997). Propuesta para la elaboración de factores de forma y volumen de madera. Recuperado el 13 de septiembre de 2016, de <http://pdf.usaid.gov/pdf.docs/pnacd113.pdf>.
- Larreta, B. V., Rivas, J. C., Calderon, O. A., y Nagel, J. (2010). Modelos de crecimiento de árbol individual: aplicación del simulador BWINPro7. Mexico, (Vol 6) Página.117, Revista Scielo.
- León, F. B. (2009). Manejo de bosques naturales en la región de alta Verapaz. Guatemala: Instituto nacional de Bosques (INAB).doi:<http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/01/012477.pdf>.
- Leyva, A. N., Santoyo, J. J., Hernandez, E., Pelz, D., Rodrigo, C., Gallegos, A., y Ramirez, M. G. (2005). El Índice de Valor de Importancia de especies forestales en base a unidades ecologicas de un bosque tropical. Universidad de Guadalajara;Universidad de Freiburg, Departamento de madera, celulosa y papel; Departamento de biometria forestal; USDA, Departamento de produccion forestal. Mexico: Avances de investigacion cientifica (CUCBA). <https://www.researchgate.net/publication/267216316>.
- Mayer, H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. Recuperado el 15 de julio de 2016, de Tree- ring Research: <http://www.ltrr.arizona.edu/~sheppard/Raul/GrissinoCOFECHA.pdf>.
- Mora, J. M.,Lopez, L., y Maradiaga, P. (2013). Plan de Manejo Reserva 2013-2025. junio 22, 2016, Recuperado de: <https://acchonduras.files.wordpress.com/2014/07/plan-manejo-rbu-2013-2025.pdf>.
- Morales., G. I. (2000). Manual para instalacion de parcelas permanentes de monitoreo en la Reserva Biosfera Maya, Peten Guatemala. En G. I. Morales, Manual para instalacion de parcelas permanentes de monitoreo en la Reserva Biosfera Maya, Peten Guatemala. (página. 68). Guatemala: Centro Agronomico Tropical de Investigaciony Enseñanza.
- Moscoso, J. L. (1998). Caracterización dendrológica y ecológica del género *Quercus* L. en bosque de la Montaña de Uyuca. (Tesis de Pregrado) Tegucigalpa: Zamorano. Recuperado el 3 de octubre de 2016, de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2827/1/CPA-1998-T042.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura [FAO], (2004). Programa Forestal nacional manual de campo. Departamento de Montes Guatemala: FAO. Recuperado el 6 de 09 de 29, de <http://www.fao.org/3/a-ae578s.pdf>.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], (2006). Secuestro de Carbono en los bosques. Obtenido de <http://www.fao.org/news/story/en/item/40893/icode/pdf>.
- Picado, Y. S., e Izabá, O. F. (2014). Elaboración de base de datos del jardín botánico de Zamorano (Tesis de pregrado) Recuperado de: Biblioteca Digital Zamorano.
- Pratt, J. R. (Enero de 1998). Potencial de Carbono y Fijación de dióxido de Carbono de la Biomasa en Pie por Encima del Suelo en los Bosques de. Recuperado el septiembre de 23 de 2016, de <http://www.sidalc.net/reprodoc/A11581e/A11581e.pdf>.
- Rojas, M. (1997). Caracterización Ecológica silvícola de *Quercus acuta* Mull, en Cerro Uyuca. Tegucigalpa; Zamorano.
- Torres, R. M. (2002). Estudio florístico estructural de una asociación vegetal en el bosque latifoliado maduro de Reserva Biológica Uyuca. Tegucigalpa: Zamorano/EAP.
- Tomazello, y Alvarado, R. (2009). Evaluación del crecimiento de árboles de *Enterolobium cyclocarpum* a través de análisis dendrocronológico. Michigan; Obtenido de: Research Gate.

7. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de IVI Primera Parcela Permanente de Monitoreo.

Especie	Abundancia (%)	Frecuencia (%)	Dominancia (%)	IVI
<i>Quercus benthamii</i>	48.72	48.00	37.25	96.72
<i>Quercus sapotifolia</i>	17.95	24.00	23.24	41.95
<i>Pinus maximinoi</i>	3.85	12.00	24.45	15.85
<i>Quercus sp.</i>	7.69	12.00	9.36	19.69
<i>Hamelia patens</i>	6.41	16.00	2.76	22.41
<i>Cordia sp.</i>	6.41	12.00	1.12	18.41
<i>Moracea sp.</i>	3.85	12.00	0.82	15.85
<i>Leucaena diversifolia</i>	2.56	8.00	0.18	10.56
<i>Olmediella betshleriana</i>	1.28	4.00	0.60	5.28
<i>Oreopanax sp.</i>	1.28	4.00	0.21	5.28

Anexo 2. Tabla de IVI Segunda Parcela Permanente de Monitoreo.

Especies	Abundancia (%)	Frecuencia (%)	Dominancia (%)	IVI
<i>Quercus benthamii</i>	26.56	36.00	24.18	86.75
<i>Quercus bumelioides</i>	12.50	24.00	21.44	57.94
<i>Quercus sapotifolia</i>	6.25	12.00	8.51	26.76
<i>Persea americana</i>	9.38	12.00	4.38	25.76
<i>Pinus maximinoi</i>	6.25	12.00	5.55	23.80
<i>Cordia sp.</i>	6.25	12.00	4.99	23.24
<i>Cleyera theaeoides</i>	3.13	8.00	4.93	16.06
<i>Olmediella betshleriana</i>	4.69	4.00	5.92	14.61
<i>Sapotaceae</i>	4.69	8.00	0.62	13.31
<i>Asplenium rutaceum</i>	1.56	4.00	7.52	13.08
<i>Moracea sp.</i>	3.13	8.00	0.72	11.84
<i>Dendropanax gonatopodus</i>	4.69	4.00	1.73	10.42
<i>Miconia theaezans</i>	3.13	4.00	2.66	9.78
<i>Hamelia patens</i>	1.56	4.00	3.14	8.70
<i>Columnnea rubricaulis</i>	1.56	4.00	1.93	7.49
<i>Terpsichore lehmanniana</i>	1.56	4.00	1.27	6.84
<i>Myrsinaceae</i>	1.56	4.00	0.35	5.91

Anexo 3. Tabla de IVI Tercera Parcela Permanente de Monitoreo.

Especies	Abundancia %	Frecuencia %	Dominancia %	IVI
<i>Quercus benthamii</i>	26.56	36.00	24.18	86.75
<i>Quercus bumelioides</i>	12.50	24.00	21.44	57.94
<i>Quercus sapotifolia</i>	6.25	12.00	8.51	26.76
<i>Persea americana</i>	9.38	12.00	4.38	25.76
<i>Pinus maximinoi</i>	6.25	12.00	5.55	23.80
<i>Cordia sp.</i>	6.25	12.00	4.99	23.24
<i>Cleyera theaeoides</i>	3.13	8.00	4.93	16.06
<i>Olmediella betshleriana</i>	4.69	4.00	5.92	14.61
<i>Sapotaceae</i>	4.69	8.00	0.62	13.31
<i>Asplenium rutaceum</i>	1.56	4.00	7.52	13.08
<i>Moracea sp.</i>	3.13	8.00	0.72	11.84
<i>Dendropanax gonatopodus</i>	4.69	4.00	1.73	10.42
<i>Miconia theaezans</i>	3.13	4.00	2.66	9.78
<i>Hamelia patens</i>	1.56	4.00	3.14	8.70
<i>Columnnea rubricaulis</i>	1.56	4.00	1.93	7.49
<i>Terpsichore lehmanniana</i>	1.56	4.00	1.27	6.84
<i>Myrsinaceae</i>	1.56	4.00	0.35	5.91
<i>Hedyosmum mexicanum</i>	1.56	4.00	0.17	5.73

Anexo 4. Tabla de IVI de las tres Parcelas Permanentes de Monitoreo.

Especie	Abundancia (%)	Frecuencia (%)	Dominancia (%)	IVI
<i>Quercus benthamii</i>	44.44	53.33	33.14	130.91
<i>Quercus sapotifolia</i>	9.66	14.67	8.36	32.69
<i>Pinus maximinoi</i>	3.86	9.33	13.02	26.22
<i>Quercus sp.</i>	4.83	8.00	12.18	25.01
<i>Quercus bumelioides</i>	3.86	8.00	7.28	19.14
<i>Persea americana</i>	4.35	8.00	2.39	14.74
<i>Cordia sp.</i>	4.35	8.00	1.95	14.30
<i>Dendropanax gonatopodus</i>	3.86	6.67	3.15	13.68
<i>Hamelia patens</i>	3.38	8.00	2.20	13.58
<i>Asplenium rutaceum</i>	1.45	4.00	7.71	13.16
<i>Moracea sp.</i>	2.42	6.67	0.43	9.51
<i>Olmediella betshleriana</i>	2.42	4.00	2.45	8.87
<i>Cleyera theaeoides</i>	1.45	4.00	2.27	7.72
<i>Hedyosmum mexicanum</i>	1.93	5.33	0.44	7.71

Especie	Abundancia %	Frecuencia %	Dominancia %	IVI
<i>Sapotaceae</i>	1.93	4.00	0.31	6.24
<i>Miconia theaezans</i>	1.45	2.67	1.13	5.24
<i>Columnnea rubricaulis</i>	0.48	1.33	0.65	2.47
<i>Terpsichore lehmanniana</i>	0.48	1.33	0.43	2.25
<i>Vaccinium poasanum</i>	0.48	1.33	0.12	1.93
<i>Oreopanax sp.</i>	0.48	1.33	0.05	1.86
<i>Leucaena diversifolia</i>	0.48	1.33	0.04	1.86

Anexo 5. El género *Quercus* representa el 38% de las capturas de Carbono en 1 ha de bosque nublado.

	Area (ha)	Ton C	Ton C/ha
Bosque nublado	371.00	102,503.00	276.29
Género <i>Quercus</i>	0.25	26.48	105.91

Anexo 6. Estimación de Carbono Parcela 2.

Nombre científico	Vol. (m³)	Densidad (ton/m³)	Biomasa (ton)	Factor de C en la madera	Carbono	Factor C a CO₂	CO₂ (ton)
<i>Quercus Benthamii</i>	3.07	0.70	2.15	0.46	1.00	3.67	3.65
<i>Quercus. Benthamii</i>	0.56	0.70	0.39	0.46	0.18	3.67	0.66
<i>Quercus Benthamii</i>	0.14	0.70	0.10	0.46	0.04	3.67	0.16
<i>Quercus. Benthamii</i>	0.18	0.70	0.12	0.46	0.06	3.67	0.21
<i>Quercus. Benthamii</i>	0.14	0.70	0.10	0.46	0.05	3.67	0.17
<i>Quercus. Benthamii</i>	0.57	0.70	0.40	0.46	0.18	3.67	0.68
<i>Quercus Benthamii</i>	0.55	0.70	0.38	0.46	0.18	3.67	0.65
<i>Quercus Benthamii</i>	0.37	0.70	0.26	0.46	0.12	3.67	0.43
<i>Quercus. Benthamii</i>	0.32	0.70	0.23	0.46	0.10	3.67	0.38

Nombre científico	Vol. m³	Densidad (ton/m³)	Biomasa (ton)	Factor de C en la madera	Carbono	Factor C a CO₂	CO₂ (ton)
<i>Quercus. Benthamii</i>	0.14	0.70	0.10	0.46	0.04	3.67	0.16
<i>Quercus. Benthamii</i>	1.52	0.70	1.07	0.46	0.49	3.67	1.81
<i>Quercus sapotifolia</i>	0.34	0.70	0.24	0.45	0.11	3.67	0.39
<i>Quercus. Benthamii</i>	28.50	0.70	19.95	0.46	9.24	3.67	33.87
<i>Quercus. Benthamii</i>	4.40	0.70	3.08	0.46	1.43	3.67	5.23
<i>Quercus. Benthamii</i>	0.12	0.70	0.08	0.46	0.04	3.67	0.14
<i>Quercus Benthamii</i>	1.32	0.70	0.92	0.46	0.43	3.67	1.57
<i>Quercus sapotifolia</i>	1.34	0.70	0.94	0.45	0.42	3.67	1.54
<i>Quercus sapotifolia</i>	4.60	0.70	3.22	0.45	1.44	3.67	5.28
<i>Quercus Benthamii</i>	0.27	0.70	0.19	0.46	0.09	3.67	0.32
<i>Quercus sapotifolia</i>	4.98	0.70	3.48	0.45	1.56	3.67	5.71
Total	53.62	14.70	37.53	9.66	17.25	77.00	63.2