Estrategia Nacional para la Reducción de Deforestación, degradación y captura de stock

Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP

Informe metodológico para la elaboración del mapa de estratos de Carbono

Danger Danilo Gómez Xutuc

Actualizado 31 de septiembre de 2017

Grupo Interinstitucional de Bosques de Monitoreo y Uso de la Tierra -GIMBUT
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
Consejo Nacional de Áreas Protegidas
Instituto Nacional de Bosques
Universidad del Valle de Guatemala

Asesoría y coordinación

Centro de Monitoreo y Evaluación del CONAP
Víctor Hugo Ramos

Consejo Nacional de Áreas Protegidas
Adalberto López

Universidad del Valle de Guatemala
Edwin Castellanos
Diego Incer
Diego Pons

WINROCK INTERNATIONAL
Anna McMurray, Felipe Casarim, Timothy Pearson

autor:

Gómez Xutuc, D. D. (2017). *Informe metodológico para la elaboración del mapa de estratos de Carbono.* Guatemala.

Contenido del documento

Página

Índice de cuadros iii
Índice de figuras iv
Resumen v
Acrónimos vii
1 Introducción 1
2 Objetivos 2
2.1 Objetivo general 2
2.2 Objetivos específicos 2
3 Recopilación de la información 3
4 Sistematización de los datos 4
4.1 Depuración de árboles 5
4.2 Depuración de parcelas 6
4.3 Ecuaciones alométricas para bosques latifoliados y coníferas 7
4.4 Ecuaciones alométricas para bosque de mangle 8
4.5 Cálculo de carbono por hectárea con la biomasa aérea 9
4.6 Cálculo de carbono por hectárea de biomasa aérea y subterránea 10
5 Estratificación por contenido de carbono 11
5.1 Análisis de los índices ombrotérmicos 13
5.2 Pruebas de normalidad 14
5.3 Comparación de k muestras (Kruskal-Wallis) 16
5.4 Estratificación geográfica 18
5.5 Estimación de la media ponderada de acuerdo a la varianza 20
5.6 Cálculos de incertidumbres por estrato de acuerdo a la varianza 23
5.7 Estimación de carbono con el método de monte Carlo 23
5.8 Mediana, media ponderada y estimación por Monte Carlo de la cantidad de tC/ha encontrada por estrato 30
6 Reservorios de Carbono por la cobertura forestal 31
7 Conclusiones 34
8 Recomendaciones 35
9 Bibliografía 36
10 Anexos 37
Anexo 1. Metodología para realizar el mapa de índices ombrotérmicos 37
Anexo 2: Constancia de entrega de datos por parte de la ASINFOR 42

Índice de cuadros

Cuadro 1. Unidades de muestreo de acuerdo al tamaño y fuente de información .. 4
Cuadro 2. Procedimiento para depuración de árboles con DAP <10 cm 5
Cuadro 3. Tabla dinámica del resumen de las parcelas..... 5
Cuadro 4. Ecuaciones alométricas utilizadas para bosques latifoliados y coníferas7
Cuadro 5. Ecuaciones alométricas para mangle 8
Cuadro 6. procedimiento para obtener el cálculo de tC/ha 10
Cuadro 7. Tabla dinámica de los cálculos de tC/ha por parcela..... 10
Cuadro 8. Cálculo final de tC/ha con la biomasa aérea y subterránea..... 11
Cuadro 9. Descripción de los registros del consolidado final 11
Cuadro 10. Estadística descriptiva del consolidado general 12
Cuadro 11. Estadística descriptiva por horizonte ómbrico 14
Cuadro 12. Pruebas de normalidad de los datos para cada horizonte ómbrico. ... 15
Cuadro 13. Prueba de Kruskal-Wallis 16
Cuadro 14. Comparación de hipótesis por índice ómbrico 16
Cuadro 15. Grupos estadísticos por índice ómbrico..... 17
Cuadro 16. Estratificación estadística final..... 17
Cuadro 17. Estratificación final por índice ómbrico 19
Cuadro 18. Estadística descriptiva por estrato. 20
Cuadro 19. Media pondera de acuerdo a la varianza por estrato..... 22
Cuadro 20. Cálculo de incertidumbres por estrato 23
Cuadro 21. Distribución que más se ajusta a los datos de las parcelas de 0.03 ha 24
Cuadro 22. parámetros de la distribuvción Gamma (2) de las parcelas de 0.03 ha 24
Cuadro 23. Estadística descriptiva de la modelación de Monte Carlo..... 28
Cuadro 24. Incertidumbre de las estimaciones de tC/ha por estrato..... 29

Índice de figuras

Figura 1. Proceso metodológico para la estratificación de carbono vi
Figura 2. Identificación de parcelas a depurar..... 6
Figura 3. Porcentaje de cobertura boscosa en parcelas del IFN..... 6
Figura 4. Depuración de parcelas del IFN <99% de cobertura de bosque 2001 y 2006 7
Figura 6. Proporción en % de carbono de la biomasa aérea y subterránea por especie de mangle 9
Figura 5. Aplicación de ecuaciones alométricas para el cálculo de biomasa aérea y subterránea 9
Figura 7. Histograma de la distribución de datos (tC/ha) 13
Figura 8. Histogramas de los datos (tC/ha) por horizonte ómbrico 15
Figura 9. Grupos estadísticos..... 17
Figura 10. Horizontes ómbricos intersectados 18
Figura 11. Diagrama de cajas de tC/ha por el estrato I, II, III y IV 19
Figura 12. Análisis de la varianza de las tC/ha por tamaño de las parcelas. 21
Figura 13. Histogramas de la distribución de tC/ha por estrato "I", "II", "III" y "IV". 29
Figura 14. Comparación de la Mediana y media ponderada y estimación por Monte Carlo (tC/ha) por estrato..... 30
Figura 15. Mapa de estratos de carbono (tC/ha) biomasa aérea y subterránea en base a índices ombrotérmicos..... 31
Figura 16. Cantidad de tC por regiones REDD+ en la cobertura forestal en Guatemala..... 32
Figura 17. Tendencia del carbono (tC/ha) por tres períodos de años 32
Figura 18. Estratificación de Carbono (tC/ha) en la cobertura forestal del año 2010 33

Resumen

Se recopilaron más de 3 mil parcelas de inventarios forestales provenientes de bosques naturales a nivel nacional, con el objetivo de elaborar el mapa de estratos de carbono para Guatemala. Para definir la estratificación se utilizaron los límites de zonificación ombrotérmica los cuales se definen de acuerdo a la temperatura y precipitación de cada región y para Guatemala se clasifican desde zonas semiáridas hasta zonas Hiperhúmedas.

Para la construcción del mapa se sistematizaron los datos a través de una arquitectura de tal manera se puedan identificar los datos desde el inicio hasta cálculo final, con esto se aseguró que los datos sean procesados adecuadamente, los cuales provenientes de más de 14 fuentes de información tanto de instituciones gubernamentales como ONG´s, incluyendo las concesiones dentro de las áreas protegidas que existen en el norte del país.

Para el cálculo de biomasa se utilizaron tres ecuaciones alométricas para bosques naturales tanto en latifoliados como de coníferas, éstas primeras fueron estandarizadas a través de estudios realizados por la Universidad del Valle de Guatemala: UVG (2015) para coníferas, UVG (2015) para latifoliados; y para tierras bajas del norte la ecuación de Williams Arreaga (2002), con éstas se calculó la biomasa aérea para cada árbol (incluye desde el fuste hasta las ramas), utilizando únicamente el DAP (diámetro a la altura de 1.3 m). Para el caso del bosque de mangle se aplicaron tres ecuaciones de acuerdo a la especie encontrada (Se utilizaron parcelas permanentes de muestreo de la costa sur de Guatemala administradas por el INAB).

Para calcular la biomasa subterránea se utilizaron las densidades en el bosque de mangle y para bosques latifoliados y coníferas, se aplicó la ecuación de Mokany et al (2006) de acuerdo a la proporción de la biomasa aérea, obteniendo la biomasa total por parcela (t/ha).

Para calcular el carbono almacenado de cada árbol se normalizó las toneladas de carbono por hectárea, utilizando el factor de expansión del IPCC (2006). A partir de estas estimaciones se realizó el análisis estadístico descriptivo para saber la variabilidad de los datos por cada una de las parcelas. Con los parámetros de georeferencia (x,y) se intersectaron las parcelas con los horizontes ómbricos para poder analizar si un horizonte posee la misma o similar cantidad de carbono en cuanto a otro. Previo a éste proceso se realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-wilk, Anderson-Darlin, Lilliefors, Jarque-Bera) sabiendo que la información proviene de diferentes muestras, se demostró que los datos no poseen una distribución normal, por lo que se utilizaron pruebas no paramétricas, específicamente la de Kruskal-Wallis la cual se adapta para varias muestras independientes, estas pruebas sirven para identificar la significancia entre un horizonte y otro de la cantidad de carbono que poseen. El resultado fueron 3 estratos estadísticos, concluyendo en 4 estratos a nivel nacional.

Además del resumen estadístico descriptivo, se analizaron que algunas parcelas tenían una gran variabilidad respecto a la media y la mediana, por lo tanto, se realizaron pruebas de bondad de ajuste de las distribuciones que tenían cada uno de los datos, de acuerdo al tamaño de las parcelas, en este caso se encontraron parcelas de 0.03 ha. de muestreo y hasta 1 hectárea las cuales provienen de las concesiones del Petén. Además, se incluyeron algunas parcelas provenientes del inventario forestal nacional (INAB 2002) que son conglomerados de 2 ha.

Uno de los objetivos del estudio es poder estimar la cantidad de carbono por estrato, identificando el tipo de distribución de las parcelas de acuerdo al tamaño de muestreo a través del método de Monte Carlo; Es por eso que se realizó la simulación 10,000 veces de cada una de las distribuciones para poder obtener un estimador final (mediana) por estrato dónde se identificaron distribuciones normales, beta4, logística Gamma, etc.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones en el estrato I, se obtuvo la cantidad de 122.1 tC/ha, estrato II 101.73 tC/ha, estrato III 97.1 tC/ha y estrato IV 125.2 tC/ha, y las incertidumbres finales se calcularon a través de remuestreos (Bootstrap) lo cual se obtienen los intervalos de confianza al 95% de confiabilidad que van de 0.28%, 1.07%, 1.02%, 0.76% por estrato respectivamente.

Todos los cálculos se realizaron al 95% de confiabilidad y de acuerdo a lo que establece el FCPF de la transparencia y rugosidad en los resultados.

Para describir el proceso realizado para la obtención del mapa de estratos de carbono se puede resumir en el siguiente esquema:

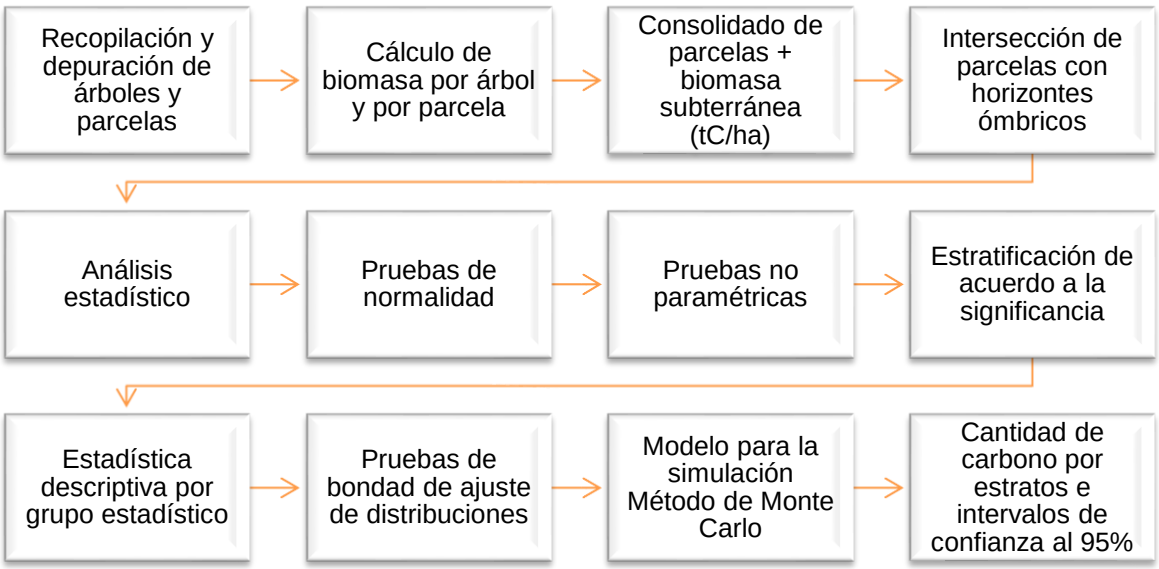


Figura 1. Proceso metodológico para la estratificación de carbono

Acrónimos

AGROCYT	Fondo Competitivo de Desarrollo Tecnológico Agroalimentario
ASINFOR	Asociación de Ingenieros Forestales de Guatemala
C	Carbono
CARE	proyecto CARE para Guatemala
CEMEC	Centro de monitoreo y evaluación del CONAP
CNCG	Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala
CO_2	Bióxido de carbono
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
DAP	Diámetro a la altura del pecho (1.3 metros de altura)
FODECYT	Fondo para el Desarrollo Científico y Tecnológico
Ha	Hectáreas
IFRI	International Forestry Resources and Institutions
REDD+	Reducción evitada de emisiones por Deforestación, Degradación y captura de Stock
INAB	Instituto Nacional de Bosques
T	Toneladas
TNC	The Nature Conservancy
TRIFINIO	Área protegida entre Guatemala y Honduras
UVG	Universidad del Valle de Guatemala
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
PINPEP	Programa de Incentivos para Pequeños Poseedores de Tierras de Vocación Forestal o Agroforestal
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales

1 Introducción

Para la elaboración del mapa de estratos de carbono, se inició con la recopilación de información proveniente de inventarios forestales realizados en bosques naturales, al un principio se obtuvieron datos de parcelas provenientes de plantaciones, las cuales fueron excluidas en este estudio.

En este informe se detallan los resultados estadísticos para el cálculo de tC/ha ponderada de la varianza y la media aritmética, con biomasa aérea y subterránea, utilizando la capa de índices ombrotérmicos. Para el análisis se estancaron o acotaron los DAP máximo de cada ecuación alométrica, dependiendo del diámetro de cada uno de ellos, utilizando la capa de Regiones REDD para aplicar las ecuaciones de Arrreaga 2002, Fromard et al (1998) y UVG (tanto para coníferas como para latifoliado[1].

Se obtuvieron más de 3,000 parcelas, que van desde 0.02 hasta 1 hectárea de tamaño por muestra. Para los árboles se depuraron los que se encontraban menos de 10 centímetros de diámetro y datos incoherentes a un valor de medición (textos). Para el caso de las parcelas, se depuraron las que se encontraban fuera del área geográfica analizada (República de Guatemala).

La capa de índices ombrotérmicos se construyó de acuerdo a datos descargados del sitio digital de WorldClim[2] de precipitación y temperatura (medias mensuales respectivamente) lo cual contienen información de más de 2 mil estaciones meteorológicas a nivel mundial y para poder generar ésta capa se tomó el criterio de las variables de clima, lo cual se adecua a los países vecinos, además con estudios de carbono ya realizados (Sarstum Motagua y Guatecarbon).

Los análisis estadísticos se realizaron para poder generar los estratos estadísticamente significativos y no significativos a través de pruebas no paramétricas, utilizando el parámetro de tC/ha ya que los datos no presentan una distribución normal y las parcelas provienen de diferentes fuentes de información.

Así mismo se calcularon los intervalos de confianza al 95% de confiabilidad después de la simulación de los datos obtenidos por cada uno de los estratos. El estadístico utilizado fue la mediana como resultado final de la cantidad de carbono por hectárea que existe en el territorio a nivel nacional.

---

[1] Arreaga, 2002. Se aplicó para Tierras bajas del norte
Fromard 1998. Se aplicó para el bosque de mangle de la costa sur.
UVG 2015. Para el resto del país en bosque latifoliado y coníferas.

[2] http://www.worldclim.org/node/1

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Estratificar áreas con contenidos de carbono en bosques naturales de acuerdo a precipitación y temperatura utilizando información de parcelas de inventarios forestales a nivel nacional.

2.2 Objetivos específicos

- Recopilar y sistematizar los datos de parcelas provenientes de inventarios forestales tanto por el sector público como privado a nivel nacional.
- Identificar y depurar datos atípicos tanto en árboles como en parcelas.
- Aplicar las ecuaciones alométricas para bosques latifoliados, coníferas y de mangle generadas en Guatemala.
- Sistematizar la información de inventarios en un consolidado con la biomasa aérea y subterránea de todas las parcelas con sus respectivas coordenadas.
- Determinar parámetros estadísticos que describan el comportamiento de las toneladas de carbono por hectárea a nivel nacional.
- Identificar las zonas ómbricas en base a la temperatura y precipitación para Guatemala, obtenida de World Clim.
- Aplicar pruebas estadísticas para identificar la significancia de carbono entre cada horizonte ómbrico de acuerdo a las parcelas georreferenciadas.
- Ponderar la media de acuerdo a la varianza de los datos y al tamaño de las parcelas.
- Calcular la estimación de carbono con el método de Monte Carlo y sus respectivas incertidumbres por cada uno de los estratos identificados.

3 Recopilación de la información

A finales del año 2015 y principios del 2016 se coordinó con la Universidad del Valle de Guatemala, Consejo Nacional de áreas protegidas, Instituto Nacional de Bosques para la construcción del mapa de estratos de carbono, quedando como responsable en la entrega de éste producto, el CONAP.

Para poder obtener información de inventarios forestales provenientes de bosques naturales, se inició a través del INAB, ente responsable del manejo del tema forestal, a solicitar las bases de datos, utilizando las mediciones realizadas en parcelas permanentes de muestreo en bosques de coníferas, además se tiene el control del bosque de mangle en la costa sur a través de parcelas permanentes en coordinación con el ICC[3]. También se utilizó la información recopilada en el inventario forestal realizado en el año 2002-2003. (FAO, 2004)

A través de la universidad del Valle de Guatemala se obtuvieron las bases de inventarios forestales de los proyectos AGROCYT realizados en el año 2005-2006, proyecto CARE e IFRI del 2007, CNCG y FODECYT del 2008, Trifinio 2009, TNC y FDN-LACANDON realizado en el año 2010.

A través del CEMEC se obtuvieron parcelas de inventarios forestales provenientes de mediciones de las siguientes concesiones forestales: La Pasadita 1994, Uaxactún 1996, Árbol Verde, La Colorada y Laborantes del Bosque del año 1999, CUSTOSEL 2000, Paxban 1999, y Yaloch del 2000. Además, las concesiones administran el monitoreo del bosque a través de parcelas permanentes de muestreo, las cuales fueron utilizadas dentro del cálculo de carbono. Por parte del CONAP central se realizaron mediciones en el bosque del área protegida Reserva protectora de Manantiales, cerro San Gil, Izabal en el año 2014.

A través de la Asociación de Ingenieros Forestales ASINFOR se recopilaron bases de inventarios forestales provenientes de bosques naturales en su mayoría del nor occidente del país, esto se hizo con la información proporcionada de los socios que se encuentran laborando a nivel del nacional como regentes forestales. (ver anexo

Se recopilaron más de 3 mil unidades de muestreo provenientes de bosques naturales, con más de 203 mil árboles inventariados a nivel nacional, con su respectivo diámetro a la altura del pecho (DAP), éstas parcelas fueron sistematizadas de tal forma de obtener una depuración de la información incoherente, utilizando hojas de cálculo para la verificación de los procesos para llegar a obtener el dato de toneladas de carbono por hectárea.

[3] Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

4 Sistematización de los datos

Los datos de árboles y de parcelas fueron ordenados de forma sistemática, donde se aplicaron condicionantes de tal forma existan los datos originales y así poder realizar la depuración de datos incoherentes, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes condicionantes:

a. Se depuraron árboles con DAP <10 cm.
b. DAP incoherentes (textos) que no pueden ser procesados como valores numéricos.
c. Las parcelas depuradas fueron las que tenían coordenadas incoherentes.

Los principales registros obtenidos por árbol fueron: a) La identificación de la parcela que pertenecían (código de la parcela), b) número de árbol, c) especie, d) diámetro (DAP), e) altura (opcional) y f) área de muestreo.

En el siguiente cuadro se detallan el número de unidades de muestreo de acuerdo a la fuente y tamaño de las unidades de muestreo:

Cuadro 1. Unidades de muestreo de acuerdo al tamaño y fuente de información

Fuente	0.03	0.04	0.05	0.1	0.12	0.13	0.25	1	2	Total
ASINFOR	11	6	258	67	12	3				**357**
C_UVG_AGROCYT05_06	298									**298**
C_UVG_CARE 2007	363									**363**
C_UVG_CNCG_UVG				102		25				**127**
C_UVG_FODECYT 08-2008				161						**161**
C_UVG_IFRI	42									**42**
C_UVG_TNC_2010				30						**30**
C_UVG_TRIFINIO				33						**33**
CONAP_SAN_GIL			20							**20**
Concesiones								587		**587**
FDN-LACANDON				73						**73**
IFN_INAB									24	**24**
INAB_PPM_CONIFERAS				73						**73**
INAB_PPM_MANGLE	10		14							**24**
PPM_LATIFOLIADO							95			**95**
Total	**724**	**6**	**292**	**539**	**12**	**28**	**95**	**587**	**24**	**2307**

Se utilizaron 2,307 unidades de muestreo totalmente depuradas para el análisis del cálculo de carbono por hectárea, de la biomasa aérea y subterránea. Para obtener este dato final, se realizaron los siguientes procesos:

4.1 Depuración de árboles

Para la depuración de los árboles con DAP menores a 10 centímetros, se identificaron de acuerdo a la condicionante “SI”, para poder localizar los árboles a depurar, y además datos incoherentes o datos que se tenían como textos. En el siguiente cuadro se detalla el procedimiento:

Cuadro 2. Procedimiento para depuración de árboles con DAP <10 cm

DAP (CM)	TEST_DAP≥10CM
9.86	=SI(DAP>=10,"DEJAR","DEPURAR")
0	DEPURAR
9.54	DEPURAR
14	DEJAR
7.5	DEPURAR
2G	DEPURAR

Como anteriormente se describe la depuración de los datos por árbol está identificado por su código de parcela, esto para poder obtener una tabla dinámica de los datos depurados y su respectivo código de parcela, tal como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 3. Tabla dinámica del resumen de las parcelas

TEST_GENERAL	DEJAR

Etiquetas de fila	AREA_PARCELA_HA	Suma de AB_ha	Suma de B_kg_UVG	Suma de BKg/ha_UVG	Suma de tC_UVG
C_UVG_AGROCYT05_06ASTILLERO1	0.031	39.87	9,132.36	290,691.50	4.57
C_UVG_AGROCYT05_06ASTILLERO2	0.031	79.87	20,085.17	639,329.47	10.04
C_UVG_AGROCYT05_06ASTILLERO3	0.031	30.06	7,091.43	225,726.57	3.55
C_UVG_AGROCYT05_06ASTILLERO4	0.031	40.44	9,035.39	287,604.71	4.52
C_UVG_AGROCYT05_06CHEMEALON1	0.031	53.72	13,527.63	430,596.87	6.76

4.2 Depuración de parcelas

Para el proceso de depuración de las parcelas, se plotearon las coordenadas obtenidas en cada una de las bases de datos proporcionadas, identificando las coordenadas incoherentes y/o las que existían fuera del área territorial de Guatemala.

Para cada una de las fuentes obtenidas se realizaron procesos diferentes, para la mayoría de las parcelas se realizó el proceso anteriormente descrito (ver figura 2) excepto la base de inventarios, realizando los siguientes pasos:

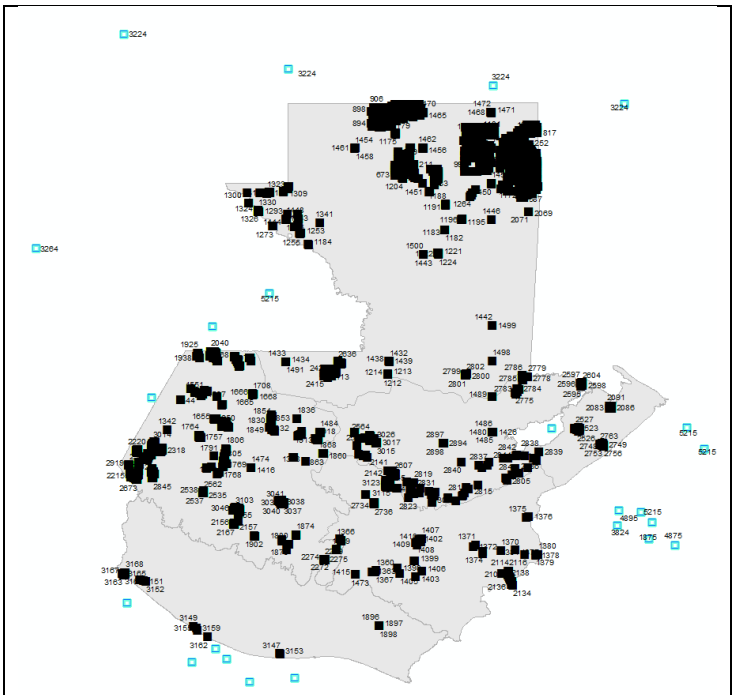


Figura 2. Identificación de parcelas a depurar

a) **Ubicación de las parcelas**: Para la elaboración del inventario forestal, se realizó la capa vectorial de polígonos de las parcelas que tienen un diseño sistemático en su distribución, haciendo un total de 114 unidades de muestro (4 parcelas/UM), sumando un total de 456.

b) **Área de cobertura boscosa por parcela**: este proceso se realizó con el objetivo de identificar el porcentaje de área de cobertura boscosa del año 2001 y 2006 que se encuentra dentro del rango que se realizó el inventario forestal nacional.

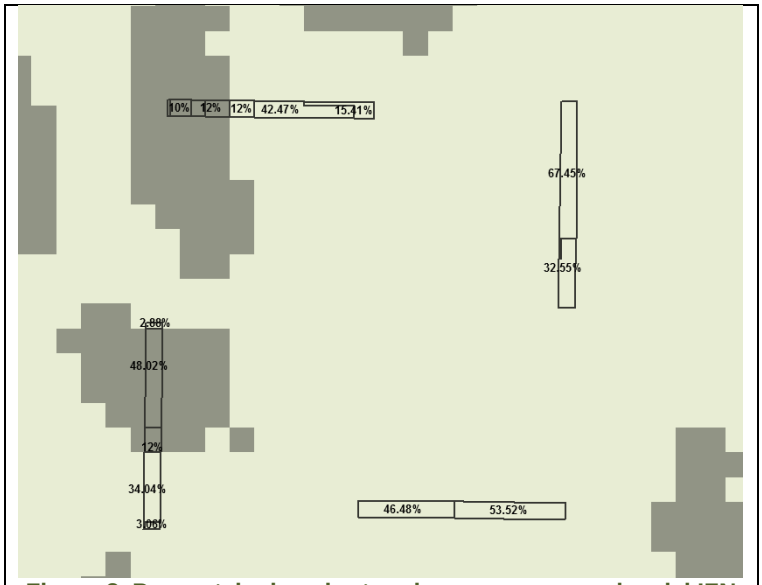


Figura 3. Porcentaje de cobertura boscosa en parcelas del IFN

c) **Depuración de parcelas:** los criterios para la depuración de las parcelas, fue que dónde existía el 99% de bosque, las parcelas se utilizarían para el cálculo de carbono, ya que la inconsistencia de la ubicación tanto en las parcelas como el mapa de cobertura puede ser de ambos, y la decisión rigurosa fue tomar únicamente las que se encuentran dentro de bosque al 100%. En la siguiente imagen puede observarse las condicionantes descritas anteriormente.

G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
CodP	PorBos01	PorBos06	PorBos10	X_GTM	Y_GTM	ZREF3	Region_sub	TEST_ECUACION	TEST_BOSQU
681	0	0	0	392986.352	1714592.07	RR2	Occidente	UVG_B_Kg	DEPURA
642	100	100	100	500393.831	1714613.43	RR4	Sarstún Motagua	UVG_B =+SI(Y(H246>99,I246>99),	
652	100	100	100	473565.264	1714619.72	RR2	Occidente	UVG_B_Kg	DEJAF
632	0	0	0	527238.777	1714621.83	RR4	Sarstún Motagua	UVG_B_Kg	DEPURA
673	0	0	0	420284.662	1714623.6	RR2	Occidente	UVG_B_Kg	DEPURA
613	0	39.884343	39.88434	581190.473	1714628.97	RR4	Sarstún Motagua	UVG_B_Kg	DEPURA
691	38.955386	8.934638	71.96763	366162.036	1714629.92	RR2	Occidente	UVG_B_Kg	DEPURA
662	0	0	0	446749.333	1714661.75	RR2	Occidente	UVG_B_Kg	DEPURA
622	44.23807	20.799444	0	554016.111	1714667.51	RR4	Sarstún Motagua	UVG_B_Kg	DEPURA
704	0	0	0	339700.269	1714681.49	RR2	Occidente	UVG_B_Kg	DEPURA
584	48.087963	12.021992	0	661559.918	1714682.85	RR4	Sarstún Motagua	UVG_B_Kg	DEPURA
603	100	100	100	608018.451	1714736.5	RR4	Sarstún Motagua	UVG_B_Kg	DEJAF
672	9.242806	0	0	419936.13	1714746.65	RR2	Occidente	UVG_B_Kg	DEPURA
612	70.971923	65.414009	67.41337	580845.619	1714756.25	RR4	Sarstún Motagua	UVG_B_Kg	DEPURA

Figura 4. Depuración de parcelas del IFN <99% de cobertura de bosque 2001 y 2006

Las parcelas que cumplían con esta condicionante fueron 86, 28 de 0.5 hectáreas y 58 de 0.06 ha.

4.3 Ecuaciones alométricas para bosques latifoliados y coníferas

Para los bosques de Petén (tierras bajas del norte) se utilizó la ecuación del Sr. William Arreaga (2002), ecuación #21 de la Tesis del CATIE para calcular la biomasa en kg (CATIE, 2002).

Para el resto del país, se utilizó las ecuaciones alométricas de la Universidad del Valle de Guatemala, para bosques de coníferas y para bosques latifoliados.

Las ecuaciones son las siguientes:

Cuadro 4. Ecuaciones alométricas utilizadas para bosques latifoliados y coníferas

Ecuación para el cálculo de biomasa	Biomasa en Kg =	Máximo DAP en cm.
Arreaga (2002)	10^(-4.09992+(2.57782*LOG10(DAP)))*1000	130
UVG (2015) Coníferas	0.15991*DAP^2.32764	82
UVG (2015) Latifoliado	0.13657*DAP^2.38351	79.9

El DAP se utilizó en centímetros, solo se corroboró para que todos los diámetros estuvieran en éstas unidades.

4.4 Ecuaciones alométricas para bosque de mangle

Para el bosque de mangle, en la costa sur, se utilizaron 24 parcelas de mediciones permanentes del ICC[4] y del INAB para realizar el cálculo de la biomasa en estas especies, se utilizaron las siguientes ecuaciones para cada especie:

Cuadro 5. Ecuaciones alométricas para mangle

Especie	Ecuación	Fuente	r2	N	Dmax
Rhizophora mangle L.	0.178*DAP^2.47	Imbert and Rollet (1989)a	0.98	17	Desconocido
Laguncularia racemosa (L.) Gaertn.f.	0.1023*DAP^2.50	Fromard et al. (1998)	0.97	70	10
Avicennia germinans (L.)L.	0.14*DAP^2.4	Fromard et al. (1998)	0.97	25-45	42.4
Conocarpus erectus L.	0.1023*DAP^2.50	Fromard et al. (1998)			

Las especies de *Laguncularia racemosa y Conocarpus erectus L*. de acuerdo a la experiencia que se tienen en campo de éstas especies, existe gran similitud en cuanto a la fisionomía que presentan, por lo que se utilizó la misma ecuación para el cálculo de biomasa.

Y para obtener la biomasa subterránea se utilizó la ecuación general reportada por

Komiyama *et al.* (2008) la cual es la siguiente:

$$B_{AS} = 0{,}199 * r^{0.899} * (DAP)^{2.22}$$

Dónde:

BAS= Biomasa subterránea de árboles (kg),
r= densidad de la madera (g/cm3) y
DAP= diámetro del tronco a la altura del pecho (cm)

La ecuación anterior requiere las densidades de cada una de las especies, éstas se obtuvieron del estudio tecnológico de la Madera en tres especies de mangle, realizados en Nicaragua, las cuales son las siguientes:

Densidad básica	gr/cm3
Rhizophora harrisonii	0.86
Laguncularia racemosa	0.762
Avicennia germinans	0.759

Fuente: (CATIE, 1994)

[4] Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

Teniendo como resultado una media de 111.08 toneladas de carbono por hectárea en bosques de mangle ubicados en la costa sur de Guatemala.

Y la proporción de carbono en cuanto a la biomasa subterránea es menos del 40% del total de la biomasa aérea calculada, siendo la especie de *Rhizophora mangle* la que tiene menor cantidad de carbono en cuanto a la biomasa subterránea, tal como se visualiza en la siguiente figura:

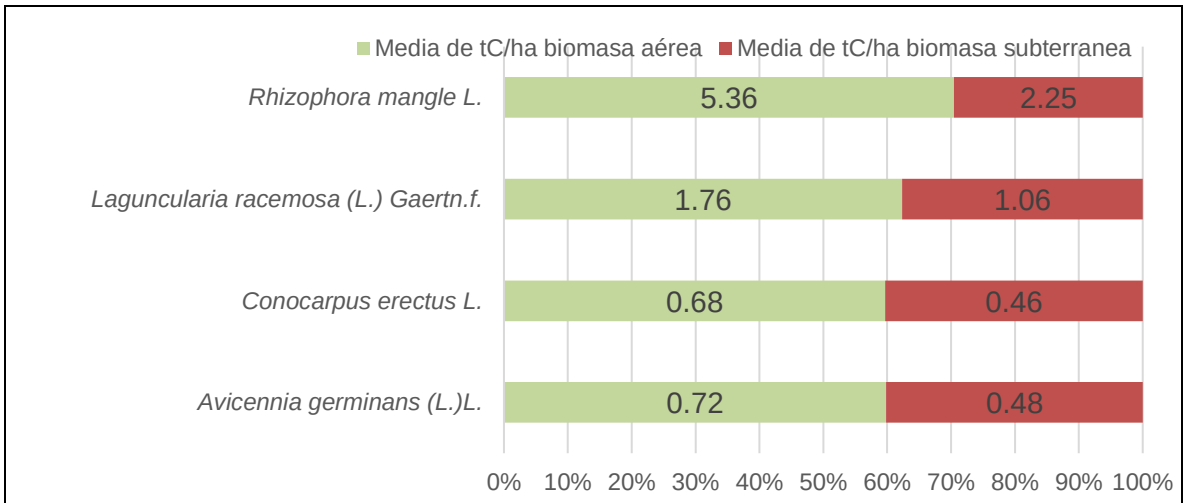


Figura 5. Proporción en % de carbono de la biomasa aérea y subterránea por especie de mangle

En conclusión, las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la biomasa para tierras bajas del norte, se utilizó la de Arreaga (2002) y para el resto del país, la de la UVG (2015), en particular para el bosque de mangle se utilizaron las ecuaciones de Imbert and Rollet (1989)a, Fromard et al. (1998) y Komiyama *et al.*(2008). En la siguiente imagen puede observarse la aplicación de las ecuaciones en cuanto a su ubicación.

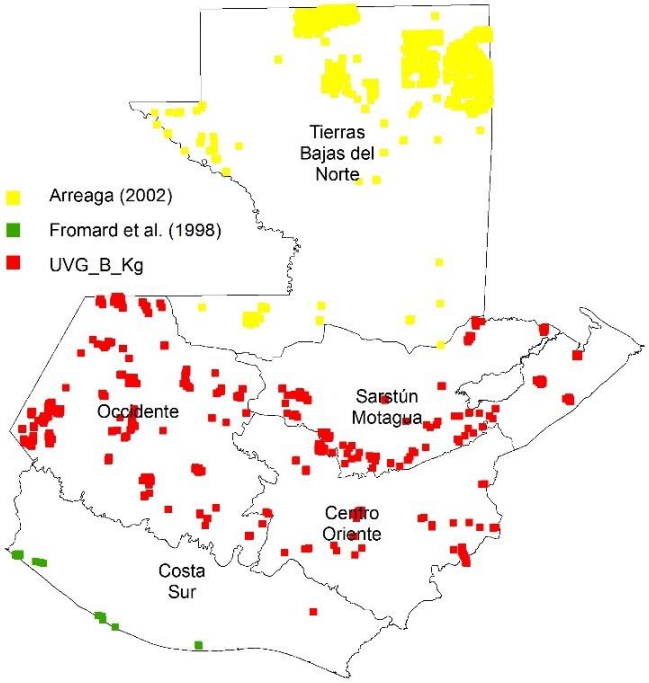


Figura 6. Aplicación de ecuaciones alométricas para el cálculo de biomasa aérea y subterránea

4.5 Cálculo de carbono por hectárea con la biomasa aérea

Para obtener los cálculos de toneladas de carbono, se aplicó la ecuación alométrica correspondiente por cada árbol, dividiendo el resultado que está en kilogramos a

toneladas (por 1000 kg= t), posterior a esto, se multiplicó el resultado por el factor de expansión (0.5) para la fracción de carbono de la biomasa, calculado por Arreaga (seccion 5.3.2 del estudio) por árbol, y se estandarizó el resultado por hectárea, dividiendo el resultado por el tamaño de la parcela, tal como se visualiza en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. procedimiento para obtener el cálculo de tC/ha

AREA_PAR _HA	B_kg_E	B_Kg/haE	tCE	tC/haE	ECUACION
0.10	116.9277925	1169.2779	0.0585	0.5846	UVG_B_Kg
0.10	276.3578568	2763.5786	0.1382	=+BB3/1000*0.5	UVG_B_Kg
0.10	24.35225615	243.5226	0.0122	0.1218	UVG_B_Kg
0.10	9.774320967	97.7432	0.0049	0.0489	UVG_B_Kg
0.10	24.35225615	243.5226	0.0122	0.1218	UVG_B_Kg

El cálculo anterior se realizó por cada árbol, y el resultado de la suma de cada uno de los árboles por parcela, es una cantidad de carbono por hectárea, excluyendo los árboles “DEPURADOS”. Para obtener el cálculo final, se realizó una tabla dinámica obteniendo el resultado final, tal como se visualiza en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Tabla dinámica de los cálculos de tC/ha por parcela

TEST_GENERAL	DEJAR					
1	2	3	8	9	10	11
Parcela	Suma de AB	Suma de AB_ha	Suma de B_kg_E	Suma de B_Kg/haE	Suma de tCE	Suma de tC/haE
1	1.7823	17.8230	10477.8560	104778.5599	5.2389	52.3893
2	1.2240	12.2404	5979.3042	59793.0425	2.9897	29.8965
3	1.3842	13.8419	7009.6648	70096.6481	3.5048	35.0483
4	1.6688	16.6879	8310.7026	83107.0262	4.1554	41.5535
5	1.8964	18.9637	12005.6266	120056.2664	6.0028	60.0281
6	1.5497	15.4972	9916.5310	99165.3096	4.9583	49.5827
7	3.2825	32.8245	20252.2619	202522.6194	10.1261	101.2613
8	2.7434	27.4343	19801.8205	198018.2055	9.9009	99.0091
9	1.1121	11.1209	8160.6721	81606.7207	4.0803	40.8034
10	0.4111	4.1115	2130.7484	21307.4839	1.0654	10.6537
11	10.0642	100.6424	77192.0732	771920.7320	38.5960	385.9604
12	5.8646	58.6465	44355.3100	443553.0996	22.1777	221.7765
13	4.3920	43.9203	32853.9101	328539.1008	16.4270	164.2696
14	0.3446	3.4455	1557.2182	15572.1817	0.7786	7.7861
16	1.8644	18.6438	12077.5792	120775.7922	6.0388	60.3879
17	0.1520	1.5195	679.9840	6799.8397	0.3400	3.3999
19	2.4063	24.0629	15095.6747	150956.7475	7.5478	75.4784

Como se visualiza en el cuadro 7, únicamente se muestran las sumatorias de los árboles con su condicionante “DEJAR”, en el párrafo anterior se describió la depuración de los árboles.

4.6 Cálculo de carbono por hectárea de biomasa aérea y subterránea

Para obtener la biomasa subterránea, se utilizó la ecuación de Mokany et al (2006) que fue la ecuación más adecuada en proporción de la biomasa aérea, siendo la siguiente:

$$\text{Biomasa subterránea}=0.489*(x^{0.89})$$

Fuente: (Mokany, Raison, & Prokushkin, 2006)

Donde **x** es la porción de biomasa aérea

Utilizando el resultado anterior de toneladas de carbono por hectárea de la biomasa aérea, se obtuvo de biomasa subterránea, la suma de estos es el dato de toneladas de carbono para su respectivo cálculo. En el cuadro 8 se visualiza el procedimiento:

Cuadro 8. Cálculo final de tC/ha con la biomasa aérea y subterránea.

tC/haE	ECUACION	FECHA	Tc_HA_RAIZ	Tc_HA_RAIZ_E
26.13448143	ARREAGA_B_Kg	1999	35.05991288	=(0.489*(Q2^0.89))+Q2
20.77987302	ARREAGA_B_Kg	1999	28.05785591	28.05785591
19.17333156	ARREAGA_B_Kg	1999	25.94833792	25.94833792
22.49222856	ARREAGA_B_Kg	1999	30.30163045	30.30163045
25.07134665	ARREAGA_B_Kg	1999	33.6729018	33.6729018
24.58365991	ARREAGA_B_Kg	1999	33.03614238	33.03614238

La letra “E” como se describe anteriormente significa que los cálculos de carbono son con las ecuaciones acotadas o estancadas de acuerdo a su DAP máximos utilizados.

5 Estratificación por contenido de carbono

Para realizar la estratificación de carbono, se consolidaron todas las parcelas con su respectiva coordenada y sus cálculos de biomasa y toneladas de carbono por hectárea por cada una de las fuentes de información, teniendo una base con los siguientes campos:

Cuadro 9. Descripción de los registros del consolidado final

Columna	Descripción de la columna
ID_CONSOL	Identificación único de las parcelas del consolidado
ORIGEN	Origen de la fuente de información
Parcela	Nombre de la parcela "código"
X_GTM	Coordenadas X GTM
Y_GTM	Coordenadas Y GTM
TEST_GEOG	Test final geográfico de parcelas "DEJAR"
AREA_PAR_HA	Área de las parcelas en hectáreas
AB	Suma de AB por parcela
AB_ha	Suma de AB por hectárea
B_kg	Suma de Biomasa calculada de acuerdo a la ecuación (UVG, Arreaga, Mangle) por parcela sin acotar los DAP
BKg/ha	Suma de Biomasa calculada de acuerdo a la ecuación (UVG, Arreaga, Mangle) por hectárea sin acotar los DAP

tC	Suma de toneladas de carbono convertida (biomasa /1000 *0.5) por parcela sin acotar los DAP
tC/ha	Suma de toneladas de carbono convertida (biomasa /1000 *0.5) por hectárea sin acotar los DAP
B_kg_E	Suma de Biomasa calculada de acuerdo a la ecuación (UVG, Arreaga, Mangle) por parcela utilizando DAP Max de la ecuación
B_Kg/haE	Suma de Biomasa calculada de acuerdo a la ecuación (UVG, ARREAGA) por hectárea utilizando DAP Max de la ecuación
tCE	Suma de toneladas de carbono convertida (biomasa/1000 *0.5) por parcela utilizando DAP Max de la ecuación
tC/haE	Suma de toneladas de carbono convertida (biomasa /1000 *0.5) por hectárea utilizando DAP Max de la ecuación
ECUACION	Indicativo de la ecuación utilizada (Arreaga, UVG, Mangle) de acuerdo a la ubicación de las parcelas en las regiones REDD+ para Guatemala
FECHA	Año de medición de la información
Tc_HA_RAIZ	Cálculo de toneladas de Carbono por hectárea de ecuación sin acotar (aérea) + Subterránea =((0.489*(CarbonoAereo^0.89))
Tc_HA_RAIZ_E	Cálculo de toneladas de Carbono por hectárea con ecuación acotada estancada "E" (aérea) + Subterránea =((0.489*(CarbonoAereo^0.89))

Para poder tener un resumen de los cálculos de carbono, y poder visualizar la gran variabilidad de los datos, se obtuvieron los siguientes resultados estadísticos descriptivos:

Cuadro 10. Estadística descriptiva del consolidado general

Toneladas de Carbono por hectárea	
Media	149.53
Error típico	3.60
Mediana	104.21
Moda	35.23
Desviación estándar	173.14
Varianza de la muestra	29976.47
% de Error típico	2.4%
Coeficiente de asimetría	3.69
Rango	1817.33
Mínimo	0.23
Máximo	1817.56
Suma	344958.43
n	2307

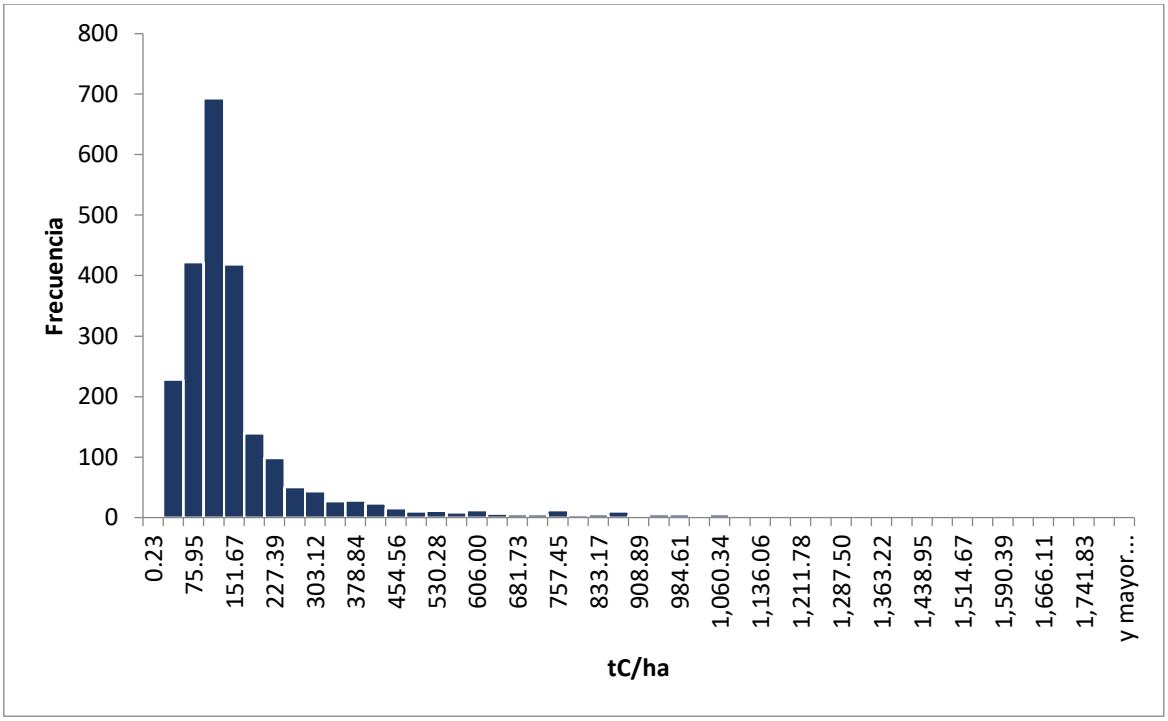


Figura 7. Histograma de la distribución de datos (tC/ha)

En la figura 7 se observa el histograma de la distribución de los datos de acuerdo a la frecuencia y al valor de carbono obtenido por parcela a partir del consolidado.

Para realizar la estratificación del mapa de carbono, se utilizó la capa de índices ombrotérmicos, la cual se construyó con datos obtenidos de la página digital de World Clim, utilizando la capa de las medias mensuales tanto de precipitación como de temperatura. El proceso de la construcción se detalla en el anexo 1.

5.1 Análisis de los índices ombrotérmicos

A partir del consolidado de las parcelas se intersectaron con la capa de índices ombrotérmicos generada para Guatemala, para saber en qué horizonte ómbrico pertenece cada una de las mismas.

Se realizó un análisis estadístico de los datos intersectados, dando los siguientes resultados:

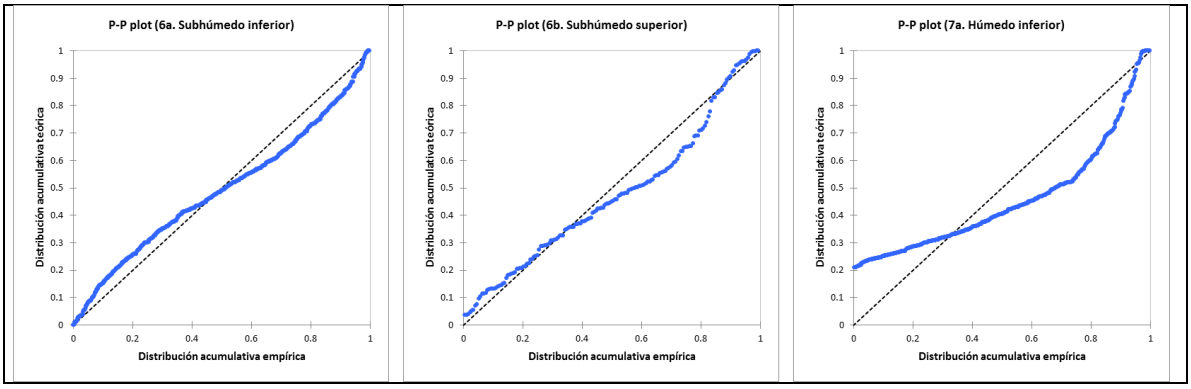
Cuadro 11. Estadística descriptiva por horizonte ómbrico

Estadístico	6a. Subhúmedo inferior	6b. Subhúmedo superior	7a. Húmedo inferior	7b. Húmedo superior	8a. Hiperhúmedo inferior	8b. Hiperhúmedo superior
No. de observaciones	628	172	509	570	384	43
Mínimo	2.63	0.76	0.23	1.27	1.17	24.62
Máximo	376.22	351.28	1,392.45	1,817.56	1,409.52	664.94
1° Cuartil	87.31	74.12	46.51	61.29	71.05	71.51
Mediana	102.63	104.98	90.25	105.73	158.51	91.44
3° Cuartil	117.14	136.53	142.62	174.94	330.58	141.35
Media	103.42	112.72	127.60	166.44	248.22	125.94
Varianza (n-1)	959.37	3,936.82	24,779.37	43,098.17	63,807.94	13,204.31
Desviación típica (n-1)	30.97	62.74	157.41	207.60	252.60	114.91
Límite inferior de la media (95%)	100.99	103.28	113.90	149.37	222.88	90.57
Límite superior de la media (95%)	105.85	122.16	141.31	183.52	273.57	161.30

En el horizonte ómbrico 5b. Seco superior intersecta únicamente una parcela, por lo que se excluyó de los análisis posteriores, ya que estadísticamente un solo dato no es correcto utilizarlo.

5.2 Pruebas de normalidad

Se realizaron pruebas de normalidad, para saber si utilizar pruebas paramétricas o no paramétricas, tal como se muestran en la figura 8 la distribución de carbono por cada horizonte ómbrico:



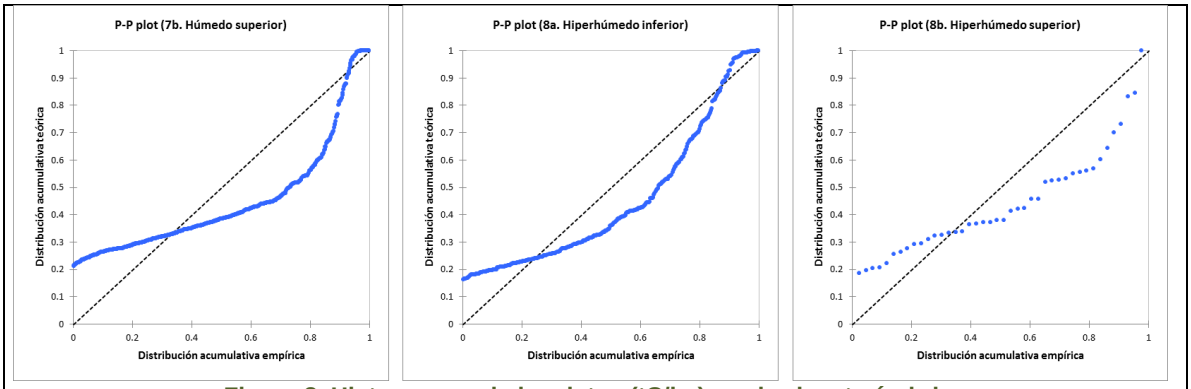


Figura 8. Histogramas de los datos (tC/ha) por horizonte ómbrico

En la figura 8, se puede visualizar que los datos de tC/ha por horizonte ómbrico, no presentan ninguna normalidad, por consiguientes se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, Jarque-Bera todas basadas en una distribución normal.

La interpretación de cada una de las pruebas es de acuerdo a la hipótesis nula y alternativa, la cual se describe de la siguiente forma:

Ho: La variable de la cual se extrajo la muestra sigue una distribución Normal.
Ha: La variable de la cual se extrajo la muestra no sigue una distribución Normal.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula Ho cuando es verdadera es inferior al 0.01%, tal como se observa en el siguiente análisis:

Cuadro 12. Pruebas de normalidad de los datos para cada horizonte ómbrico.

Variable\prueba	Shapiro-wilk	Anderson-darling	Lilliefors	Jarque-bera
6a. subhúmedo inferior	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
6b. subhúmedo superior	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
7a. húmedo inferior	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
7b. húmedo superior	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
8a. hiperhúmedo inferior	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
8b. hiperhúmedo superior	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

De acuerdo al cuadro 12 y la interpretación de las pruebas, ninguna presenta normalidad de los datos ya que provienen de diferentes fuentes de información y varias metodologías, por lo tanto, la prueba que más se adapta es la de Kruskal Wallis, la cual se aplicó realizó los siguientes procesos:

5.3 Comparación de k muestras (Kruskal-Wallis)

Para realizar la estratificación de acuerdo a los horizontes ómbricos, se compararon de acuerdo a la variabilidad de los datos, si existe la misma cantidad de carbono entre cada horizonte ómbrico y poder realizar la estratificación. Se utilizó ésta prueba porque esta se aplica cuando las muestras son independientes. Los resultados son los siguientes:

Cuadro 13. Prueba de Kruskal-Wallis

K (Valor observado)	91.549
K (Valor crítico)	11.070
GL	5
valor-p (bilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Se ha utilizado una aproximación para calcular el valor-p.

Interpretación de la prueba:

Ho: La cantidad de tC/ha entre los horizontes ómbricos son iguales o similares.

Ha: La cantidad de tC/ha entre los horizontes ómbricos no son iguales o similares.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula Ho cuando es verdadera es inferior al 0.01%.

Se han detectado muestras similares o existen empates en los datos tal como se visualiza en el cuadro 14.

Cuadro 14. Comparación de hipótesis por índice ómbrico

	6a. Subhúmedo inferior	6b. Subhúmedo superior	7a. Húmedo inferior	7b. Húmedo superior	8a. Hiperhúmedo inferior	8b. Hiperhúmedo superior
6a. Subhúmedo inferior	1	0.773	0.006	0.149	**< 0.0001**	0.940
6b. Subhúmedo superior	0.773	1	0.033	0.500	**< 0.0001**	0.829
7a. Húmedo inferior	0.006	0.033	1	**< 0.0001**	**< 0.0001**	0.339
7b. Húmedo superior	0.149	0.500	**< 0.0001**	1	**< 0.0001**	0.546
8a. Hiperhúmedo inferior	**< 0.0001**	**< 0.0001**	**< 0.0001**	**< 0.0001**	1	**0.003**
8b. Hiperhúmedo superior	0.940	0.829	0.339	0.546	**0.003**	1

Nivel de significación corregido de Bonferroni: 0.0033

De acuerdo a los resultados anteriores, se identificaron estadísticamente 3 grupos (“A”, “B”, y “C”) tal como se muestra en el cuadro 15:

Cuadro 15. Grupos estadísticos por índice ómbrico

Muestra	Frecuencia	Suma de rangos	Media de rangos	Grupos		
7a. Húmedo inferior	509	510086.500	1002.135	A		
8b. Hiperhúmedo superior	43	47436.500	1103.174	A	B	
6a. Subhúmedo inferior	628	697785.000	1111.123	A	B	
6b. Subhúmedo superior	172	193961.000	1127.680	A	B	
7b. Húmedo superior	570	665047.000	1166.749		B	
8a. Hiperhúmedo inferior	384	545655.000	1420.977			C

Como se visualiza, los resultados anteriores demuestran la estratificación de 3 estratos, por lo que se decidió separar el estrato 7b el cual pertenece al estrato B y dejarlo como uno más, ya que por el trabajo en paralelo llevado en el proyecto GUATECARBON, ésta área se encuentra estratificada de acuerdo a los contenidos de carbono, concluyendo en el siguiente cuadro:

Cuadro 16. Estratificación estadística final

Muestra	Grupos			Grupo final
6a. Subhúmedo inferior	A	B		I
6b. Subhúmedo superior	A	B		I
7a. Húmedo inferior	A			II
7b. Húmedo superior		B		III
8a. Hiperhúmedo inferior			C	IV
8b. Hiperhúmedo superior	A	B		I

A nivel nacional se concluye que existen cuatro estratos de acuerdo a la cantidad de carbono, y de acuerdo a las zonas de horizontes ómbricos, tanto de precipitación como de temperatura encontradas a nivel de país.

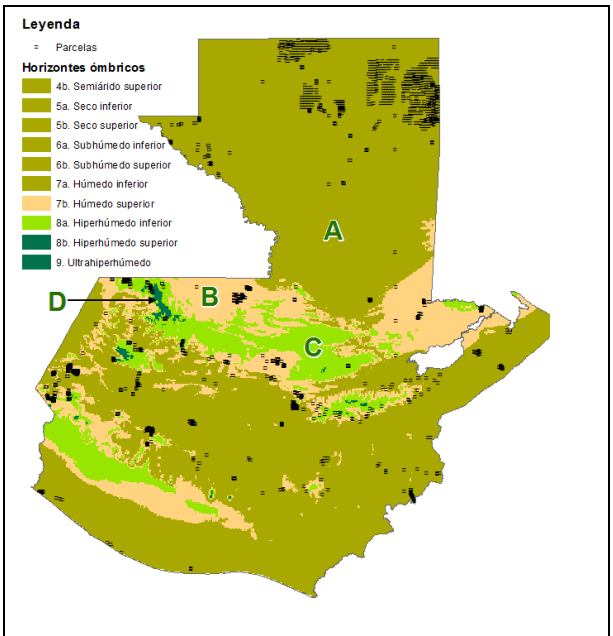


Figura 9. Grupos estadísticos

5.4 Estratificación geográfica

Se identificaron 10 zonas con horizontes ómbricos a nivel nacional, y para saber que parcelas pertenecen a cada horizonte, se intersectaron geográficamente, para estimar el carbono que existe de acuerdo a los grupos estadísticos identificados anteriormente.

Existen áreas donde no hay información de parcelas, tal como se visualiza en la figura 10; el horizonte 9 es un área relativamente muy pequeña y los horizontes 4b y 5a no existen parcelas con información, lo cual se anidaron a las áreas más próximas.

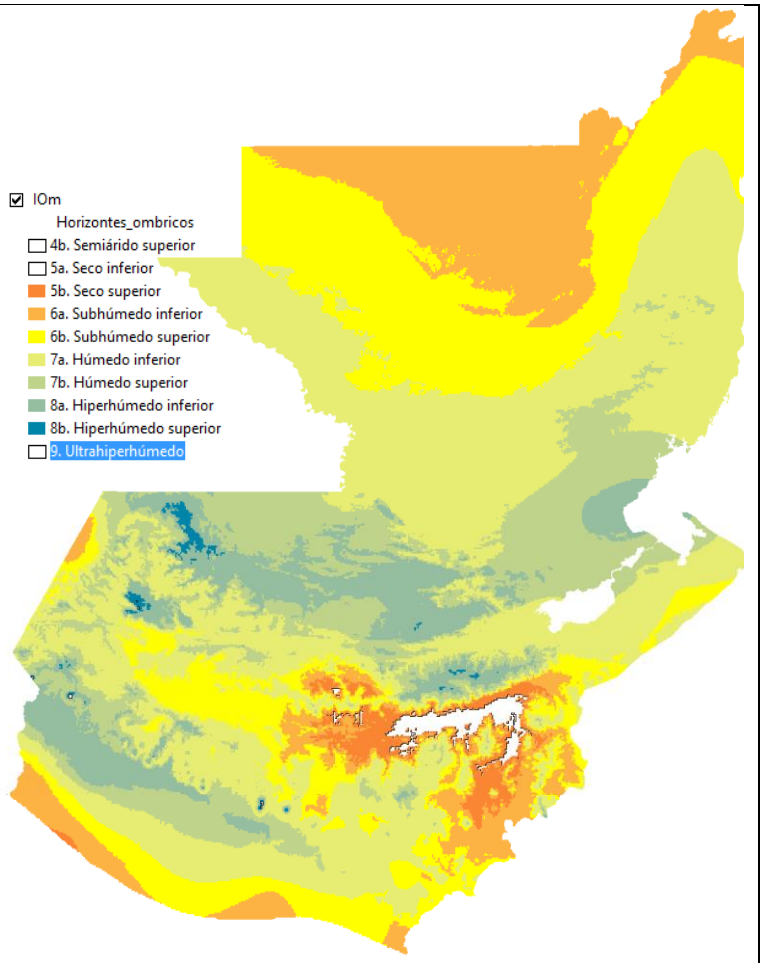


Figura 10. Horizontes ómbricos intersectados

En el cuadro 17, se detalla la estratificación final, con el objeto de calcular la media ponderada y la estimación por el método de Monte Carlo y sus métricas de acuerdo al grupo estratificado.

Cuadro 17. Estratificación final por índice ómbrico

Estrato	Tipo ómbrico	Horizonte ómbrico
I	4. Semiárido	4b. Semiárido superior
	5. Seco	5a. Seco inferior
	5. Seco	5b. Seco superior
	6. Subhúmedo	6a. Subhúmedo inferior
	6. Subhúmedo	6b. Subhúmedo superior
II	7. Húmedo	7a. Húmedo inferior
III	7. Húmedo	7b. Húmedo superior
IV	8. Hiperhúmedo	8a. Hiperhúmedo inferior
I	8. Hiperhúmedo	8b. Hiperhúmedo superior
	9. Ultrahiperhúmedo	9. Ultrahiperhúmedo

Para poder realizar los análisis, se clasificaron 4 estratos, indicados por las letras "I", "II", "III" y "IV", tal como se observa en el cuadro anterior, realizando su estadística por estrato, con el diagráma de cadjas (figura 11), se puede expresar la media, los máximos, los mínimos y la distribución de acuerdo al primer y tercer cuartil de las toneladas de carbono por hectárea por cada grupo o estrato clasificado, esto se observa en la siguiente figura:

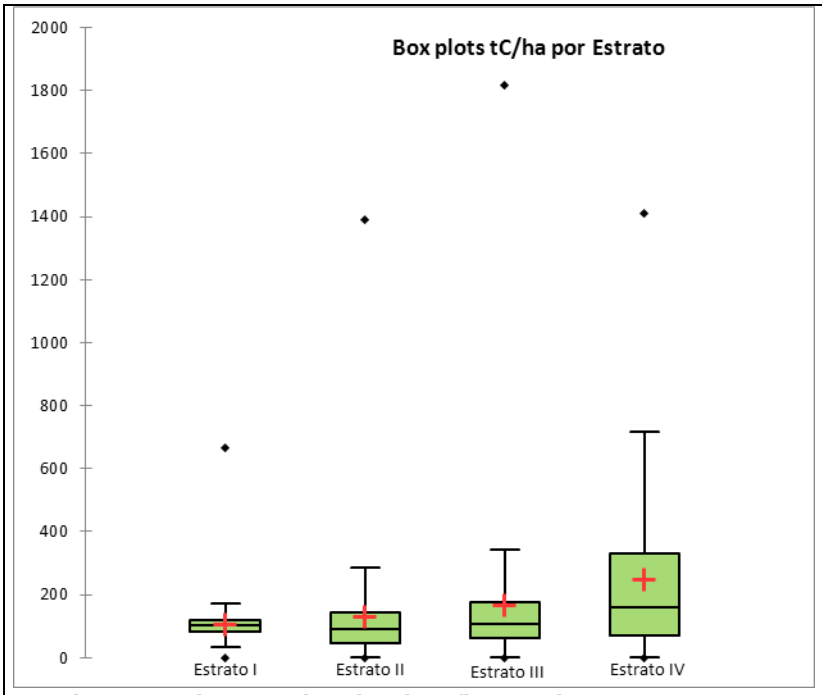


Figura 11. Diagrama de cajas de tC/ha por el estrato I, II, III y IV

Como se observa en las figuras anteriores, el estrato “A“es el que presenta menor variabilidad en las tC/ha, en cuanto a los estratos “B”, “C” y “D”. Los cálculos estadísticos se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 18. Estadística descriptiva por estrato.

Estadístico	I tC/ha	II tC/ha	III tC/ha	IV tC/ha
No. de observaciones	843	509	570	384
Mínimo	0.755	0.227	1.265	1.169
Máximo	664.940	1392.452	1817.557	1409.525
1° Cuartil	84.732	46.510	61.287	71.051
Mediana	102.872	90.254	105.727	158.515
3° Cuartil	120.188	142.623	174.937	330.580
Media	106.466	127.603	166.444	248.224
Varianza (n-1)	2206.839	24779.365	43098.169	63807.943
Desviación típica (n-1)	46.977	157.415	207.601	252.602
Límite inferior de la media (95%)	103.290	113.895	149.365	222.879
Límite superior de la media (95%)	109.641	141.311	183.524	273.569

5.5 Estimación de la media ponderada de acuerdo a la varianza

Para poder tener datos más consistentes en la estimación de toneladas de carbono por hectárea y por estrato, se trabajó de acuerdo a la propuesta de Thomas y Rennie, 1987, quienes definen que la varianza, es el mejor estimador de la media para los cuatro estratos. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\bar{x}j = \sum\left(\frac{Wi.\bar{\mathbf{x}}i}{W}\right)$$

Donde:

Wi=1/*Si*

Si= Varianza de la media

W= Sumatoria *Si* y

$\bar{\mathbf{x}}i$= Media aritmética por unidad de muestreo

Fuente: (Thomas, C. y Rennie J. , 1987)

La gran variabilidad de los datos de acuerdo al tamaño de las parcelas, es el objetivo de aplicar la ecuación anterior, en el gráfico siguiente, se observa el tamaño de las parcelas en hectáreas y la variabilidad de la cantidad de toneladas de carbono por hectárea:

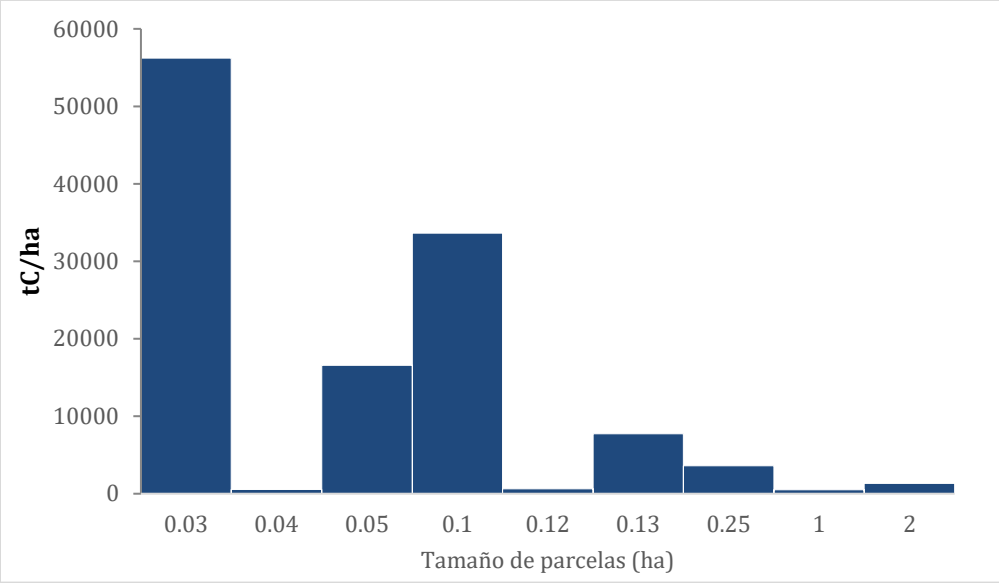


Figura 12. Análisis de la varianza de las tC/ha por tamaño de las parcelas.

Las parcelas de menor tamaño son las que poseen mayor variabilidad en la cantidad de carbono, todo lo contrario, en las parcelas de mayor tamaño, menor es la variabilidad. Para obtener la media ponderada de acuerdo a la varianza, se sistematizaron las parcelas de acuerdo al tamaño de la misma, posicionando cada una en el estrato correspondiente, para poder obtener un solo resultado por estrato, tal como se visualiza en el siguiente cuadro:

Cuadro 19. Media pondera de acuerdo a la varianza por estrato

Estratos	Área parcelas (ha)	$\bar{x}$ tC/ha	Nro. de parcelas	S^2	D.E.	∑ Promedio X inv S^2	Promedio Ponderando (tC/ha)
I		**106.47**	**843**	**2,206.84**	**46.98**	**135.02**	**102.62**
I	0.03	165.32	43	17,602.40	132.67		
I	0.04	220.87	3	926.58	30.44		
I	0.05	85.76	56	2,041.97	45.19		
I	0.1	109.68	66	2,599.82	50.99		
I	0.13	346.73	3	921.24	30.35		
I	0.25	119.23	76	937.19	30.61		
I	1	101.43	587	506.76	22.51		
I	2	33.24	9	621.14	24.92		
II		**127.60**	**509**	**24,779.37**	**157.41**	**4.98**	**112.10**
II	0.03	131.78	258	31,155.74	176.51		
II	0.05	180.01	52	60,049.64	245.05		
II	0.1	108.74	184	5,518.40	74.29		
II	0.25	139.81	10	26,669.93	163.31		
II	2	36.37	5	3,150.25	56.13		
III		**166.44**	**570**	**43,098.17**	**207.60**	**4.97**	**111.45**
III	0.03	215.80	197	73,018.09	270.22		
III	0.05	104.05	114	9,044.37	95.10		
III	0.1	166.99	221	36,286.37	190.49		
III	0.13	92.79	22	1,486.59	38.56		
III	0.25	130.75	9	2,991.54	54.69		
III	2	53.84	7	1,306.95	36.15		
IV		**248.22**	**384**	**63,807.94**	**252.60**	**9.28**	**149.45**
IV	0.03	294.83	226	63,524.32	252.04		
IV	0.04	199.86	3	156.91	12.53		
IV	0.05	82.40	70	4,052.98	63.66		
IV	0.1	300.41	67	105,123.51	324.23		
IV	0.12	137.63	12	647.51	25.45		
IV	0.13	129.17	3	2,551.80	50.52		
IV	2	50.58	3	1,684.77	41.05		

Tal como se observa en el cuadro 19, la varianza se multiplica por la media aritmética dividido dentro de la sumatoria de la varianza por estrato. Y la media ponderada es la sumatoria de la cantidad obtenida por cada uno de los estratos, que van desde los 102 hasta 149 toneladas de carbono por hectárea.

5.6 Cálculos de incertidumbres por estrato de acuerdo a la varianza

Para el cálculo de incertidumbres, se realizó con una distribución de T de Student al 95% de confiabilidad, con su respectiva desviación estándar y tamaño de la muestra, por estrato, dando los siguientes resultados:

Cuadro 20. Cálculo de incertidumbres por estrato

Estrato	Parcelas	Media ponderada (tC/ha)	tCO2/ha	S^2	D.E.	E.E.	% E.E	NC 95%	NC+	NC-
I	843	102.62	376.63	2,206.84	46.98	1.62	1.52%	3.18	105.80	99.45
II	509	112.10	411.42	24,779.37	157.41	6.98	5.47%	13.71	125.81	98.40
III	570	111.45	409.01	43,098.17	207.60	8.70	5.22%	17.08	128.53	94.37
IV	384	149.45	548.49	63,807.94	252.60	12.89	5.19%	25.35	174.80	124.11

El porcentaje de error de muestreo va desde 1.76% hasta un 5.04%, el Instituto Nacional de Bosques acepta los inventarios para fines de protección hasta un 15%, por lo tanto, el número de parcelas recopiladas, hace que el porcentaje de error sea menor del 15.

Con incertidumbres que van desde 0.8%, 3.3%, 4.2%, hasta 4.6% por estratos respectivamente.

5.7 Estimación de carbono con el método de monte Carlo

Para realizar la simulación de Tc/ha, se realizaron pruebas de bondad para cada uno de los datos por tamaño de parcelas y por estrato; de acuerdo al cuadro 19, separando las parcelas de acuerdo al tamaño de muestreo y para cada estrato, se identificó el tipo de distribución que poseen los datos, por ejemplo: para las parcelas del estrato I de tamaño 0.03, se realizaron las pruebas de bondad, la distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución es Gamma (2). Tal como se observa en el cuadro 21.

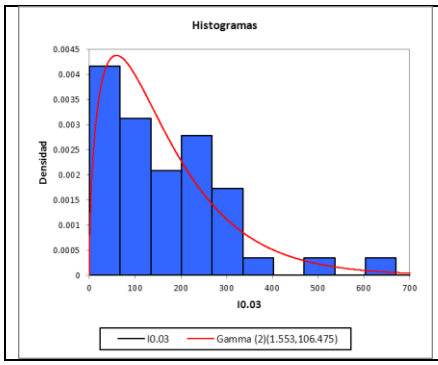
Cuadro 21. Distribución que más se ajusta a los datos de las parcelas de 0.03 ha

Distribución	valor-p
Beta4	0.428
Chi-cuadrado	< 0.0001
Erlang	0.003
Exponencial	0.176
Fisher-Tippett (1)	< 0.0001
Fisher-Tippett (2)	0.083
Gamma (1)	< 0.0001
Gamma (2)	**0.956**
GEV	0.322
Gumbel	< 0.0001
Log-normal	0.044
Logística	0.583
Normal	0.481
Normal (estándar)	< 0.0001
Student	< 0.0001
Weibull (1)	< 0.0001
Weibull (2)	0.600
Weibull (3)	0.713

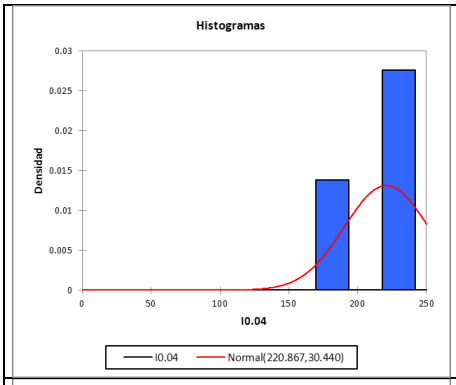
De acuerdo a los datos obtenidos, la distribución Gamma (2) presenta una probabilidad del 95.6%, por lo tanto, es la que más se ajusta a los datos.

Los parámetros de cada una de las distribuciones identificadas son los siguientes:

Cuadro 22. parámetros de la distribuvción Gamma (2) de las parcelas de 0.03 ha

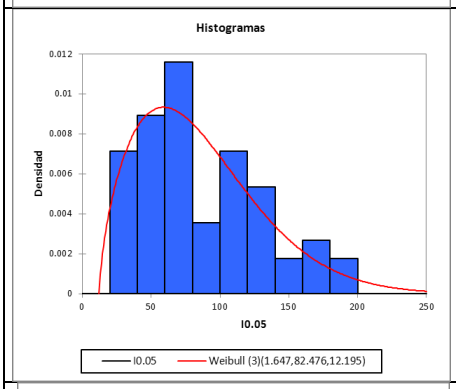


Parámetro	Valor	Error estándar
k	1.553	0.147
beta	106.475	13.750



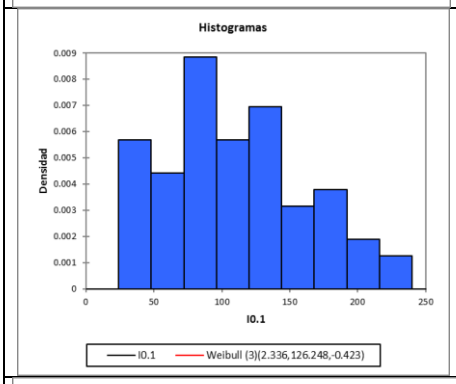
Distribución Normal de las parcelas de 0.04 ha. y sus parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor
μ	220.867
sigma	30.440



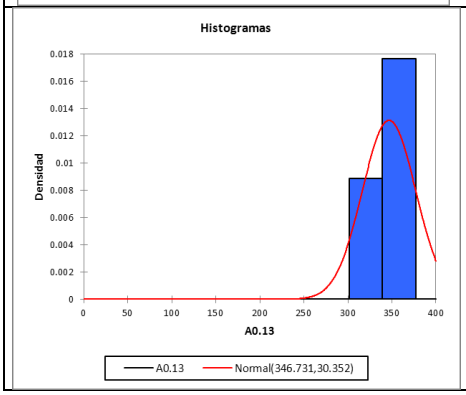
Distribución Weibull (3) de las parcelas de 0.05 ha. y sus parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Error estándar
beta	1.647	0.137
gamma	82.476	5.371
μ	12.195	3.646



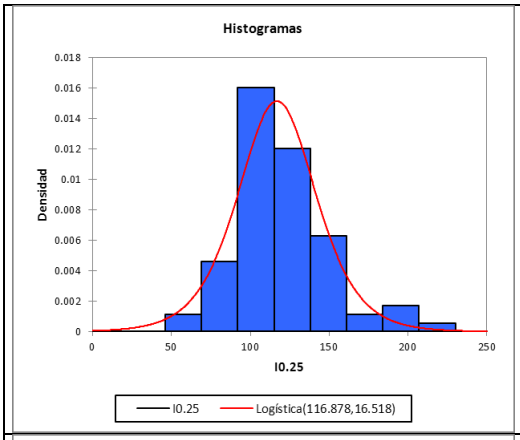
Distribución Weibull (3) de las parcelas de 0.1 ha. y sus parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Error estándar
beta	2.336	0.186
gamma	126.248	3.262
μ	-0.423	5.569



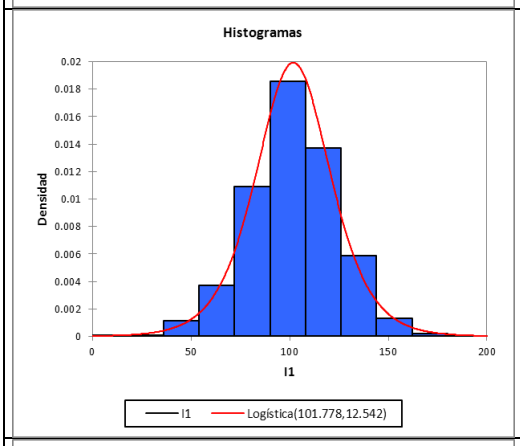
Distribución Normal de las parcelas de 0.13 ha. y sus parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	346.731	7.835
sigma	30.352	34.109



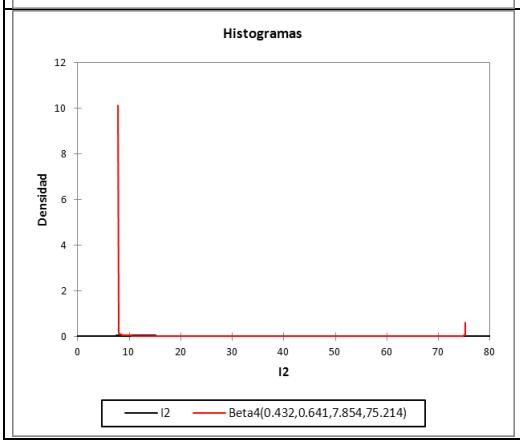
Distribución logística de las parcelas de 0.25 ha. y sus parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	116.878	3.271
s	16.518	1.594



Distribución logística de las parcelas de 1 ha. y sus parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Error estándar
μ	101.778	0.899
s	12.542	0.432



Distribución Beta4 de las parcelas de 2 ha. y sus parámetros son los siguientes:

Parámetro	Valor	Error estándar
alfa	0.432	0.175
beta	0.641	0.289
c	7.854	0.288
d	75.214	0.000

Se identificó cada tipo de distribución para poder simular los datos, por lo menos 10,000 veces. Esto se realizó para cada uno de los estratos y se realizó el siguiente modelo:

Nombre	Valor por defecto de la celda	Tipo de datos	Distribuciones	Parámetros
I0.03	165.356	Continuos	Gamma (2)	k = 1.553; beta = 106.475
I0.04	220.867	Continuos	Normal	μ = 220.867; sigma = 30.44
I0.05	13.831	Continuos	Weibull (3)	gamma = 82.476; beta = 1.647; μ = 12.195
I0.1	2.318	Continuos	Weibull (2)	gamma = 124.079; beta = 2.329
I0.13	346.731	Continuos	Normal	μ = 346.731; sigma = 30.352
I0.25	116.878	Continuos	Logística	μ = 116.878; s = 16.518
I1	101.778	Continuos	Logística	μ = 101.778; s = 12.542
I2	34.974	Continuos	Beta4	alfa = 0.432; beta = 0.641; c = 7.854; d = 75.214
II0.03	133.769	Continuos	Log-normal	μ = 4.329; sigma = 1.065
II0.05	180.693	Continuos	Log-normal	μ = 4.656; sigma = 1.04
II0.1	-0.001	Continuos	GEV	Gamma = -0.071beta = 53.543; μ = 73.854
II0.25	137.184	Continuos	Log-normal	μ = 4.566; sigma = 0.843
II2	36.376	Continuos	Gamma (2)	k = 0.42; beta = 86.609
III0.03	230.494	Continuos	Log-normal	μ = 4.787; sigma = 1.143
III0.05	18.171	Continuos	Weibull (3)	gamma = 85.775; beta = 1.08; μ = 17.098
III0.1	162.855	Continuos	Log-normal	μ = 4.735; sigma = 0.846
III0.13	-0.002	Continuos	GEV	Gamma = -0.05beta = 28.323; μ = 75.046
III0.25	-0.006	Continuos	GEV	Gamma = -0.164beta = 29.65; μ = 108.335
III2	53.841	Continuos	Normal	μ = 53.841; sigma = 36.152
IV0.03	294.747	Continuos	Gamma (2)	k = 1.368; beta = 215.458
IV0.04	20.408	Continuos	Weibull (2)	gamma = 204.913; beta = 20.465
IV0.05	82.773	Continuos	Log-normal	μ = 4.169; sigma = 0.703
IV0.1	300.756	Continuos	Log-normal	μ = 5.154; sigma = 1.051
IV0.12	140.592	Continuos	Beta4	alfa = 0.515; beta = 0.722; c = 109.721; d = 183.871
IV0.13	121.567	Continuos	Beta4	alfa = 0.327; beta = 0.246; c = 69.965; d = 160.387
IV2	50.568	Continuos	Gamma (2)	k = 1.518; beta = 33.312

Para realizar la simulación de los datos, se truncaron las distribuciones de acuerdo al mínimo y máximo de cada dato (tC/ha) por tamaño de parcela y por estrato respectivamente. Los resultados de éstas simulaciones son los siguientes:

Cuadro 23. Estadística descriptiva de la modelación de Monte Carlo

Estadístico	I	II	III	IV
No. de observaciones	10000	10000	10000	10000
No. de valores perdidos	0	0	0	0
Suma de los pesos	10000	10000	10000	10000
Mínimo	79.274	14.626	37.250	44.496
Máximo	201.506	453.902	450.164	426.254
Frec. del mínimo	1	1	1	1
Frec. del máximo	1	1	1	1
Rango	122.232	439.276	412.914	381.758
1° Cuartil	112.636	74.298	77.725	98.876
Mediana	122.063	101.731	97.113	125.190
3° Cuartil	134.256	139.313	128.736	161.833
Suma	1249352.716	1134183.717	1108722.975	1348017.779
Media	124.935	113.418	110.872	134.802
Varianza (n)	296.381	3079.687	2540.914	2350.624
Varianza (n-1)	296.410	3079.995	2541.168	2350.859
Desviación típica (n)	17.216	55.495	50.407	48.483
Desviación típica (n-1)	17.217	55.498	50.410	48.486
Coeficiente de variación	0.138	0.489	0.455	0.360
Asimetría (Pearson)	0.900	1.389	1.973	1.046
Asimetría (Fisher)	0.900	1.389	1.973	1.046
Asimetría (Bowley)	0.128	0.156	0.240	0.164
Curtosis (Pearson)	0.953	2.648	5.435	1.367
Curtosis (Fisher)	0.954	2.650	5.438	1.369
Error típico de la media	0.172	0.555	0.504	0.485
Límite inferior de la media (XXXX%)	124.598	112.331	109.884	133.851
Límite superior de la media (XXXX%)	125.273	114.506	111.860	135.752
Error estándar(Asimetría (Fisher))	0.024	0.024	0.024	0.024
Error estándar(Curtosis (Fisher))	0.049	0.049	0.049	0.049
Desviación absoluta media	13.414	41.973	36.216	38.028
Desviación absoluta mediana	10.406	31.084	23.261	29.835
Media geométrica	123.815	101.763	102.196	126.918
Desviación típica geométrica	1.142	1.593	1.474	1.412
Media armónica	122.754	91.370	95.331	119.719
Intervalos de confianza (95%)	0.34	1.09	0.99	0.95
Incertidumbre	0.28%	1.07%	1.02%	0.76%

Para el análisis se utilizó la mediana, ya que son datos que no presentan una distribución normal.

En la figura 13 se observan los histogramas de la distribución de toneladas de carbono por hectárea por cada uno de los estratos, resultado de las simulaciones por el método de Monte Carlo:

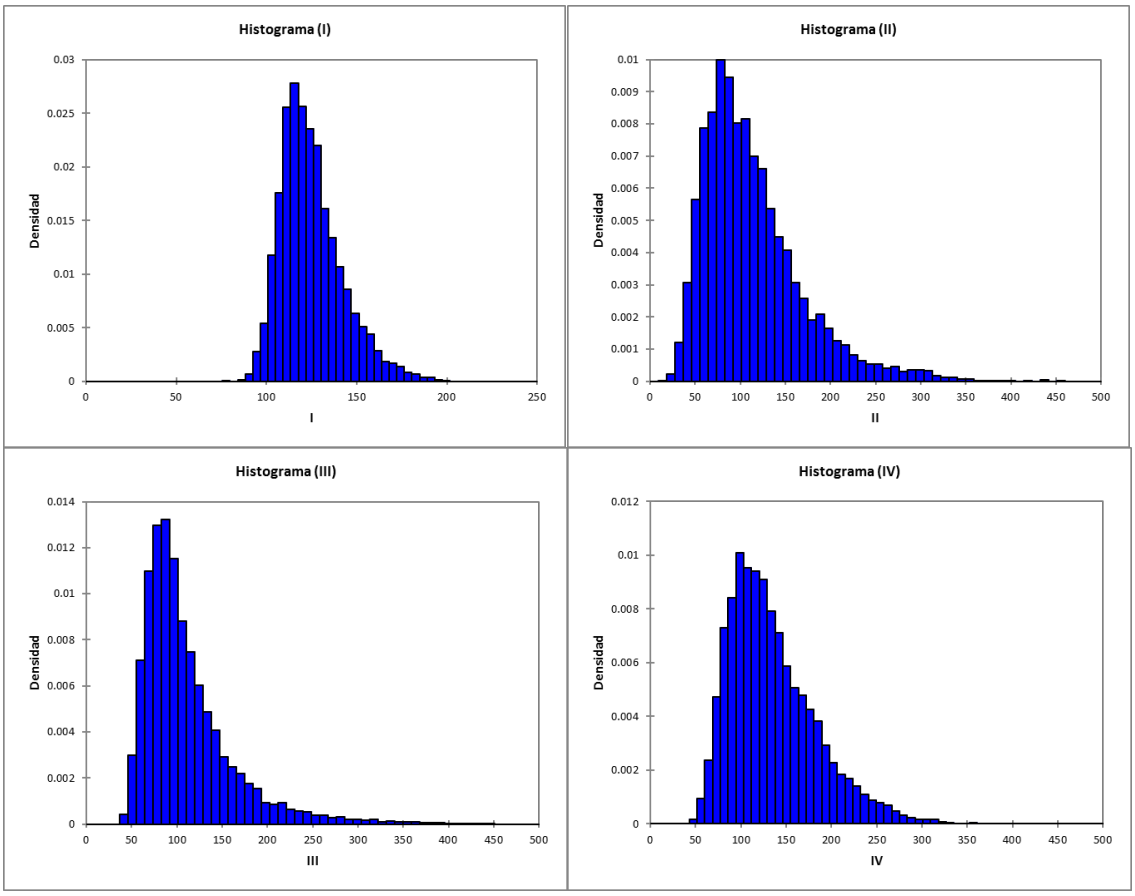


Figura 13. Histogramas de la distribución de tC/ha por estrato "I", "II", "III" y "IV"

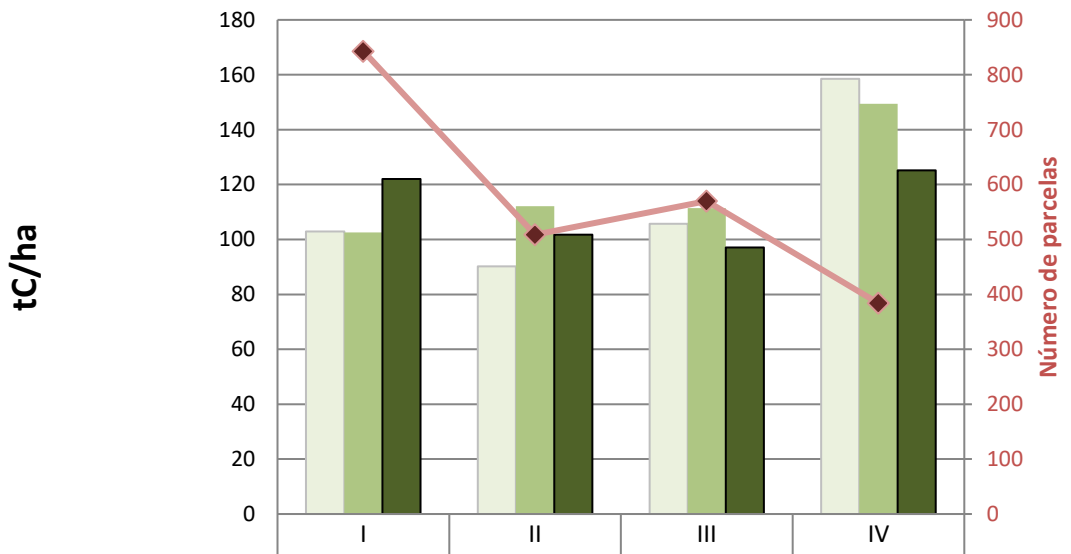
Para la incertidumbre final, se realizó un remuestreo de acuerdo a los datos obtenidos de las simulaciones, esto con el objetivo de obtener los intervalos de confianza. Se utilizó el método de bootstrap al 95% de confiabilidad ya que los datos no presentan una distribución gaussiana o normal.

Cuadro 24. Incertidumbre de las estimaciones de tC/ha por estrato

Estratos	Mediana	Desviación típica	Incertidumbre (%)
I	122.06	0.187	0.30%
II	101.73	0.553	1.07%
III	97.11	0.459	0.93%
IV	125.19	0.602	0.94%

5.8 Mediana, media ponderada y estimación por Monte Carlo de la cantidad de tC/ha encontrada por estrato

Se realizó una comparación de la mediana, como parámetro no paramétrico, media ponderada y del estimado por el método de Monte Carlo de las tC/ha por cada uno de los estratos. Estos son parámetros de medida central obtenidos por diferentes métodos descritos anteriormente, el objetivo es comparar los resultados de éstas métricas obtenidos de las parcelas provenientes de diferentes fuentes de información, y el estimador obtenido por el método de Monte Carlo, será el que se utilizará para futuras cálculos de emisiones de acuerdo a los reservorios de carbono en los bosques de Guatemala.



	I	II	III	IV
Mediana	102.9	90.3	105.7	158.5
Media ponderada	102.6	112.1	111.5	149.5
Monte Carlo	122.1	101.7	97.1	125.2
Parcelas	843	509	570	384

Figura 14. Comparación de la Mediana y media ponderada y estimación por Monte Carlo (tC/ha) por estrato

De acuerdo a la gráfica anterior, se visualiza mayor estabilidad en los resultados de tC/ha tanto en el estrato I, II y III, ya que la mayoría de parcelas provienen de pocas fuentes de información, mientras que el estrato IV, existe gran variabilidad de las fuentes de información y por ende tamaño de parcelas.

Geográficamente se visualiza la estratificación a nivel nacional en el siguiente mapa:

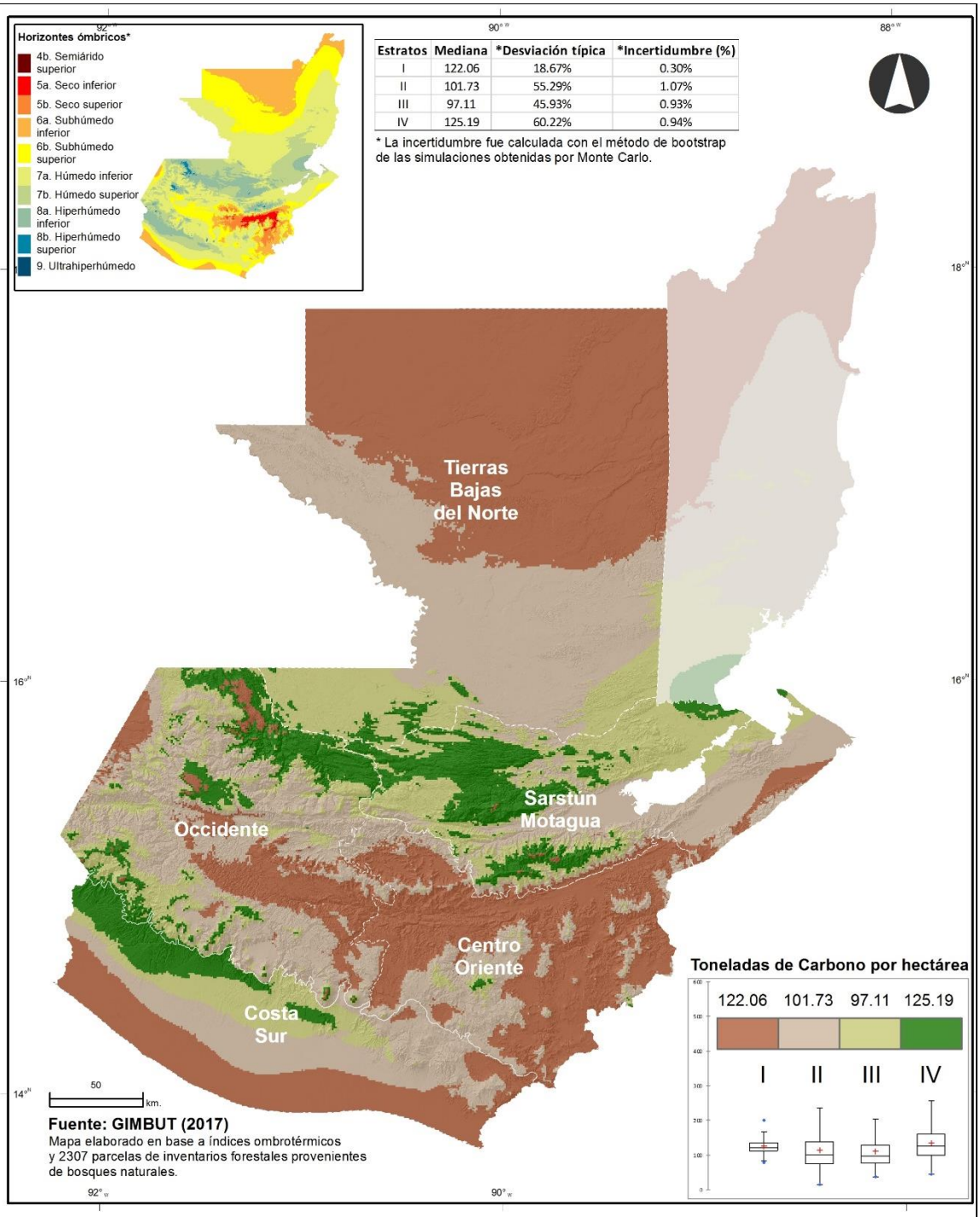


Figura 15. Mapa de estratos de carbono (tC/ha) biomasa aérea y subterránea en base a índices ombrotérmicos

6 Reservorios de Carbono por la cobertura forestal

De acuerdo a la cobertura forestal del año 2001, 2006 y 2010 las cantidades de carbono hasta el último año, ha ido disminuyendo, de acuerdo a las regiones

Subnacionales REDD+, en algunas áreas se ha mantenido, incluso aumentado, en la figura 16 se observa los cambios de toneladas de carbono en tres periodos de años de acuerdo a los índices ómbricos. Éstas son áreas netas de bosque por cada año:

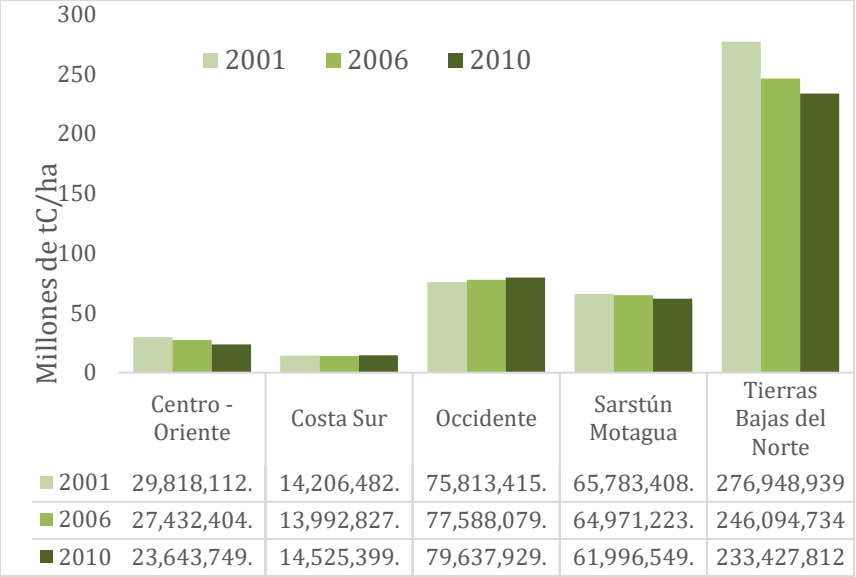


Figura 16. Cantidad de tC por regiones REDD+ en la cobertura forestal en Guatemala

El carbono total por período de acuerdo a la estratificación del mapa, para la cobertura forestal del año 2001, es de 462,570,358.2 toneladas, para el año 2006 es una cantidad de 430,079,269.7 toneladas y para el año 2010 se tiene una cantidad de 413,231,440.3 toneladas de carbono respectivamente, a nivel nacional. De acuerdo a éstas estimaciones, el 11% de la cobertura boscosa ha disminuido durante un período de casi 10 años.

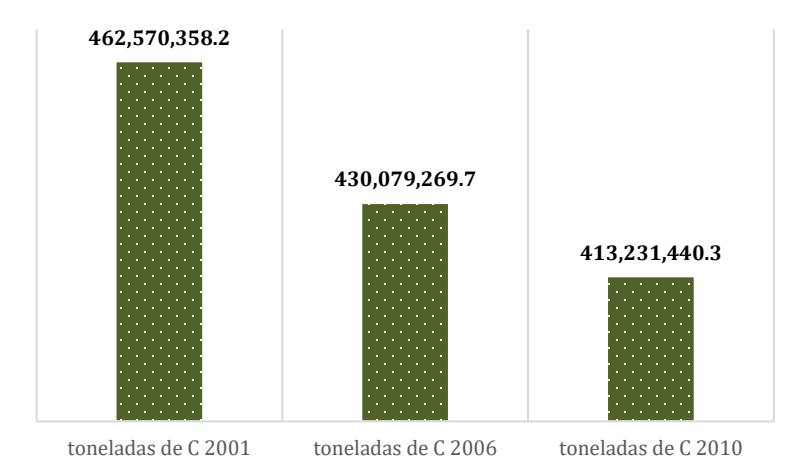


Figura 17. Tendencia del carbono (tC/ha) por tres períodos de años

En el siguiente mapa se visualiza la cobertura forestal del año 2010, con sus respectivos contenidos de carbono, de acuerdo a la estratificación descrita anteriormente.

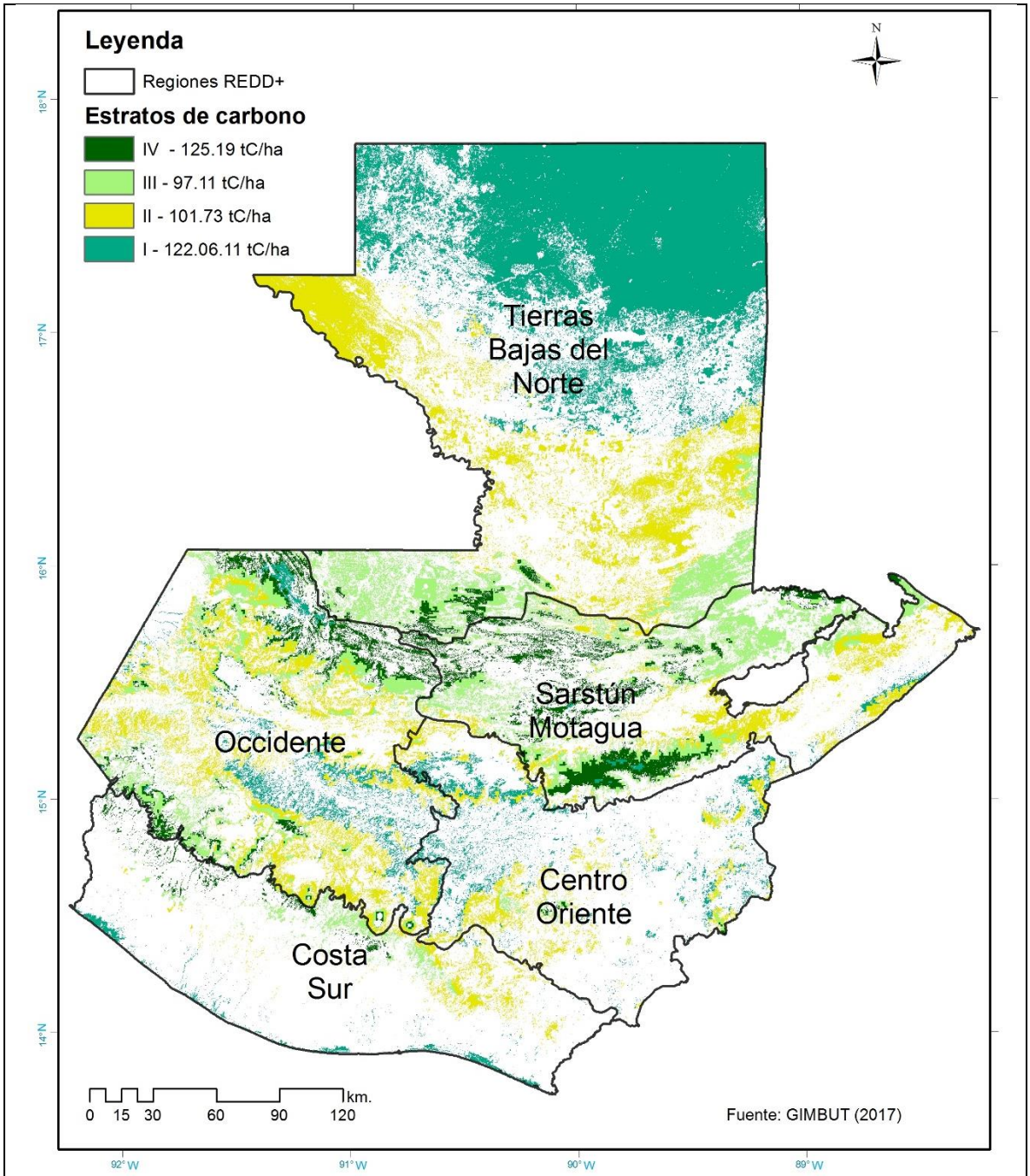


Figura 18. Estratificación de Carbono (tC/ha) en la cobertura forestal del año 2010

De acuerdo al mapa anterior, se visualiza que la mayor cantidad de bosque se presenta en la región de Tierras Bajas de Norte, con una cantidad de carbono que está entre 101 a 122 tC/ha. Los estratos de mayor carbono se encuentran en las subregiones de Sartún Motagua y Occidente.

7 Conclusiones

- Se sistematizaron 2,307 parcelas debidamente depuradas con sus respectivos cálculos de toneladas de Carbono por hectárea, a partir de la biomasa aérea y subterránea en bosques naturales, dentro de bosque latifoliado, bosque de coníferas, y bosque de mangle a nivel nacional, provenientes de inventarios forestales de diferentes instancias tanto instituciones gubernamentales, ONG´s, como concesiones forestales del norte del país.

- Se depuraron datos de árboles con DAP menores a 10 centímetros y datos incoherentes de parcelas, además se utilizaron ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa, para bosques de coníferas, latifoliados y bosque de mangle; el uso de las ecuaciones se aplicó de acuerdo a la ubicación de las parcelas utilizando las regiones REDD+, ya que actualmente existe la ecuación generada por William Arreaga (2002) realizada específicamente para los bosques de El Petén y para el resto del país, se utilizaron las ecuaciones generadas por la UVG (2015) para bosques de coníferas y latifoliados. Para el bosque de Mangle se aplicaron ecuaciones específicas para cada una de las especies y para esto se realizó un consolidado con el registro y estandarización de todas las parcelas con la cantidad de toneladas de Carbono por hectárea y poder obtener un resumen estadístico general.

- Para poder estratificar las zonas con similar carbono a nivel nacional, se generó la capa de índices ombrotérmicos a partir de las variables de precipitación y temperatura la cual fue descargada de la página de WorldClim y obtener las zonas ómbricas para Guatemala.

- Para poder identificar si existe normalidad en la distribución de los datos (tC/ha), se aplicaron pruebas de normalidad, lo cual son muestras que no presenta normalidad en sus distribuciones y además provienen de fuentes de información diferentes, por lo que se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas para la estratificación.

- La estratificación se realizó a partir de los índices ombrotérmicos utilizando la ubicación de las parcelas con sus respectivos cálculos de carbono, e identificar áreas con cantidades de carbono igual o similar entre cada una de las zonas ómbricas. Se aplicaron las pruebas de Kruskal Wallis dando como resultado tres estratos, identificando un cuarto estrato por la ubicación y los procesos que se tienen avanzados en la región REDD+ específicamente en tierras bajas del Norte.

- Para poder obtener la media ponderada utilizando la varianza, se sistematizaron de acuerdo al tamaño de las parcelas y por cada uno de los estratos identificados estadísticamente, la media ponderada; ésta es la sumatoria de la cantidad obtenida por cada uno de los estratos, que van

desde los 102 hasta las 149 toneladas de carbono por hectárea. Esto se realizó adicional a los resultados finales.

- Adicionalmente se aplicó el método de Monte Carlo para poder tener un estimador final de las toneladas de carbono por hectárea, haciendo simulaciones de acuerdo al tipo de distribución del tamaño de las parcelas, que van desde 97.1 hasta 125.2 tC/ha.

- De acuerdo a las simulaciones se realizó un remuestro con el método de bootstrap para poder obtener las incertidumbres del mapa de estratos de carbono, que van en el estrato I de 0.3%, estrato II: 1.07%, estrato III: 0.93% y estrato IV: 0.94% al 95% de confiabilidad.

8 Recomendaciones

- Recopilar datos de inventarios en las áreas donde no existe actualmente ninguna parcela específicamente en la región de centro oriente para el cálculo del mapa de estratos e incluso de otras bases de datos.

- Actualizar el mapa de estratos de carbono con parcelas recientes de inventarios forestales o de otras fuentes de información y comprobar la permanencia de biomasa en los bosques.

- Recopilar los datos de inventarios que se generan con los programas de PINFOR y PINPEP y ahora PROBOSQUE utilizando herramientas para sistematizar la información.

- Publicar del mapa de estratos de carbono con su respectiva metodología para Guatemala.

9 Bibliografía

CATIE. (1994). *Estudio tecnológico de la madera en tres especies de mangle.* Manangua, Nicaragua.

CATIE. (2002). *Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala.* Turrialba, Costa Rica.

Centro de Investigaciones Fitosociológicas. (1996-2016). *Worldwide Bioclimatic Classification System*. Obtenido de http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global_bioclimatics_2.htm

Mokany, K., Raison, R. J., & Prokushkin, A. (2006). Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12, 84–96.

Thomas, C. y Rennie J. . (1987). Combining Inventory Data for Improved Estimates of Forest Resources. *Southern Journal of Applied Forestry SJAF 11*, 168-171.

WorldClim. (s.f.). *WorldClim - Global Climate Data*. Obtenido de http://worldclim.org/current

Morales Vargas, A., & Herrera, A. (1994). *Estudio tecnológico de la madera en tres especies de mangle*. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Managua (Nicaragua) Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central, Turrialba (Costa Rica).

10 Anexos

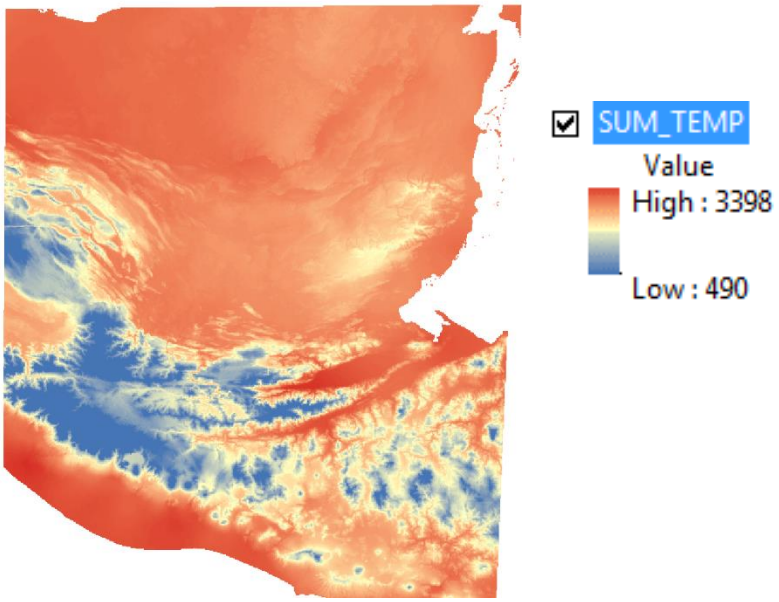
Anexo 1. Metodología para realizar el mapa de índices ombrotérmicos

Construcción de índices ómbrotérmicos

Para la construcción de los índices ómbricos en Guatemala, se descargó información de WorldClim 1.4: Current conditions (~1960-1990) de 30 segundos por arco (~1km) de resolución.[5] (WorldClim, s.f.)

Sumatoria de precipitación

Se descargó la media mensual de precipitación, utilizando la herramienta de álgebra de mapas, se hizo la sumatoria de las temperaturas, tal como se visualiza en la siguiente figura:



La operación geográfica fue la siguiente:

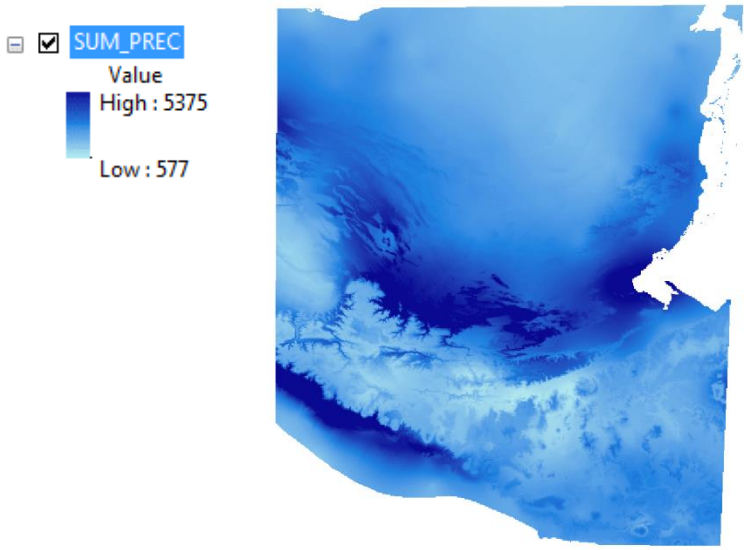
Suma="%prec_1%"+"%prec_2%"+"%prec_3%"+"%prec_4%"+"%prec_5%"+"%prec_6%"+"%prec_7%"+"%prec_8%"+"%prec_9%"+"%prec_10%"+"%prec_11%"+"%prec_12%"

Se utilizaron las medias mensuales para realizar una sumatoria de las medias, esto para poder tener el acumulado anual promedio.

[5] http://worldclim.org/current

Sumatoria de temperatura

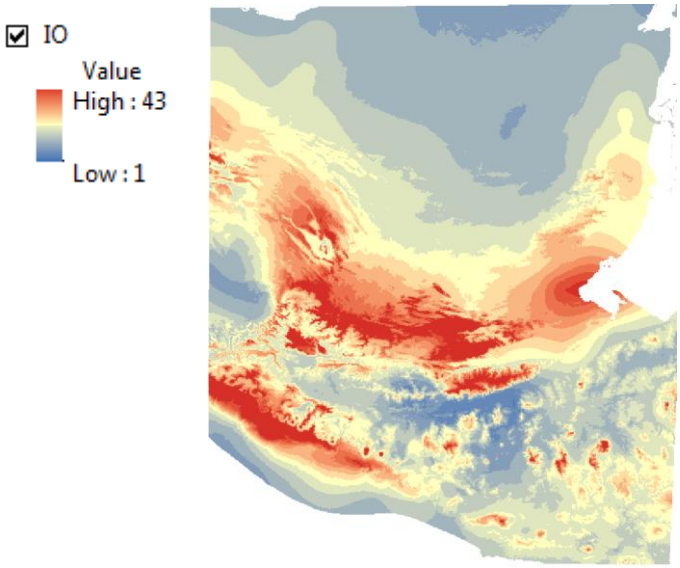
Para realizar la sumatoria de temperaturas mensuales, de igual forma, se utilizaron todas las medias mensuales y se hizo la sumatoria respectiva. En la siguiente imagen se observan los resultados:



Suma="%tmean_1%"+"%tmean_2%"+"%tmean_3%"+"%tmean_4%"+"%tmean_5%"+"%tmean_6%"+"%tmean_7%"+"%tmean_8%"+"%tmean_9%"+"%tmean_10%"+"%tmean_11%"+"%tmean_12%"

Índices ombrotérmicos

Para realizar el mapa de índices ombrotérmicos se utilizaron los datos anteriormente descritos, para hacer éste proceso, todos los datos se convirtieron en datos flotantes y obtener como resultado un raster con información decimal en el valor de las celdas. El resultado se observa en la siguiente imagen:



Para obtener el resultado anterior, se utilizó la siguiente ecuación:

IO=10*"%SUM_PREC%"/"%SUM_TEMP%"

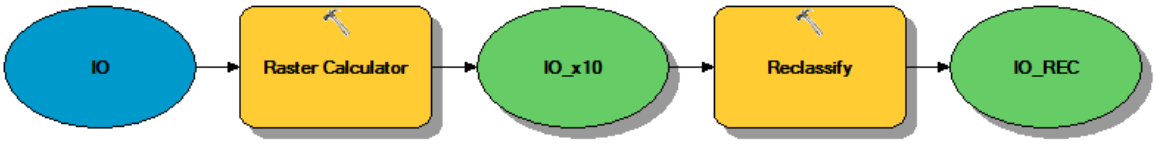
Reclasificar

Ombrotipos. Son valores que expresan los cocientes entre las precipitaciones medias en milímetros y el sumatorio en grados centígrados de aquellos meses cuya temperatura media es superior a cero grados centígrados. Entre otros se puede distinguir el Indice ombrotérmico anual (Io). Los intervalos o valores de Io que delimitan los tipos ómbricos y los horizontes ombrotérmicos en todos los macrobioclimas de la Tierra, así como las abreviaturas que los designan

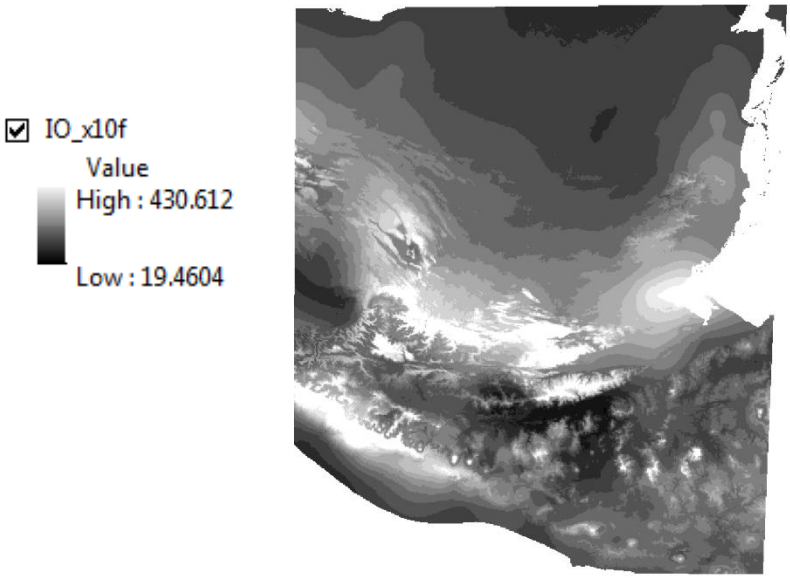
Tipos ómbricos	***Horizontes ómbricos***	***Abr.***	***Io***
1. Ultrahiperárido	1. Ultrahiperárido	Uha	< 0.1
2. Hiperárido	2a. Hiperárido inferior	Hai	0.1-0.2
	2b. Hiperárido superior	Has	0.2-0.3
3. Arido	3a. Arido inferior	Ari	0.3-0.6
	3b. Arido superior	Ars	0.6-1.0
4. Semiárido	4a. Semiárido inferior	Sai	1.0-1.5
	4b. Semiárido superior	Sas	1.5-2.0
5. Seco	5a. Seco inferior	Sei	2.0-2.8
	5b. Seco superior	Ses	2.8-3.6
6. Subhúmedo	6a. Subhúmedo inferior	Sui	3.6-4.8
	6b. Subhúmedo superior	Sus	4.8-6.0
7. Húmedo	7a. Húmedo inferior	Hui	6.0-9.0
	7b. Húmedo superior	Hus	9.0-12.0
8. Hiperhúmedo	8a. Hiperhúmedo inferior	Hhi	12.0-18.0
	8b. Hiperhúmedo superior	Hhs	18.0-24.0
9. Ultrahiperhúmedo	9. Ultrahiperhúmedo	Uhu	> 24.0

(Centro de Investigaciones Fitosociológicas, 1996-2016)

Para poder trabajarlo con decimales, se multiplicó por 10 y se reclasificó de la siguiente forma:



Del resultado del proceso anterior, se obtuvo como mínimo 10 y máximo 430 (1 a 43 respectivamente)

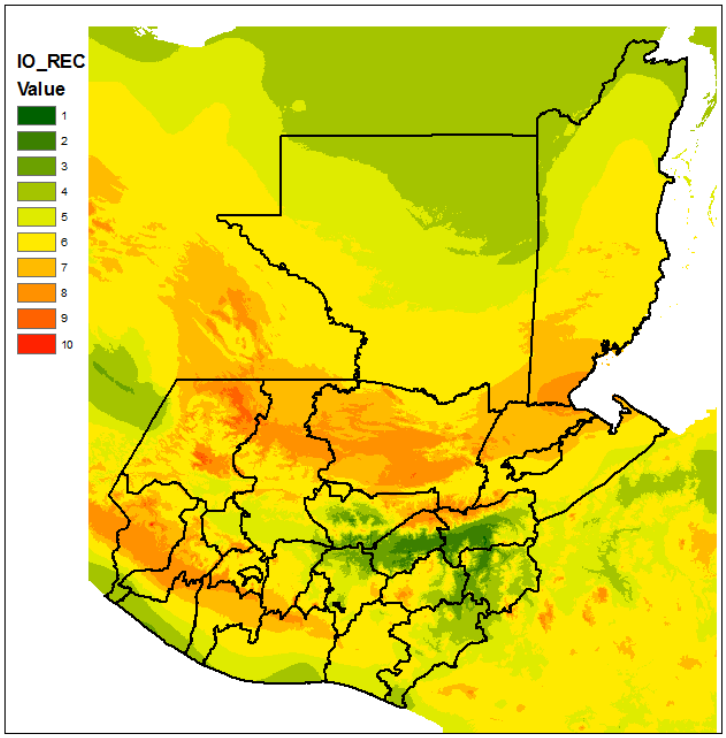


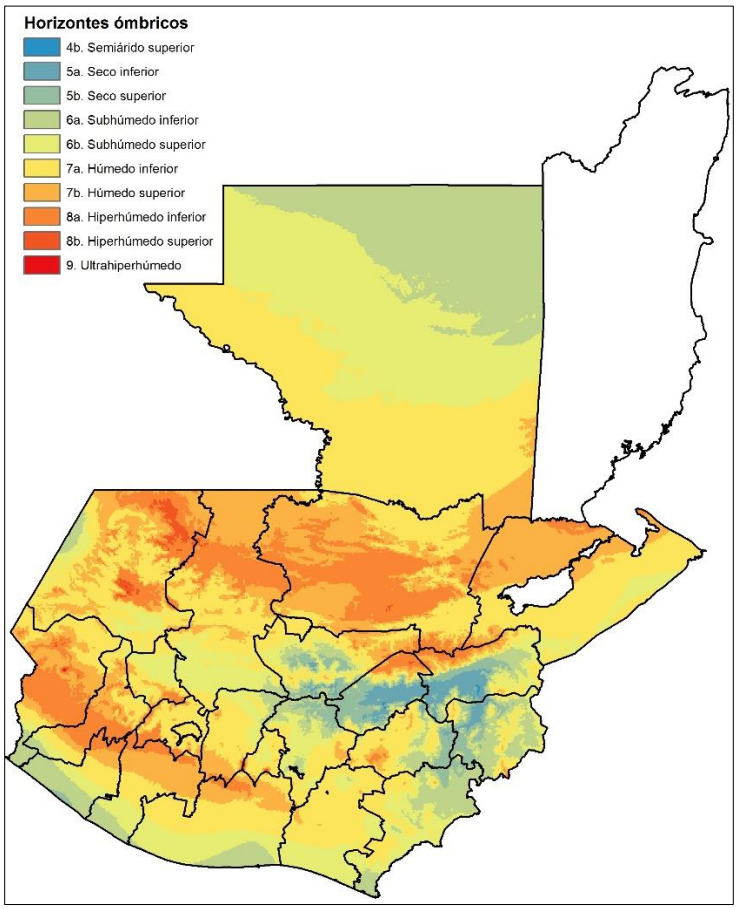
OBJECTID *	FROM_	TO	OUT	MAPPING
1	19.460371	20	1	ValueToValue
2	20	28	2	ValueToValue
3	28	36	3	ValueToValue
4	36	48	4	ValueToValue
5	48	60	5	ValueToValue
6	60	90	6	ValueToValue
7	90	120	7	ValueToValue
8	120	180	8	ValueToValue
9	180	240	9	ValueToValue
10	240	430.612244	10	ValueToValue

Resultado:

De acuerdo a los procesos utilizando los raster con los valores de precipitación y temperatura y su reclasificación, se obtuvo el resultado de los índices ombrotérmicos para Guatemala. En los siguientes mapas se observa la clasificación a nivel nacional:

De acuerdo a la reclasificación, existe la columna “value” la que contiene el identificador para poder generar el siguiente mapa:





Anexo 2: Constancia de entrega de datos por parte de la ASINFOR

ASINFOR
Asociación de Ingenieros Forestales de Guatemala

A QUIEN CORRESPANDA

Huehuetenango, Guatemala 7 de noviembre de 2016

Respetables instituciones:

Presente

A través de la asociación de Ingenieros Forestales – ASINFOR-, hacemos llegar un grato saludo, en el lugar el cual se encuentren laborando y apoyando en beneficio y desarrollo para nuestro país.

La asociación de ingenieros forestales fue constituida desde el año 1999 con el objeto de construir al desarrollo forestal de Guatemala y propiciar al mejoramiento social, cultural y científico. Actualmente se tienen una comunicación constante y directa con más de 50 socios y más de 100 ingenieros forestales egresados del Centro Universitario del Nor Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A petición de la Estrategia Nacional REDD+ (Reducción de emisiones de deforestación evitada, degradación y almacenamiento de stock) de Guatemala, hacemos llegar más de 500 parcelas de inventarios forestales provenientes de bosques naturales en formato digital (".xls") para que sean utilizadas en análisis futuros y que corresponden a la estrategia Nacional del país. Dichas parcelas han sido generadas y recopiladas a través de los regentes socios con el objeto de incentivar áreas para protección en diferentes sitios geográficos del país.

Las parcelas contienen el listado de árboles inventariados con su respectiva especie, DAP[1], altura y el área de muestreo con sus coordenadas de ubicación en el sistema de proyección para Guatemala (GTM), con el afán de contribuir a la investigación y generación de información en beneficio de nuestro país.

Atte.

ASINFOR
Asociación de Ingenieros Forestales de Guatemala

Ing. Elmer Villatoro
Representante legal y
Presidente de ASINFOR
Junta Directiva 2015-2017

[1] Diámetro a la altura del pecho

Dirección: 8ª. Av. 3-76. Zona 2, Huehuetenango, Huehuetenango, Guatemala
Email: asinfor.guatemala@gmail.com
Tel: 49542331- 56978531