

Mapeo de la Cobertura Forestal

► Volumen, Biomasa y Carbono Forestal

Sistemas de Monitoreo de Bosques

Herramientas

Recomendaciones para aumentar la eficiencia en los inventarios forestales para la cuantificación de carbono en Honduras

INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN
BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES

Programa Regional
REDD/CCAD-GIZ



Publicado por la

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Mapeo de la Cobertura Forestal

► **Volumen, Biomasa y Carbono Forestal**

Sistemas de Monitoreo de Bosques

Herramientas

Recomendaciones para aumentar la eficiencia en los inventarios forestales para la cuantificación de carbono en Honduras

INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN
BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES

Programa Regional
REDD/CCAD-GIZ

Recomendaciones para aumentar la eficiencia en los inventarios forestales para la cuantificación de carbono en Honduras

Esta publicación busca establecer si existen diferencias en las estimaciones realizadas con el tamaño de la unidad muestral y el número de parcelas por conglomerado utilizado en el INF de Honduras respecto a menores superficies de parcelas y menor número de parcelas por conglomerado., en el marco de las actividades del Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ). Componente III de Monitoreo y Reporte del Programa.

Publicado por:

Programa Regional REDD/CCAD-GIZ
Oficina Registrada Apartado Postal 755
Bulevar, Orden de Malta, Edificio GIZ, Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, La Libertad.
El Salvador, C.A.
E info@reddccadgiz.org
I www.reddccadgiz.org

Responsable:

Abner Jiménez, Especialista Sectorial.
Programa REDD/CCAD-GIZ
abner.jimenez@giz.de

Autores:

Patricio Emanuelli Avilés - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Fabián Milla Araneda - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Abner Jiménez Galo, Especialista Sectorial. Programa REDD/CCAD-GIZ

Enlace Equipo Técnico Regional de Monitoreo:

Efraín Duarte, ICF, Honduras

Diseño Gráfico:

Alfonso Quiroz Hernández - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Maritza Toledo Vargas

Octubre 2014

Componente: Monitoreo y Reporte

Área Temática: Volumen, Biomasa y Carbono Forestal

País: Honduras

ISBN 978-956-358-206-2

C O N T E N I D O S

1. RESUMEN •	4
2. INTRODUCCIÓN •	5
3. METODOLOGÍA •	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN •	12
5. CONCLUSIONES •	20
6. BIBLIOGRAFÍA •	21

1. Resumen:

A partir de la base de datos de parcelas del Inventario Nacional de Honduras 2005-2006, el cual se realizó con parcelas de 5000 m² distribuidas en conglomerados de 4 unidades muestrales cada uno, se realiza una simulación generándose parcelas de 3 tamaños distintos al original (500 m², 1000 m² y 2500 m²) distribuidas en grupos de 1, 2, 3 y 4 unidades muestrales. Con estos antecedentes se realiza las estimaciones para 3 tipos de bosques, en función de las variables número de árboles y volumen por hectárea, a fin de establecer la eficiencia del tamaño de la parcela y del agrupamiento de las unidades muestrales. Complementariamente, se realiza también un análisis de la acumulación de los errores ajenos al muestreo para el contenido de CO₂eq a partir de antecedentes de 50 parcelas de muestreo de 2000 m². Sobre la base de estos antecedentes se simuló, para los errores ajenos al muestreo, errores aleatorios y sistemáticos para las variables DAP, Altura total, Función de volumen, Pendiente del terreno, Densidad básica de la madera, Fracción de carbono y Determinación de la superficie.

2. Introducción

El inventario forestal es el método usado para recoger datos del bosque tratando de describirlo en función del objetivo previsto por el propietario del recurso forestal (Velasco, 2012). El concepto de inventario forestal se refiere a la descripción cuali y cuantitativa de los componentes de un área ocupada por bosques, por lo que en general, incluye información sobre la cantidad y calidad de los productos (Sorrentino, 1997). Esto implica, tanto características correspondientes a los árboles, en cuanto a sus dimensiones dendrométricas, como al conjunto de individuos desde el punto de vista dasométrico, en relación al área que estos ocupan, y a las condiciones del medio físico en el que se desarrollan (Husch *et al.*, 2002; Rodas, 2005).

Un inventario nacional corresponde a la cuantificación de grandes extensiones territoriales y es llevado a cabo para cumplir con objetivos definidos a nivel nacional, por lo que toda la información que brinda es general (en cuanto a superficie, composición, rendimientos promedio, existencias totales en pie) y es expresada por división política del país (Sorrentino, 1997). La información obtenida de los inventarios forestales nacionales se utiliza para la adopción de decisiones, la formulación de políticas y el seguimiento del sector forestal y sectores afines en el ámbito nacional, así como para la planificación forestal en unidades geográficas o políticas más reducidas de carácter subnacional (Kleinn, 2002). Según FAO (2009), la finalidad de la iniciativa de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Forestales Nacionales (MERFN) es introducir a los países en un método alternativo diseñado para generar información económica sobre los bosques y los árboles fuera del bosque, incluyendo todos los beneficios, usos y usuarios de los recursos y su ordenación.

Para solucionar el hecho de que no es posible realizar una medición a todo el bosque, pues no se dispone de los suficientes recursos económicos y humanos, es que se trabaja con una muestra de la población total, constituida por unidades de muestreo, y si bien ésta no refleja exactamente las características y condiciones del área objeto de estudio si permite hacer inferencias de las mismas (Ríos *et al.*, 2000; Velasco, 2012).

Un aspecto importante que debe definirse en un muestreo para formular un inventario forestal, además de la técnica a emplear, es la definición de la forma y tamaño de los sitios, precisando los conceptos estadísticos y los problemas prácticos que se presentan con los procedimientos de muestreo y toma de datos (Murillo y Camacho, 1997; Velasco, 2012). Para el caso de bosques tropicales, González *et al.* (2002) señalan que uno de los problemas existentes en el manejo sostenible de los bosques es precisamente la falta de investigación sobre el tamaño y forma del sitio de muestreo de tal forma de obtener estimaciones de las características ecológicas y productivas del sitio con una mayor eficiencia estadística a un menor costo.

La exactitud de un inventario forestal está dada por el error total, que es la diferencia entre la estimativa de una muestra y el valor verdadero de la población, y que incluye errores de muestreo (o errores aleatorios) y sesgos (o errores sistemáticos), que pueden tener origen en el procedimiento de muestreo o en errores de medición (Prodan *et al.*, 1997; Ríos, *et al.*, 2000). En cuanto a estos errores, Samalca (2007) indica que el error aleatorio se espera que tienda a cero al aumentar el tamaño de la muestra, mientras que el error sistemático no promedia cero y debería ser evitado por todos los medios. El proceso de optimizar un inventario consiste en minimizar los errores no muestrales y en maximizar la eficiencia muestral (maximizar la precisión) (Prodan *et al.*, 1997).

En post del diseño óptimo deben tomarse decisiones respecto al tipo de unidad muestral a utilizar y el sistema de muestreo más conveniente. En particular el error de muestreo depende del tamaño de la muestra, de la variabilidad entre las unidades muestrales y del procedimiento de muestreo utilizado (Cancino, 1999). Los sistemas de muestreo clásicos son el muestreo aleatorio simple y el muestreo sistemático, pero existe también el empleo de técnicas de muestreo agrupado, o muestreo por conglomerados (Prodan *et al.*, 1997). Una muestra por conglomerados es una muestra en la cual cada unidad de muestreo es una colección, o conglomerado, de elementos (Pineda, 1996). Las parcelas en este muestreo no son en sí unidades de muestreo, sino que solamente unidades de registro de la información, las que aportan finalmente a la determinación de un valor único para el conglomerado (Cox, 1976). Las principales ventajas en este diseño son que se disminuyen los sesgos al facilitarse la supervisión; se simplifica la recogida de las informaciones muestrales; la concentración de unidades disminuye la necesidad de desplazamientos, por lo que se reducen los tiempos de traslado entre unidades de muestreo y, por lo tanto, los costos de un inventario forestal (Orosco y Brumér, 2002). El principal inconveniente que

tiene es que si los conglomerados no son homogéneos entre sí, la muestra final puede no ser representativa de la población (Lagares y Puerto, s.f). Aldana *et al.*, (2006) señalan que este método es factible de aplicar con buenos resultados y bajo costo en áreas forestales con cierta accesibilidad y con un alto grado de homogeneidad en cuanto a la estructura y composición de las especies.

El objetivo del presente análisis es establecer si existen diferencias en las estimaciones realizadas con el tamaño de la unidad muestral y el número de parcelas por conglomerado utilizado en el INF de Honduras respecto a menores superficies de parcelas y menor número de parcelas por conglomerado.

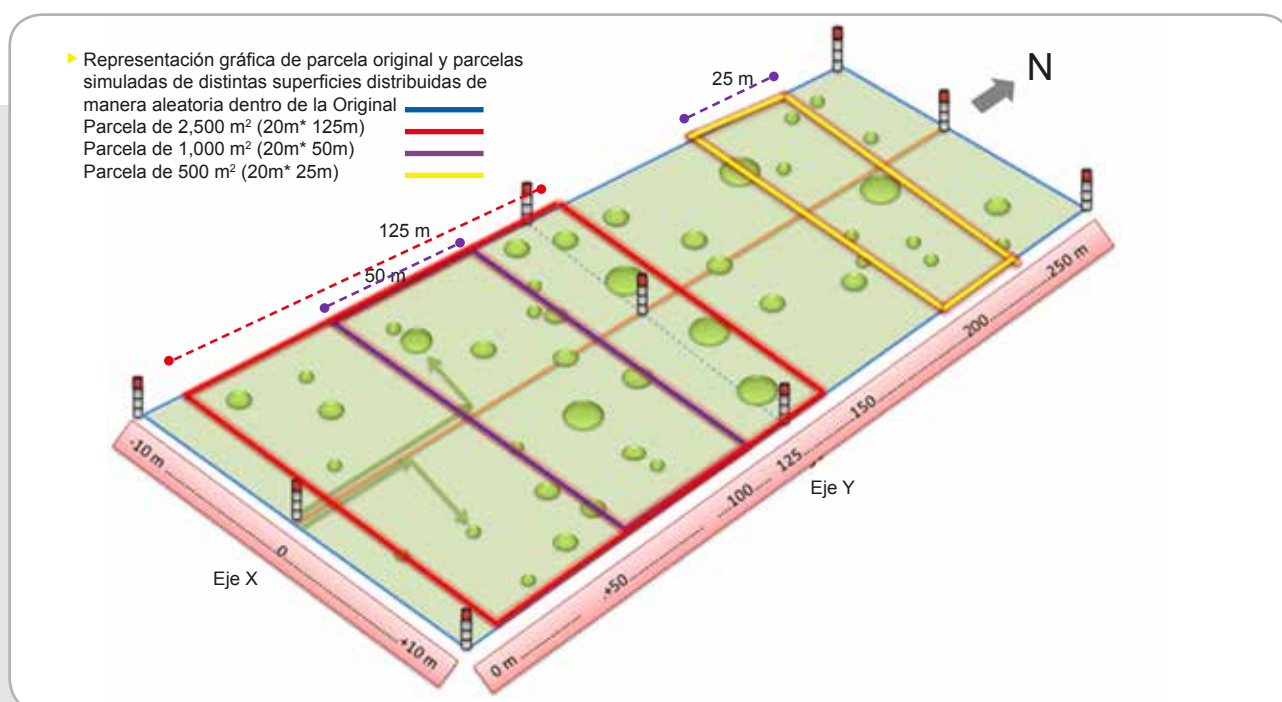
3. Metodología

Los antecedentes utilizados en el análisis corresponden a los disponibles en la base de datos del Inventario Nacional Forestal (INF) de Honduras 2005-2006, el cual se realizó con parcelas de 5000 m² distribuidas en conglomerados de 4 unidades muestrales cada uno (Ramírez y Salgado, 2006).



A partir de los datos de las parcelas del INF de Honduras se realiza una simulación generándose una nueva base de datos con parcelas de 3 tamaños distintos al original; 500 m², 1000 m² y 2500 m². Estas parcelas fueron generadas de forma aleatoria al interior de las parcelas originales de 5000 m² utilizando la posición geográfica de los árboles medidos, de tal manera que cada parcela de 5000 m² permitió la generación de una parcela de los tamaños en estudio.

Este proceso se llevó a cabo mediante el uso de un algoritmo informático que generó distancias aleatorias dentro de las parcelas originales de largo 250 m y ancho 20 m. Aplicando el algoritmo se seleccionaban los árboles en los largos aleatorizados manteniendo un ancho fijo de 20 m. Definida la sección aleatoria se extrajeron los árboles presentes desde la base de datos de árboles los que se asignaron a las nuevas parcelas de superficies de 500, 1000 y 2500 m².



Adicionalmente, los nuevos tamaños de parcelas fueron también distribuidas en conglomerados de 1, 2, 3 y 4 unidades muestrales. La base de datos fue separada en tres Tipos de Bosques a fin de identificar la eventual existencia de diferencias al interior de estos grupos de Unidades Muestrales. Los Tipos de Bosque utilizados fueron: Bosques Latifoliados, Bosques de Coníferas y Bosques Mixtos. Esta clasificación se obtuvo en base al Mapa Nacional de 2009 (ESNACIFOR/RS GIS LAB USU, 2010). Adicionalmente también se consideró la agrupación de todos los tipos de bosque existentes en la Base de Datos, denominándose a esta categoría Todos. Las variables utilizadas para realizar los

análisis estadísticos fueron el número de árboles por hectárea y el volumen por hectárea. En todos los análisis realizados se consideró un nivel de significancia del 5%.

Análisis para el tamaño de parcelas.

En este análisis se consideró el total de conglomerados existentes en la base de datos, independiente de si se contaba con 1, 2 3 o 4 parcelas por conglomerado. Para cada Tipo de Bosque y para la categoría Todos los tratamientos analizados son 4, que corresponden a los 3 diferentes tamaños de parcelas generados al azar (500 m², 1000 m² y 2500 m²) y más la parcela de 5000 m². En todos los casos se consideró el proceso de la información resultante al considerar por cada punto de muestreo conglomerados con 4 unidades muestrales secundarias. Para establecer la existencia de diferencias significativas entre los valores medios de las variables en análisis para los distintos tamaños de las parcelas se realizó una dódima de igualdad de medias mediante un análisis de varianza (prueba F) (Morales, 2005). Como paso previo, se verificó el supuesto de homogeneidad de varianza a través del test de Cochran dado que los tamaños muestrales son iguales en todos los casos (Steel y Torrie, 1992; Montgomery, 2005).

Análisis del número de parcelas por conglomerado.

Para este análisis se utilizó sólo las unidades muestrales del INF de Honduras que tenían las 4 parcelas medidas en su interior. De la base de datos se obtuvo muestras aleatorias con tamaños de parcelas de 500 m², 1000 m² y 2500 m² con 1, 2, 3 y 4 parcelas por conglomerado. Posteriormente se realizó la dódima de igualdad de medias, mediante un análisis de varianza (prueba F), de conglomerados con 1,2,3 y 4 parcelas y para cada tamaño de parcela, agregando en cada caso como tratamiento de referencia (testigo) los valores de los conglomerados de 4 parcelas de 5000 m², que se asumió como el valor más representativo de la población.

Análisis del error total del inventario.

Se realizó un análisis de la acumulación de los errores ajenos al muestreo, para la estimación del stock de CO₂eq de los bosques, simulados a partir de antecedentes de 50 parcelas de muestreo rectangulares de 100 x 20 m del

INF de Honduras. Para simular los errores ajenos al muestreo se asumió que los valores registrados en el INF en cada una de las parcelas a nivel de cada árbol correspondían a los valores reales para cada variable y se simuló errores aleatorios y sistemáticos en forma computacional y aleatoria: en el caso de las variables DAP y Altura se aplicaron tanto errores aleatorios como errores sistemáticos (de + 20% y – 20%) sobre los valores reales; para la estimación del volumen se aplicaron 2 funciones de volumen $V = 0.7854 * (DAP/100)^2 * H * 0.5$, para la estimación del volumen comercial de las latifoliadas y $VC_{sc10} = -0.0294927 + 0.00002495 * DAP^2 H + 0.00005902 * DAP^2$ para el volumen comercial de las coníferas (Ramírez y Salgado, 2006); para la Pendiente del terreno se asumió que el error ajeno al muestreo correspondía a no realizar la corrección de la distancia mayor de la parcela rectangular que estaba siempre a favor de la pendiente; para las variables Densidad Básica de la madera y Fracción de Carbono se asumió como valores reales 550 kg/m³ y 0.4900 y se simularon errores sistemáticos de ± 10% y ± 2% respectivamente; en cuanto a la determinación de la superficie (Cartografía) se asumió un error de omisión o comisión sistemático de ± 10%. La combinación de todas estas posibilidades de simulación de error en las variables para la estimación del stock de CO₂eq genera un total de 57 valores simulados para un mismo valor real. La base de cálculo considera 2204 árboles muestra, 494 árboles submuestra (DAP-H) y un rango del DAP de 10 a 200 cm.

4. Resultados y Discusión:

Análisis para el tamaño de parcelas.

El análisis de la prueba de Cochran permite establecer que existe homogeneidad de varianzas, por lo que es posible realizar la dócima de igualdad de medias. Del resumen de las dócimas de igualdad de media realizadas es posible inferir que, considerando un nivel de confianza del 95%, no es posible establecer diferencias estadísticas entre las medias de las variables de interés (tabla 1). Luego, las estimaciones del promedio realizadas con los distintos tamaños de parcelas, tanto para el número de árboles como para el volumen, son estadísticamente iguales.

Análisis del número de parcelas por conglomerado.

El análisis de la prueba de Cochran permite establecer que existe homogeneidad de varianzas, por lo que es posible realizar la dócima de igualdad de medias. Las 62 unidades muestrales en este análisis corresponden a todas aquellas unidades muestrales de la base de datos en que fueron medidas las 4 parcelas por conglomerado, descartándose aquellas en que habían mediciones en 1, 2 o 3 parcelas en el conglomerado.

Se presenta en la tabla 2 el resumen de la dócima de igualdad de medias en donde los tratamientos a comparar se generan por la combinación del tamaño de parcela y el número de parcelas por conglomerado contrastados con el tratamiento testigo que corresponde al conglomerado de 4 parcelas de 5000 m².

Tabla 1. Resumen de la comparación de medias para el tamaño de la parcela (tabla ANDEVA)

Tipo de Bosque	N° UM	Estadígrafos / Tamaño Parcela	Número de árboles (arb/ha)				F M	Valor p	Volumen (m³/ha)				F M	Valor p
			500 m²	1000 m²	2500 m²	5000 m²			500 m²	1000 m²	2500 m²	5000 m²		
Todos	122	Promedio	94.30	89.60	86.60	88.80	0.276	0.843	76.30	80.50	80.40	83.80	0.137	0.938
		Desviación	80.54	71.31	61.22	58.91			84.87	96.20	90.83	93.84		
Coníferas	55	Promedio	88.50	93.90	86.00	87.80	0.119	0.948	74.60	75.90	75.20	74.50	0.003	0.987
		Desviación	94.17	74.22	64.77	49.45			87.01	91.38	90.33	66.05		
Latifoliadas	46	Promedio	95.50	109.40	108.20	104.40	0.347	0.791	112.00	123.80	116.90	119.60	0.072	0.975
		Desviación	95.47	109.42	108.23	104.36			139.86	133.97	111.16	111.15		
Mixto	4	Promedio	100.00	132.50	155.50	117.00	0.241	0.866	31.30	61.00	82.70	67.60	0.964	0.441
		Desviación	99.33	112.36	86.97	82.63			28.18	54.35	43.08	46.05		

F m : valor muestral de la prueba de Fisher (dócima de igualdad de medias)

Tabla 2. Resumen de la comparación de medias para el número de parcelas por conglomerado (tabla ANDEVA)

Tamaño de las parcelas	N° UM	Estadígrafos	Volumen (m³/ha) según Número de Parcela por Conglomerado					F M	Valor p
			1	2	3	4	4 de 5000 m²		
500 m²	62	Promedio	88.8	94.6	101.5	95.8	102.8	0.0791	0.989
		Desviación	124.8	95.9	101.0	87.1	97.1		
1000 m²	62	Promedio	88.6	101.9	104.7	96.1	102.8	0.1113	0.979
		Desviación	116.5	149.8	127.1	100.3	97.1		
2500 m²	62	Promedio	91.3	98.3	104.6	99.6	102.8	0.0719	0.991
		Desviación	112.8	115.8	107.6	94.3	97.1		

F m : valor muestral de la prueba de Fisher (dócima de igualdad de medias)

En todos los casos se establece que, estadísticamente, no existe diferencias entre las medias estimadas de los distintos tratamientos generados. Luego, es estadísticamente igual realizar la estimación del volumen promedio con una parcela de 500 m² por punto de muestreo, que con 2, 3 y 4 parcelas de 500 m² en conglomerado o con un conglomerado de 4 parcelas de 5000 m². Lo mismo se verifica para las parcelas de 1000 m² y 2500 m².

Análisis de medias y error de muestreo para el volumen.

En la tabla 3 se muestran los valores promedio del volumen (m^3/ha) y los errores de muestreo (%) para cada combinación de tamaño de parcela y número de parcelas en el conglomerado. Además, se calcula la diferencia porcentual entre los promedios y los errores en relación al valor testigo correspondiente a 4 parcelas de 5000 m^2 por conglomerado.

Si se analizan los errores de muestreo es posible verificar que, para igual número de parcelas por conglomerado, existe una cierta tendencia a que a mayor superficie de la unidad muestral el error disminuya, con la excepción del menor error de muestreo asociado a la agrupación de 4 unidades muestrales de 500 m^2 (23,1%), que resulta incluso inferior al obtenido para 4 parcelas de 5000 m^2 (24,0%). Similares resultados plantean González *et al.* (2002), quienes, al evaluar sitios de muestreo circulares y rectangulares de 250 m^2 , 500 m^2 , 750 m^2 , 1000 m^2 y 1200 m^2 en la estimación del área basal del Bosque Tropical Subcaducifolio en el Municipio de Tomatlán, Jalisco, establecieron que los sitios circulares de 250 y 500 m^2 presentan un menor coeficiente de variación en comparación con los rectangulares, pero a partir de 750 m^2 , la variación de circulares y rectangulares es muy similar; además, conforme aumenta la superficie de muestreo el coeficiente de variación se reduce ya sea para unidades muestrales circulares como rectangulares. Por su parte, Fonseca *et al.* (2010) concluyen, sobre la base de datos de 14 parcelas permanentes de muestreo de 5000 m^2 establecidas en bosques de 4 estadios sucesionales en diferentes sitios de la Península de Osa, que el tamaño óptimo de parcela para estimar biomasa en los bosques de la Península de Osa, está entre 1000 y 1500 m^2 , ya que a partir de este tamaño de parcela la disminución en la variabilidad de la estimación de la biomasa y área basal es muy pequeña al aumentar el tamaño de parcela.

Si se analiza las distintas posibilidades de agrupamiento para un mismo tamaño de parcela, claramente el error de muestreo disminuye conforme aumenta el número de parcelas en el conglomerado.

Tabla 3. Resumen de las estimaciones para la variable volumen según tamaño de parcela y número de parcelas por conglomerado

Tamaño de las parcelas	N° Parcela por Conglomerado	Promedio para el Volumen (m³/ha)	Desviación Estándar (m³/ha)	Error de Muestreo (%)	Límite Inferior (m³/ha)	Límite Superior (m³/ha)	Diferencia Porcentual entre Promedios	Diferencia Porcentual entre Errores de Muestreo
500 m²	1	88.76	124.80	35.7	57.08	120.44	-14%	49%
	2	94.56	95.95	25.8	70.21	118.92	-8%	7%
	3	101.53	101.04	25.3	75.88	127.18	-1%	5%
	4	95.78	87.09	23.1	73.67	117.89	-7%	-4%
1000 m²	1	88.64	116.49	33.4	59.07	118.21	-14%	39%
	2	101.92	149.78	37.3	63.90	139.95	-1%	55%
	3	104.70	127.06	30.8	72.44	136.95	2%	28%
	4	96.13	100.28	26.5	70.67	121.58	-6%	10%
2500 m²	1	91.34	112.85	31.4	62.69	119.98	-11%	31%
	2	98.31	115.82	29.9	68.91	127.71	-4%	25%
	3	104.64	107.64	26.1	77.32	131.97	2%	9%
	4	99.56	94.33	24.1	75.62	123.51	-3%	0%
5000 m²	4	102.76	97.12	24.0	78.11	127.42	0%	0%

F m : valor muestral de la prueba de Fisher (dócima de igualdad de medias)

Dado que no existen diferencias significativas en la estimación de las medias, y que la diferencia entre los volúmenes medios estimados con parcelas de 500 m² no superan el 14% respecto a las estimaciones realizadas con 4 parcelas de 5000 m², debe considerarse si efectivamente al trabajar con un grupo de parcelas (conglomerado) de gran tamaño se está logrando una mayor eficiencia en la estimación de las variables de interés, vale decir, se logra un equilibrio entre una mejor precisión y un menor costo.

Análisis del error total del inventario

En la tabla 4 se presenta el promedio de las diferencias porcentuales entre el valor real y el valor estimado para el stock de CO_{2eq} de las 50 parcelas analizadas. En el caso de errores en la determinación del DAP y la altura, las menores diferencias porcentuales están dadas cuando el error cometido es de tipo aleatorio debido a la compensación entre errores positivos y negativos. Errores de medición de las variables de los árboles DAP, altura, diámetro de copa se pueden dar por varias razones, entre ellas, por error de instrumentos, error de registro, error debido a la naturaleza del objeto siendo medido (Samalca, 2007). En el caso del DAP

los errores vinculados con el árbol se relacionan principalmente a su forma; los errores relacionados con el instrumento de medición dependen del material con que están fabricadas así, en las cintas diamétricas metálicas el error es imperceptible, en las cintas hechas con tela o fibra de vidrio, puede existir cierto error dependiendo del uso continuo y del estiramiento al que son sometidas, este error se puede evitar verificando las cintas contra una medida estándar y en el caso de las forcípulas están sujetas a tener más errores que las cintas, ya que se pueden dañar fácilmente (León, 2006).

Las mayores diferencias porcentuales se presentan cuando, además de cometer errores en la medición de DAP y altura, se producen errores en la estimación del volumen por una mala selección de la función a aplicar, obteniendo diferencias del orden del 65%; llama la atención en este caso que cuando el error en la medición del DAP es sistemático negativo (subestimación), independientemente del tipo de error en la medición de altura la diferencia promedio máxima detectada es de 3.27%. La máxima diferencia positiva (sobreestimación) es de 64.88% (DAP-H-V con error sistemático positivo tanto en la determinación del DAP como de la Altura) y la máxima diferencia negativa (subestimación) es de 30.65% (DAP-H con error sistemático negativo tanto en la determinación del DAP como de la Altura).

Tabla 4. Diferencias porcentuales promedio en la estimación del stock de CO₂eq según error cometido

Acumulaciones de errores	Combinación de errores en DAP y Altura								
	Da/Ha	Da/Hs+	Da/Hs-	Ds+/Ha	Ds+/Hs+	Ds+/Hs-	Ds-/Ha	Ds-/Hs+	Ds-/Hs-
DAP	1.35%	-	-	26.90%	-	-	-23.49%	-	-
DAP-H	-1.00%	12.62%	-8.07%	-1.34%	38.65%	15.15%	-0.68%	-16.33%	-30.65%
DAP-H-V	48.79%	52.75%	43.76%	57.36%	64.88%	51.37%	2.47%	3.27%	1.78%
DAP-H-V-P	6.05%	3.68%	5.50%	8.05%	8.96%	7.33%	3.45%	3.83%	3.13%
DAP-H-V-P-D	13.04%	16.90%	-3.54%	19.10%	21.25%	-17.39%	8.17%	9.08%	-7.43%
DAP-H-V-P-D-FC	3.36%	3.72%	-2.75%	4.20%	4.67%	-3.13%	1.80%	2.00%	-1.34%
DAP-H-V-P-D-FC-S	17.16%	18.97%	-13.49%	21.43%	23.84%	-15.33%	9.17%	10.18%	-6.55%

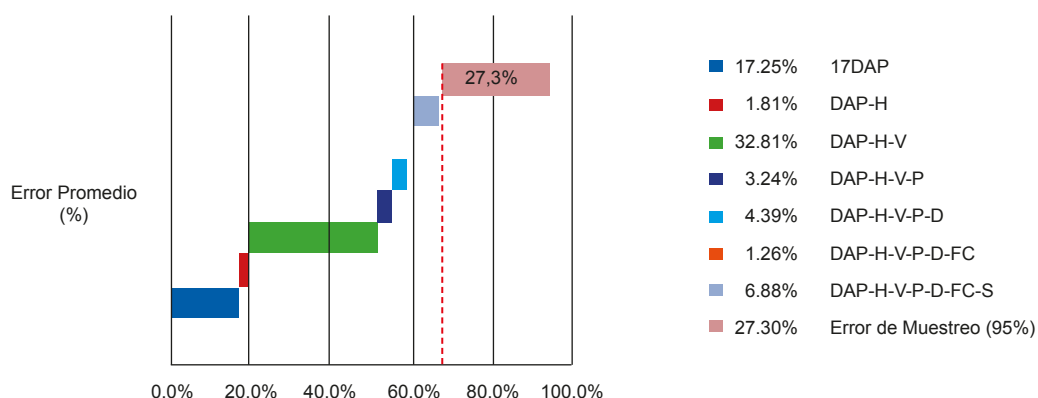
Para establecer el error ajeno al muestreo total y promedio, en la tabla 5 se calcula el valor absoluto de las diferencias estimadas a fin de detectar la real diferencia producida entre stock real y estimado y evitar la compensación de errores negativos y positivos. El mayor incremento en la acumulación de errores (44.37 ton CO_{2eq}/ha) se presenta cuando, además de cometer errores en la medición de DAP y altura, se producen errores en la estimación del volumen por una mala selección de la función a aplicar. Esto deja de manifiesto la importancia de contar con buenas funciones de volumen en la determinación de la biomasa total existente en los bosques. El promedio de la acumulación de los errores ajenos al muestreo promedio alcanza a 91.48 ton CO_{2eq}/ha.

Tabla 5. Valor absoluto de las diferencias promedio en la estimación del stock de CO_{2eq} según error cometido

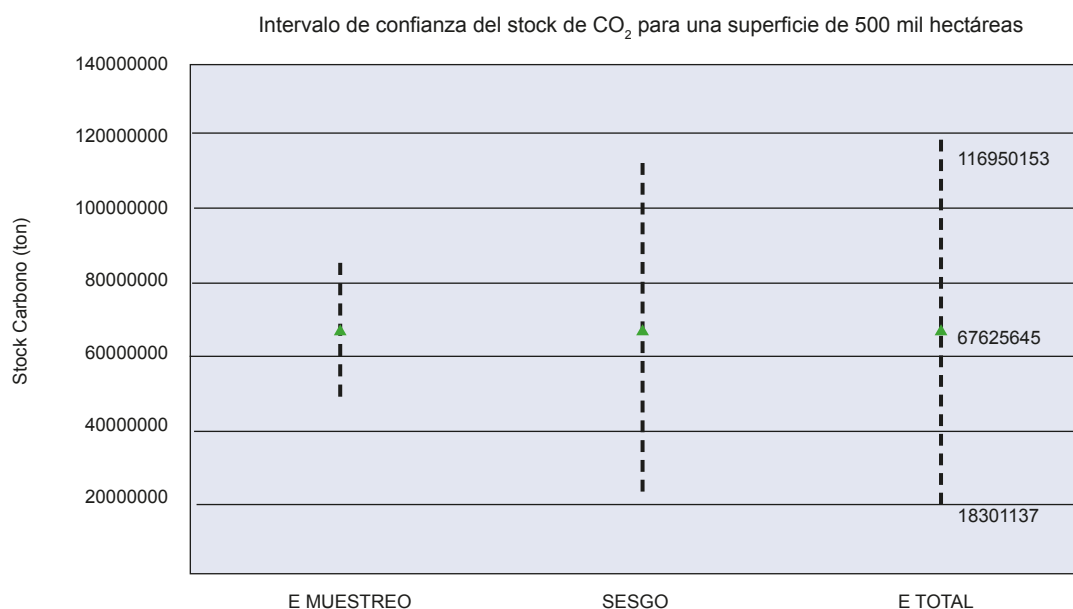
Acumulaciones de errores	Diferencia absoluta según combinación en errores de DAP y Altura (ton CO ₂ /ha)									Promedio (ton CO ₂ /ha)	Incremento en el error (ton CO ₂ /ha)
	Da/Ha	Da/Hs+	Da/Hs-	Ds+/Ha	Ds+/Hs+	Ds+/Hs-	Ds-/Ha	Ds-/Hs+	Ds-/Hs-		
DAP	1.83	-	-	36.38	-	-	31.77	-	-	23.33	23.33
DAP-H	0.48	17.07	10.92	34.57	52.27	20.49	32.69	22.09	41.46	25.78	2.45
DAP-H-V	66.47	88.41	48.27	112.15	140.02	89.97	29.36	17.66	39.04	70.15	44.37
DAP-H-V-P	74.66	93.39	55.71	123.05	152.14	99.88	24.69	12.49	34.81	74.53	4.38
DAP-H-V-P-D	92.29	116.25	50.92	148.88	180.88	76.37	13.64	0.21	44.85	80.48	5.94
DAP-H-V-P-D-FC	96.84	121.28	47.20	154.56	187.20	72.14	11.21	2.49	46.66	82.17	1.70
DAP-H-V-P-D-FC-S	120.05	146.93	28.95	183.54	219.44	51.40	1.20	16.27	55.52	91.48	9.30

Si bien el error de muestreo calculado asciende al 27.3% (36.92 ton CO_{2eq}/ha), dado que el sesgo (error ajeno al muestreo) puede alcanzar hasta un 67.64% (91.48 ton CO_{2eq}/ha) el error total cometido en el inventario podría llegar a un 72.94% (98.65 ton CO_{2eq}/ha).

Acumulación de errores ajenos al muestreo y error de muestreo



Por ende, si para una superficie de 500,000 ha se estima un total de 67,625,645 ton CO_{2eq} el intervalo de confianza generado en base al error de muestreo indicaría que el total de CO₂ almacenado en la biomasa aérea del bosque oscilaría entre 49,143,556 y 86,107,733 ton CO_{2eq}, en tanto que si se considera el error total entonces los límites de captura de CO_{2eq} oscilan entre un mínimo de 18,301,137 ton CO_{2eq} y un máximo de 116,950,153 ton CO_{2eq}.



Este análisis deja en evidencia que el efecto de los errores ajenos al muestreo en las estimaciones que se realicen son un elemento clave a considerar al momento de proporcionar la información de los bonos de carbono disponibles en el marco de cualquier sistema de monitoreo, reporte y verificación.

5. Conclusiones:

1. No existe evidencias de diferencias significativas entre las varianzas, para las variables número de árboles y volumen, obtenidas utilizando parcelas de 500, 1000 y 2500 m² en relación al uso de las parcelas originales de 5000 m².
2. No existe evidencias de diferencias significativas entre los valores promedio de número de árboles por hectárea y volumen por hectárea utilizando parcelas de 500, 1000 y 2500 m² en relación al uso de las parcelas originales de 5000 m².
3. No existe evidencias de diferencias significativas en la estimación del volumen por hectárea utilizando 1, 2, 3 o 4 parcelas por conglomerado ya sea de 500, 1000 o 2500 m² de superficie de parcela en relación al uso de las parcelas de 5000 m² en grupos de 4 parcelas por conglomerado.
4. En el caso más extremo, estadísticamente los resultados que se obtendrían con el uso de 1 parcela por conglomerado de 500 m², entregaría valores similares a los obtenidos con Unidades Muestrales de 4 parcelas de 5000 m² en la estimación del número de árboles y volumen de bosques de Coníferas, Latifoliadas y Mixtos.
5. Los errores ajenos al muestreo en las estimaciones que se realicen son un elemento clave a considerar al momento de proporcionar la información de los bonos de carbono disponibles en el marco de cualquier sistema de monitoreo, reporte y verificación.

6. Bibliografía:

1. Aldana, E., García, I., García, M. 2006. Muestro en Conglomerados para el Inventario de Plantaciones de *Pinus caribaea* y *Eucalyptus* sp. en la Unidad de Manejo 20 de Mayo EFI Macurije. *Revista Forestal Baracoa* 25 (1): 47-55.
2. Cancino, J. 1999. Métodos de muestreo aplicados a inventarios forestales. Proyecto de Desarrollo de la Docencia 97-116. Dirección de Docencia, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 203 p.
3. Cox, F. 1976. Estudio Metodológico de Inventario de Reconocimiento en Bosques Naturales. *Revista* 1 (2): 75-86.
4. ESNACIFOR/RS GIS LAB USU. 2010. Protocolo para el Mapeo de la Cobertura de Vegetación de Honduras. Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR);. GIS-Remote Sensing Laboratory, Utah State University (RS GIS LAB USU). 107 p. Documento Borrador.
5. FAO. 2009. Monitoreo y Evaluación de los Recursos Forestales Nacionales – Manual para la recolección integrada de datos de campo. Versión 2.2. Documento de Trabajo de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Forestales Nacionales, NFMA 37/S. Roma. 216 p.
6. Fonseca, L.; Ortiz, E.; Vílchez, B.; Chazdon, R. L. y M. Ortega. 2010. Tamaño óptimo de parcela para estimar biomasa en bosques de la Península de Osa, Costa Rica. Poster presentados en el XIII Congreso Agropecuario y Forestal CONAGROF 2010. 4, 5 y 6 de agosto de 2010, Hotel Ramada Plaza Herradura. San José, Costa Rica.
7. González, G.; Gallegos, A.; Hernández, E. y M. Morales. 2002. Evaluación del tamaño y forma de sitio de muestreo para inventarios forestales en bosques tropicales. Publicación Proyecto CONACYT 31808-B. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. México. 5 p.

8. Husch, B.; Beers, T. W. y J.A. Kershaw. 2002. Forest Mensuration. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 456 p.
9. Kleinn, C. 2002. Nuevas tecnologías y metodologías para los inventarios forestales nacionales. Unasylva 210 (53): 10-18.
10. Lagares, P. y J. Puerto. s.f. Población y muestra. Técnicas de muestreo. Proyecto Management Mathematics for European Schools. Universidad de Sevilla. 19 p.
11. León, H. 2006. Caracterización del Bosque de *Eucalyptus globulus* de la hacienda el Prado. Informe del Proyecto de Investigación presentado para optar al Título de Ingeniero Agropecuario. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias. ESPE-IASA I. Sede El Prado. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2566/1/T-ESPE-IASA%20I-003171.pdf>
12. Montgomery, D.C. 2005. Diseño y Análisis de Experimentos. Segunda edición. Editorial Limusa S.A. de C.V. México. 686 p.
13. Morales, E. 2005. Diseño experimental a través del análisis de varianza y modelo de regresión lineal. Primera edición. Consultora Carolina. Valdivia, Chile. 248 p.
14. Murillo, O. y P. Camacho. 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. Agronomía Costarricense 21(2): 189-206.
15. Orozco, L. y C., Brumér. 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. CATIE. Serie Técnica. Manual Técnico N° 50. Turrialba, Costa Rica. 264 p.
16. Pineda, P. 1996. Diseño y aplicación de un inventario forestal diversificado (productos maderable y no maderables) en Peten. CATIE. Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Postgrado. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Turrialba, Costa Rica. 116 p.

17. Prodan, M.; Peters, R. ; Cox F. y P. Real. 1997. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.

18. Ramírez, C. y J. Salgado. 2006. Resultados del inventario de bosques y árboles 2005-2006. Evaluación Nacional Forestal. Proyecto apoyo al inventario y evaluación nacional de bosques y árboles. TCP/HON/3001. Tegucigalpa, Honduras. 85 p.

19. Ríoz, N.; Acosta, V.; De Benítez, C. y M. Pece. 2000. Comparación entre métodos de muestreo. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 9 (1). 45-57.

20. Rodas, C. 2005. Inventario Forestal del Bosque Natural de la Comunidad Popular en Resistencia de Petén, “Comunidad Salvador Fajardo”, La Libertad, Petén. Trabajo de Graduación para optar al grado académico de Licenciado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Petén. Santa Elena, Petén. Guatemala. 75 p.

21. Samalca, I. 2007. Estimation of Forest Biomass and its Error. A case in Kalimantan, Indonesia. Tesis para optar al grado de Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation. International Institute for Geo-information Science and earth Observation. Enschede, Netherlands. 84 p.

22. Sorrentino, A. 1997. Manual para el diseño y ejecución de inventarios forestales. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S. R. L. Montevideo, Uruguay. 350 p.

23. Steel, R. y J. Torrie. 1992. Bioestadística. Principios y procedimientos. Segunda edición. Mc Graw Hill Interamericana de México. México, DF. 622 p.

24. Velasco, F. 2012. Comparación de dos métodos de muestro para la estimación de existencias maderables d un inventario forestal en Analco, Ixtlán, Oaxaca. Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca. 75 p.

Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Apartado Postal 755
Bulevar, Orden de Malta, Edificio GIZ,
Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, la Libertad
El Salvador, C.A.

T +503 2121-5100
F +503 2121-5101
E info@reddccadgiz.org
I www.giz.de
www.reddccadgiz.org



Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Apartado Postal 755
Bulevar, Orden de Malta, Edificio GIZ,
Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, la Libertad
El Salvador, C.A.

T +503 2121-5100
F +503 2121-5101
E info@reddccadgiz.org
I www.giz.de
www.reddccadgiz.org