

Reservas de Carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES

Programa Regional REDD/CCAD-GIZ











08 / 2015

➤ Volumen, Biomasa y Carbono Forestal

Reservas de Carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

INTEGRANDO ESFUERZOS PARA UN Programa Regional BUEN MANEJO DE LOS BOSQUES | REDD/CCAD-GIZ









Reservas de Carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Esta publicación presenta los principales elementos metodológicos utilizados para el cálculo de las reservas de carbono en la Cuenca del Canal de Panamá, en el marco de las actividades del Acuerdo de Cooperación Técnica entre la Autoridad del Canal de Panamá, la Autoridad Nacional del Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente) y la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional, con el apoyo 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 REDD/CCAD-GIZ
Oficina Registrada Apartado Postal 755
Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana,
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.reddccadgiz.org

Autoridad el Canal de Panamá (ACP) www.micanaldepanama.com

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)
Efraín Duarte - Consultor. Programa REDD/CCAD-GIZ (Sud-Austral Consulting SpA)
Michelle Szejner - Asesora Nacional para Panamá. Programa REDD/CCAD-GIZ
Lisbeth Karina Vergara P. - Especialista en Protección Ambiental, División de Ambiente. Autoridad del Canal de Panamá

Diseño Gráfico:

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

Agosto 2015

Componente: Monitoreo y Reporte

Área Temática: Volumen, Biomasa y Carbono Forestal

País: Panamá

ISBN 978-956-358-206-2



Reservas de Carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

By Programa REDD/CCAD-GIZ is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License. Creado a partir de la obra en www.reddccadgiz.org

. INTRODUCCIÓN •	7
MARCO TEÓRICO •	10
	2.1 Características del método de interpolación Ponderación de distancia inversa (IDW)
	2.2 Sintaxis de la herramienta IDW
	2.3 Aspectos relevantes del funcionamiento de IDW
. METODOLOGÍA •	3.1 Ubicación del área de estudio
	3.2 Fuentes de información primaria
	3.3 Análisis exploratorio de los datos
	3.4 Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra
	3.5 Estadísticas de la cobertura forestal y uso de l tierra de la cuenca del Canal de Panamá
	3.6 Aplicación de la herramienta IDW
·. RESULTADOS •	26 4.1 Datos de actividad
	4.2 Factores de emisión
	4.3 Mapa de CO ₂ e en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá
	4.4 Estadísticas de la distribución de carbono en la cuenca del Canal de Panamá
. CONCLUSIONES Y CIFRAS DE INTERÉS •	31
BIBLIOGRAFÍA •	33

C O N T E N I D O S

Figura 1.	Funcionamiento del IDW. •		14
Figura 2.	Mapa de ubicación general del área de estudio.		16
Figura 3.	Mapa de ubicación de las parcelas de los inventarios forestales realizados en la CHPC.	•	17
Figura 4	Parcela principal y subparcelas para el inventario forestal multipropósito.	•	18
Figura 5.	Histograma de los datos de inventario.		20
Figura 6.	Ajustes de los datos de inventario.		20
Figura 7.	Correlación de los datos de inventario.		20 21
Figura 8.	Clasificación de los datos de inventario.		21
Figura 9.	Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá.	•	22
Figura 10.	Ejemplo de la interpolación realizada en la CHCP utilizando como información base 96 parcelas procedentes de diferentes inventarios forestales.	•	24
Figura 11.	Ejemplo del análisis exploratorio de las características de variabilidad y correlación entre la variable del CO ₂ de las 96 Unidades de Muestreo utilizadas para modelar espacialmente el CO ₂ en la CHCP.		25
Figura 12.	Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra en la CHCP.		26
Figura 13.	Proporción de CO ₂ por Depósito en los distintos inventarios realizados en la CHCP.		27
Figura 14.	Factores de Emisión utilizados para la construcción del Mapa de Distribución espacial del ${\rm CO_2e}$ de la CHCP.	•	28
Figura 15.	Mapa de CO ₂ e en la cuenca del Canal de Panamá.		29

- Tabla 1. Sintaxis de la herramienta IDW. 13
- Tabla 2. Estrato/unidades de Manejo (UM), descripción, tamaño y número de las parcelas.
- Tabla 3. Superficie y participación de la cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.
- Tabla 4. Distribución de carbono por tipo de cobertura de la Cuenca.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACP : Autoridad del Canal de Panamá

ANAM : Autoridad Nacional del Ambiente

CCAD : Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo

CHCP : Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

CMNUCC : Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el

Cambio Climático

GEI : Gases de Efecto Invernadero

GIZ : Deutsche Gesellschaft für Internationale

Zusammenarbeit

IDW : Ponderación de Distancia Inversa

MRV : Monitoreo Reporte y Verificación

MIAmbiente : Ministerio de Ambiente

PIEA : Programa de Incentivos Económicos Ambientales

REDD+ : Reducción de las emisiones debidas a la deforestación;

la reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal; la conservación de las reservas forestales de carbono; la gestión sostenible de los bosques; y el incremento de las reservas forestales de carbono.

REDD/CCAD-GIZ: Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación

y Degradación de Bosques en Centroamérica y

República Dominicana

SICA : Sistema de la Integración Centroamericana

SIG : Sistema de Información Geográfica

UM : Unidad de Manejo

Los bosques son uno de los principales elementos que almacenan grandes cantidades de carbono a nivel mundial, y por ende, de su dinámica depende en gran medida el incremento o decrecimiento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera. Para conocer esta dinámica y generar información para la toma de decisiones es importante conocer los volúmenes de biomasa y carbono que los bosques almacenan. Representar la distribución espacial de las reservas de carbono a través de mapas supone un reto para los especialistas en esta temática, debido fundamentalmente a que la diversidad y riqueza de los bosques (como la mayoría de los recursos naturales) se distribuyen en el espacio de forma muy heterogénea y la medición completa de un área de estudio al cien por ciento supone costos muy elevados.

Las reservas de carbono de la cobertura forestal son altamente variables, y dependen de variables como la especie forestal, el tipo de suelo, la posición geográfica, la pendiente del terreno, entre otras. Esta situación conduce a que se requiera de grandes esfuerzos para cuantificarlas, ya que un muestreo limitado resultará en estimaciones erróneas del carbono almacenado en los bosques, así como de su distribución espacial y de otros análisis relacionados como las variaciones en biomasa, composición del bosque, entre otros.

El análisis y la modelación del contenido de biomasa y carbono en los bosques, y de la cobertura de la tierra en general, suponen la aplicación de nuevas tecnologías que han surgido en los últimos años y metodologías que hacen uso de sistemas de información geográfica (SIG) mediante análisis geoespaciales. Estas tecnologías y aplicaciones metodológicas permiten estimar el comportamiento y distribución espacial del carbono almacenado.

La Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), a través del Programa Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ), junto a la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), y la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM, hoy Ministerio de Ambiente), suscribieron el año 2012 un Acuerdo de Cooperación Técnica destinado a generar experiencias piloto relacionadas con los bosques y el Cambio Climático en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP). El objetivo general del acuerdo apunta a mejorar las condiciones marco para ejecutar mecanismos de compensación para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) provenientes de la tala y degradación de bosques en los países miembros del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA).

Nota Técnica Nº 12

Dentro del marco de las actividades previstas en el citado Acuerdo, se encuentra la cuantificación de las reservas de carbono (stock) en los bosques naturales de la cuenca del Canal de Panamá. Para materializar esto, desde el año 2013 se iniciaron las actividades de campo y análisis de la cartografía disponible (imágenes satelitales de alta resolución), a fin de elaborar un mapa de cobertura forestal y uso de la tierra que sirviera de base para estimar y representar geográficamente las reservas de carbono contenidas en los distintos depósitos asociados al área boscosa de la cuenca.

Una vez conceptualizados los procesos se iniciaron actividades de mediciones en campo, a través de un inventario forestal multipropósito, en donde se midió la biomasa aérea y el contenido de carbono en suelos, entre otros parámetros, a través de 49 parcelas establecidas en diferentes categorías de bosques, 37 parcelas establecidas en áreas del Programa de Incentivos Económicos Ambientales (PIEA) y 10 parcelas medidas en módulos demostrativos de enriquecimiento de matorrales.

Ambos procesos, la elaboración del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra, así como el inventario forestal multipropósito, se complementan mutuamente. Por una parte, los datos recopilados en las parcelas del inventario permitieron la validación de las categorías asignadas a los diferentes tipos de bosque en el mapa, y a su vez, el mapa se convirtió en una herramienta relevante para la planificación del inventario, especialmente en la localización y distribución de las parcelas de muestreo.

Conjugando la información capturada en terreno como parte del proceso del Inventario de Bosques Naturales de la CHCP (desarrollado en 2014 y 2015), los resultados del premuestreo de CO2 del Proyecto Establecimiento de Cobertura Vegetal Protectora certificado bajo Gold Standard (realizado en 2014), y el mapa de cobertura forestal y uso de suelo generado a partir de imágenes RapidEye del año 2014, se modeló la distribución del carbono total almacenado en la CHCP. Los insumos base indicados son producto de actividades desarrolladas en el marco del Acuerdo de Cooperación Técnica ACP-ANAM-GIZ con el apoyo del Componente de Monitoreo Forestal del Programa Regional REDD/CCAD-GIZ.

La modelación se realizó a través de la aplicación de metodologías de interpolación y análisis geoestadístico utilizando la herramienta de Ponderación de Distancia Inversa (IDW).

En este contexto, se ha preparado un mapa que contiene como información implícita, el cálculo del CO₂e total para la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, la cual tiene una superficie aproximada de 343,517 hectáreas.

El objetivo general del presente trabajo fue modelar espacialmente la distribución de la reserva de carbono (CO₂e) almacenado en la cobertura boscosa, suelos y otros usos de la tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

Como objetivos específicos se plantearon:

- Sistematizar los datos procedentes del inventario de bosques naturales y el inventario para la evaluación de CO₂e de las áreas certificadas del PIEA utilizando formatos de datos compatibles para ser procesados con sistemas de información geográfica (SIG).
- Construir un modelo geoestadístico que permita relacionar los datos provenientes de los inventarios forestales con la información espacial del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá.
- Realizar la interpolación del carbono total distribuido en el área de estudio, mediante la utilización de la herramienta de interpolación de distancia inversa (IDW).
- Cuantificar los contenidos de CO₂e total y CO₂e promedio por hectárea en las áreas atendidas por el Programa de Incentivos Económico y Ambientales en la jurisdicción de la CHCP.
- Presentar un análisis estadístico del CO₂e distribuido por tipo de bosque y uso de la tierra presente en la Cuenca del Canal de Panamá.

2. Marco Teórico

Las herramientas de interpolación de variables numéricas en el espacio geográfico crean una superficie continua o predicción a partir de valores de puntos de muestra distribuidos en el área de estudio que se desea analizar. Existen diferentes maneras de derivar una predicción para cada ubicación; cada método se denomina modelo. Con cada modelo se realizan diferentes suposiciones acerca de los datos, y algunos modelos son más aplicables para determinados datos; por ejemplo, un modelo puede dar cuenta de la variación local mejor que otro. Cada modelo produce predicciones usando diferentes cálculos (Universidad de Chile, 2008).

Las herramientas de interpolación, por lo general, se dividen en métodos determinísticos y de estadísticas geográficas. Los métodos determinísticos de interpolación asignan valores a las ubicaciones basándose en los valores medidos circundantes y en fórmulas matemáticas específicas que determinan la suavidad de la superficie resultante. Los métodos determinísticos incluyen IDW (ponderación de distancia inversa), vecino natural, tendencia y spline. Los métodos de estadísticas geográficas están basados en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación (la relación estadística entre los puntos medidos). Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no sólo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción sino que también proporcionan alguna medida de certeza o exactitud de las predicciones como por ejemplo el Kriging (Universidad de Chile, 2008).

La interpolación predice valores para las celdas de un archivo ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestras tomados en campo. Puede utilizarse para prever valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, en este caso el carbono distribuido en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

Los métodos comúnmente utilizados para la interpolación son el IDW, Kriging, vecino natural, spline, spline con barreras, etc (Universidad de Chile, 2008), los cuales tienen en común la predicción de valores en el espacio a partir de muestras distribuidas en el mismo. A continuación se describen brevemente estos métodos:

IDW. Sus siglas significan ponderación de distancia inversa. Esta herramienta
utiliza un método de interpolación que estima los valores de los pixeles
mediante el cálculo de los promedios de los valores de los puntos de datos
de muestra tomados en campo y que son utilizados como base para darle un
valor al vecino más cercano. Cuanto más cerca está un punto del centro de

la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio (Centro de recursos de Arcgis).

- Kriging. Es un procedimiento de estadísticas geográficas avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con valores dados por una malla de puntos de datos reales obtenidos en campo. Este método requiere una investigación más profunda del comportamiento espacial de la variable que se está interpolando (Universidad de Chile, 2008).
- Vecino natural. La interpolación de vecino natural halla el subconjunto de muestras de entrada más cercano a un punto de consulta y aplica ponderaciones sobre ellas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor (Sibson, 1981). También se conoce como interpolación de Sibson o de "robo de área".
- Spline. La herramienta Spline utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada o puntos de muestreo (González, 2000).
- Spline con barreras. La herramienta Spline con barreras utiliza un método similar a la técnica usada en la herramienta Spline, pero la principal diferencia es que esta herramienta distingue las discontinuidades codificadas tanto en las barreras de entrada como en los datos del punto de entrada (González, 2000).

2.1 Características del método de interpolación ponderación de distancia inversa (IDW)

- El valor de salida para una celda que utiliza la distancia inversa ponderada (IDW) se limita al rango de valores utilizados para la interpolación. Dado que la IDW es un promedio de distancia ponderada, el promedio no puede ser mayor que la entrada máxima o inferior que la entrada mínima. Está es una de las diferencias con el método Krigin que predice valores fuera de los límites de las muestras de entrada.
- Los mejores resultados de la IDW se obtienen cuando la muestra es lo suficientemente densa respecto de la variación local que intenta simular. Si la muestra de los puntos de entrada es dispersa, los resultados pueden no representar en forma suficiente la superficie deseada (Watson y Philip 1985).

- La influencia de un punto de entrada sobre un valor interpolado es isotrópica.
 Dado que la influencia de un punto de entrada sobre un valor interpolado se relaciona con la distancia, la IDW no "preserva la cresta" (Philip y Watson 1982).
- Algunos puntos de entrada pueden tener valores con las mismas coordenadas x, y; si los valores de los puntos de una ubicación común son los mismos, se consideran duplicados y no afectan a la salida. Si los valores son diferentes, se consideran puntos coincidentes y en algunos casos el primer punto coincidente encontrado se utiliza para el cálculo; en otros casos, se utiliza el último punto encontrado, es decir, lo escoge al azar, por lo tanto es recomendable quitar estos puntos coincidentes mediante una previa depuración.
- Esta herramienta tiene un límite de aproximadamente 45 millones de puntos de entrada. Si la clase de entidad de entrada contiene más de 45 millones de puntos, la herramienta puede fallar al crear un resultado.

2.2 Sintaxis de la herramienta IDW

Tabla 1. Sintaxis de la herramienta IDW

Parámetro	Explicación	Tipo de datos
in_point_features	Entidades de punto de entrada que contienen los valores que se interpolarán	Feature Layer
z_field	Campo que contiene un valor de la magnitud para cada punto.	Field
cell_size (Opcional)	Es el tamaño del pixel de salida del ráster o lo que llamamos resolución espacial.	Analysis Cell Size
power (Opcional)	El exponente de distancia. Controla la significancia de los puntos circun- dantes sobre el valor interpolado. Una potencia mayor tiene como resultado una influencia menor de los puntos lejanos.	Double
search_radius (Opcional)	Define cuáles de los puntos de entrada se utilizarán para interpolar el valor para cada celda en el ráster de salida.	Radius
	Hay dos tipos de clases de radios: Radius Variable y Radius Fixed. Un radio de búsqueda variable se utiliza para encontrar una cantidad específica de puntos de muestra de entrada para la interpolación. El tipo fijo utiliza una distancia fija especificada dentro de la cual todos los puntos de entrada se utilizarán para la interpolación. El tipo variable es la opción predeterminada.	
	 Radius Variable: es un valor entero que especifica la cantidad de puntos de muestra de entrada más próximos que se utilizarán para realizar la interpolación. El valor predeterminado por el programa es 12 puntos. 	
	 Max Distance: especifica la distancia, en unidades de mapa, mediante la cual se limitará la búsqueda de los puntos de muestra de entrada más cercanos. El valor predeterminado es la longitud de la extensión de la diagonal. 	
	 Radius Fixed: especifica la distancia como un radio dentro del cual los puntos de muestra de entrada se utilizarán para realizar la interpo- lación. El valor del radio se expresa en unidades de mapa. El radio predeterminado es cinco veces el tamaño del ráster de salida. 	
	 Min Number of Points: un entero que define la cantidad de puntos mínima que se utilizará para la interpolación. El valor predeterminado es 0. Si el número de puntos requerido no se encuentra dentro de la distancia especificada, la distancia de búsqueda aumentará hasta que se encuentre la cantidad mínima de puntos especificada. 	
in_barrier_polyline_features (Opcional)	Entidades de polilínea que se utilizarán como corte o límite en la búsqueda de puntos de muestra de entrada (Centro de recursos de Arcgis)	Feature Layer
out_raster	Ráster de superficie interpolado de salida.	Raster

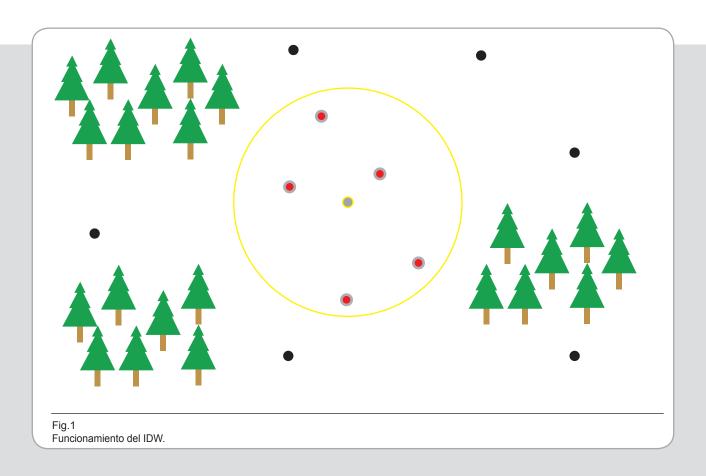
Fuente: Centro de recursos de Arcgis.

2.3 Aspectos relevantes del funcionamiento de IDW

La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación (Centro de recursos de Arcgis).

Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra, es decir, que una parcela de inventario tendrá menos influencia sobre los datos de carbono entre más se alejado este de ella el punto analizado.

El método IDW está basado principalmente en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática. El parámetro potencia le permite controlar la significancia de puntos conocidos en los valores interpolados basándose en la distancia desde el punto de salida. (Flores, 2011).



Nota Técnica Nº 12

Al definir un valor de potencia más alto, se puede poner más énfasis en los puntos más cercanos. Entonces, los datos cercanos tendrán más influencia y la superficie tendrá más detalles (será menos suave). A medida que aumenta la potencia, los valores interpolados comienzan a acercarse al valor del punto de muestra más cercano. Al especificar un valor más bajo de potencia, los puntos circundantes adquirirán más influencia que los que están más lejos, lo que resulta en una superficie más suavizada.

Las características de la superficie interpolada también pueden controlarse limitando los puntos de entrada que se utilizan en el cálculo de cada valor de celda de salida. Limitar la cantidad de puntos de entrada considerados puede mejorar la velocidad de procesamiento. También se debe tener en cuenta que los puntos de entrada que están lejos de la ubicación de la celda donde se realiza la predicción pueden tener escasa o ninguna correlación espacial, esto puede ser una razón para eliminarlos del cálculo que se desea hacer. Puede especificar la cantidad de puntos a utilizar directamente o especificar un radio fijo dentro del cual se incluirán los puntos en la interpolación (Centro de recursos de Arcgis).

Con un radio de búsqueda variable, se especifica la cantidad de puntos utilizados para calcular el valor de la celda interpolada, lo que hace que la distancia del radio varíe para cada celda interpolada según qué tan lejos deba buscar alrededor de cada celda interpolada para alcanzar la cantidad especificada de puntos de entrada. Entonces, algunas vecindades serán pequeñas y otras grandes, según la densidad de los puntos medidos cerca de la celda interpolada. También puede especificar una distancia máxima (en unidades de mapa) que el radio de búsqueda no debe sobrepasar. Si el radio de una vecindad determinada alcanza la distancia máxima antes de obtener la cantidad especificada de puntos, la predicción de esa ubicación se realizará basada en la cantidad de puntos medidos dentro de la distancia máxima. Por lo general, utilizará vecindades más pequeñas o una cantidad mínima de puntos cuando el fenómeno tiene una gran cantidad de variación.

3. Metodología

Ubicación del área de estudio 3.1

El área de estudio se encuentra ubicada en la República de Panamá, específicamente en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, la cual tiene una superficie aproximada de 343,517 ha.

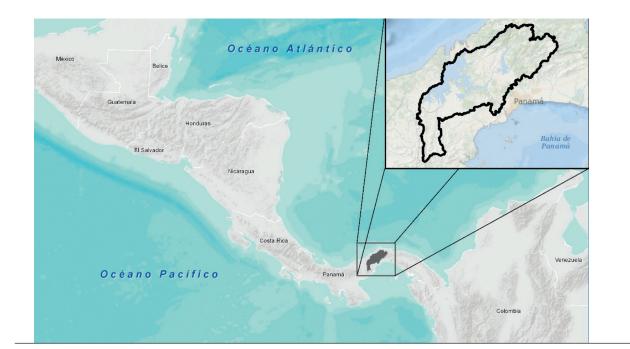


Fig.2 Mapa de ubicación general del área de estudio.

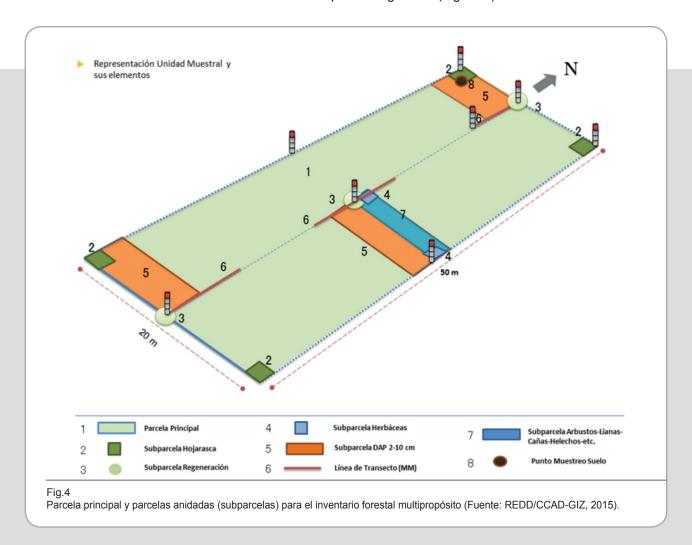
3.2 Fuentes de información primaria

Para realizar el mapa de distribución espacial del carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá se utilizaron los datos de 49 parcelas medidas en terreno como parte del Inventario de Bosques Naturales (2015), 37 parcelas



medidas en las áreas del Proyecto Establecimiento de Cobertura Vegetal Protectora (PA-ACP) ¹, certificado bajo Gold Standard, establecidas a través del Programa de Incentivos Económicos Ambientales (2014) y 10 parcelas medidas en las áreas piloto de enriquecimiento de matorrales (2014).

El tipo de unidad de muestreo utilizada fue propuesta por el Programa REDD/ CCAD-GIZ considerando la experiencia regional y consiste en una parcela principal y parcelas anidadas para la determinación del stock de carbono para cada componente reconocido como sumidero, así como para evaluar parámetros de biodiversidad de especies vegetales. (Figura 4).



¹ http://www.climateprojects.info/PA-ACP/

A continuación se presenta información general de la unidad de muestreo por tipo de cobertura o modalidad de reforestación:

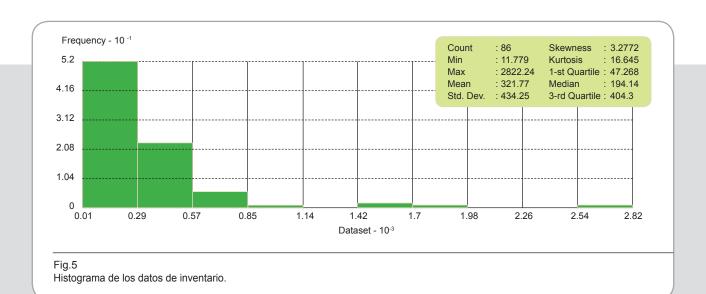
Tabla 2. Estrato/unidades de Manejo (UM), descripción, tamaño de parcela y número de las parcelas

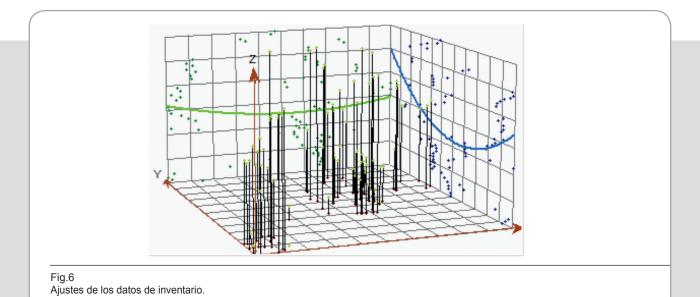
Estrato bosque natural/UM PIEA	Tamaño parcela	Tamaño parcela	Número parcelas
Cobertura arbórea madura	Árboles mayores a 20 m de altura, con tres o más estratos bien definidos y árboles emergentes.	20 x 50 m	15
Cobertura arbórea secundaria avanzada	Vegetación leñosa mayor a 20 m de altura, que presenta dos o más estratos verticales bien definidos.	20 x 50 m	10
Cobertura arbórea secundaria temprana	Vegetación leñosa mayor a 5 m de altura, que consta de un solo estrato vertical sin diferenciación	20 x 50 m	10
Cobertura arbórea secundaria intermedia	Vegetación leñosa con características intermedias entre la cobertura secundaria joven y secundaria avanzada.	20 x 50 m	8
Cobertura arbórea caducifolia	Vegetación leñosa mayor a 20 m de altura, que presenta dos o más estratos verticales bien definido con árboles emergentes presentes. Durante la época seca más del 70% de los arboles pierden sus hojas.	20 x 50 m	6
Comercial	Plantaciones comerciales, generalmente de teca (Tectona grandis)	20 x 50 m	10
Conservación	Áreas reforestadas con especies nativas para recuperar sitios cercanos o dentro de áreas protegidas.	20 x 50 m	10
Agroforestería	Plantaciones en sistemas agroforestales, en su mayoría de café con sombra.	20 x 125 m	8
Silvopastoril	Plantaciones en sistemas silvopastoriles, con pastos mejorados y árboles dispersos.	20 x 125 m	9
Matorral	Vegetación leñosa menor a 5 m de altura, que consta de un solo estrato vertical sin diferenciación	20 x 50 m	10

Fuente: REDD/CCAD-GIZ, 2015.

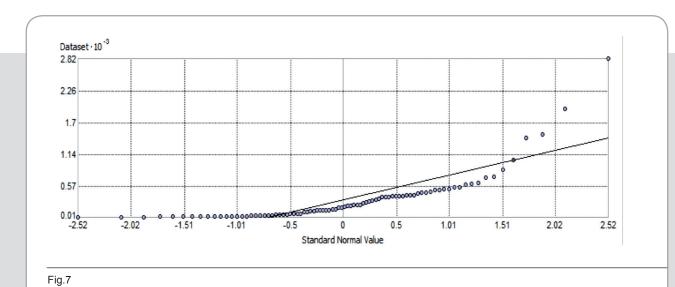
3.3 Análisis exploratorio de los datos

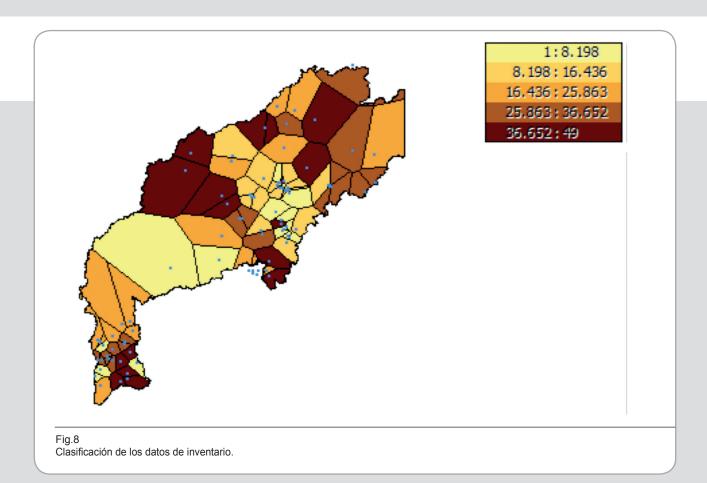
Con el objetivo de generar un análisis preliminar de los antecedentes proporcionados por los inventarios a cada variable de la información disponible de las 96 parcelas medidas en el terreno, se realizó un análisis con estadística descriptiva para visualizar número de clases, rangos de distribución, moda, mediana, varianza, desviación estándar, entre otros; ilustrando y entendiendo cada uno de ellos mediante gráficos, mapas, vista en perspectiva.





Reservas de Carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

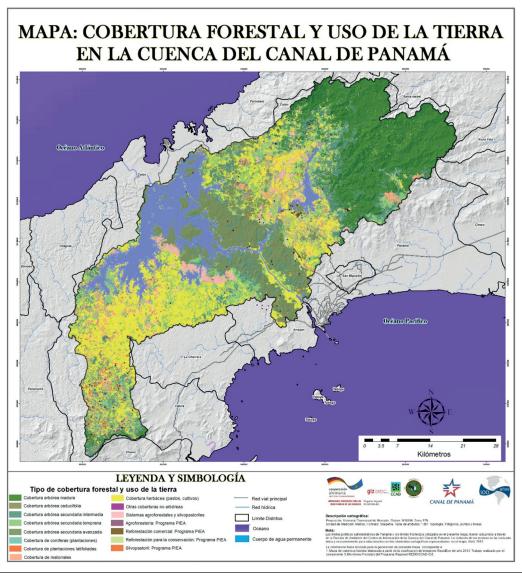




Correlación de los datos de inventario.

3.4 Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra

Para estimar la distribución de carbono en la cuenca se utilizó el mapa de cobertura forestal y uso de la tierra del año 2014 elaborado a partir de imágenes de alta resolución espacial del año 2014 del sensor RapidEye. Este mapa consta de 16 categorías entre boscosas y coberturas sin vegetación.



Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá. Fuente: REDD/CCAD-GIZ, 2014.

3.5 Estadísticas de la cobertura forestal y uso de la tierra de la cuenca del Canal de Panamá

Derivado del mapa forestal se obtuvo que la superficie de bosque en el área de la cuenca es de 195,771.9 hectáreas equivalente al 57% de la superficie total de la cuenca. De esta cobertura boscosa la cobertura arbórea madura es la que ocupa el máximo porcentaje con 20.3%. De las coberturas no boscosas, la cobertura herbácea (pastos, cultivos) es la que cubre la mayor superficie ocupando el 21.2% de la superficie total. A continuación se presentan los resultados para cada una de las categorías de cobertura y uso de la tierra de la Cuenca del Canal de Panamá.

Tabla 3. Superficie y participación de la cobertura forestal y uso de la tierra en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Cobertura/uso	Superficie [ha]	Participación [%]
Cuerpos de agua interior	42,455.7	12.4%
Cobertura arbórea caducifolia	322.7	0.1%
Cobertura arbórea madura	69,678.0	20.3%
Cobertura arbórea secundaria avanzada	47,393.3	13.8%
Cobertura arbórea secundaria intermedia	34,214.2	10.0%
Cobertura arbórea secundaria temprana	43,995.0	12.8%
Cobertura de plantaciones de coníferas	61.3	0.0%
Cobertura de matorrales	22,654.2	6.6%
Cobertura de plantaciones latifoliadas	107.4	0.0%
Cobertura herbácea (pastos, cultivos)	72,816.7	21.2%
Otras coberturas	1.8	0.0%
Sistemas agroforestales y silvopastoriles	6,390.1	1.9%
* Agroforestería: Programa PIEA	1,052.0	0.3%
*Reforestación comercial: Programa PIEA	287.2	0.1%
*Reforestación para la conservación: Programa PIEA	840.8	0.2%
*Silvopastoril: Programa PIEA	1,081.4	0.3%
TOTALES	343,351.9	100.0%

Fuente: REDD/CCAD-GIZ, 2014.

² La superficie asociada al programa PIEA cuantificada en el presente mapa corresponde única y exclusivamente a las áreas que se encuentra localizadas dentro del límite oficial de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, dicha superficie es de 3,261 ha. La superficie total del PIEA al año 2014 corresponde a 5,996 ha de las cuales 1,995 ha corresponden a Agroforestería, 720 ha Reforestación comercial, 670 ha reforestación para Conservación y 2,611 ha para Silvopastoril (Fuente: ACP, 2014).

3.6 Aplicación de la herramienta IDW

La idea principal de la Geoestadística, es que a través de un conjunto de muestras en terreno se pueda realizar una descripción y caracterización de las variables, basados en dos principios; entregar valores estimados del lugar y que estos valores posean iguales características que la dispersión original (Herrera, 2010).

La herramienta de interpolación utilizada para generar las superficies de predicciones de la distribución espacial del CO₂ utilizando como muestras las 96 parcelas de los diferentes inventarios forestales de la CHCP fue la Inverse Distance Weighting (IDW) (peso ponderado por el inverso de la distancia), de la extensión Spatial Analyst de ArcGis Desktop ©ESRI.

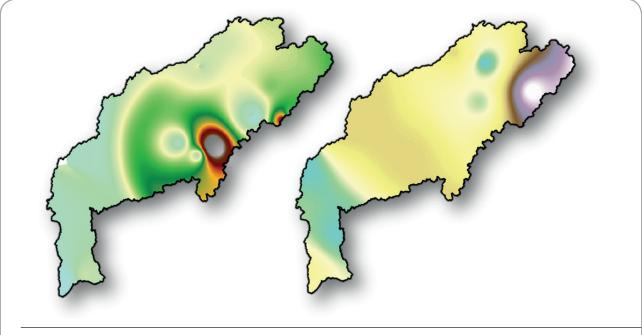


Fig.10
Ejemplo de la interpolación realizada en la CHCP utilizando como información base 96 parcelas procedentes de diferentes inventarios forestales.

El análisis de correlación espacial permitió conocer la dependencia espacial entre los datos medidos de una variable. Para conocer la correlación de la variable CO₂ procedente de los resultados de las mediciones de las 96 parcelas medidas en terreno, se utilizó la función semivariograma/covarianza de la superficie. El cálculo del semivariograma es una de las herramientas geoestadísticas

más importantes en la determinación de las características de variabilidad y correlación entre las variables que se desean interpolar, este análisis permite conocer cómo la variable cambia de una localización a otra. El semivariograma fue calculado en diferentes direcciones (360°) permitiendo seleccionar un modelo esférico para modelar e interpolar los datos.

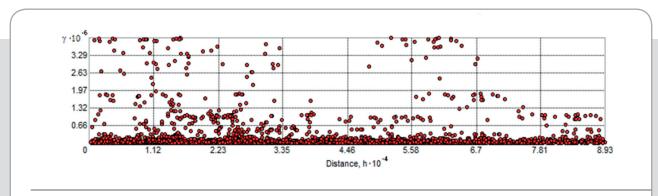
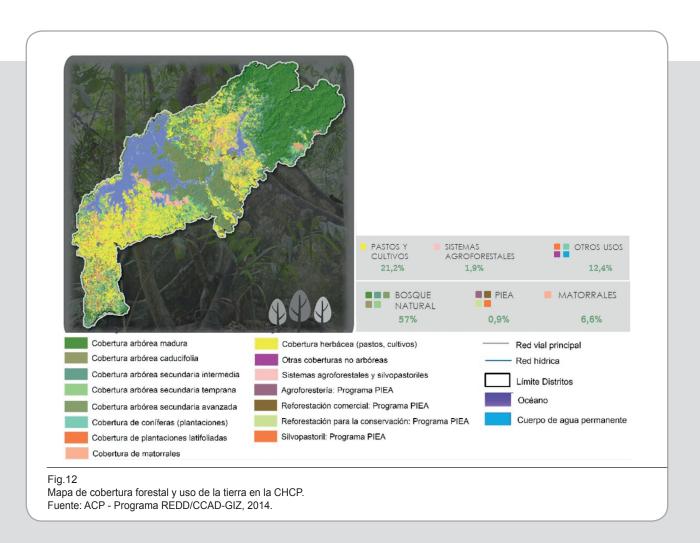


Fig.11
Ejemplo del análisis exploratorio de las características de variabilidad y correlación entre la variable del CO₂ de las 96 Unidades de Muestreo utilizadas para modelar espacialmente el CO₂ en la CHCP.

4. Resultados

4.1 Datos de actividad

Superficies por tipo de cobertura: Para la elaboración de un Mapa de Carbono se requiere inicialmente conocer las superficies según su cobertura y uso, lo que en el ámbito del Cambio Climático recibe el nombre de "Dato de Actividad" (Figura 12). Con posterioridad estos Datos de Actividad son relacionados con las existencias de carbono (stock) específicas disponibles para la cuantificación del carbono total en el área de interés.



Reservas de Carbono de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

4.2 Factores de emisión

Carbono por unidad de superficie: El siguiente insumo fundamental para determinar los contenidos de Carbono son los Factores de Emisión, básicamente son los stocks o contenidos de carbono por unidad de superficie. Para cada categoría de cobertura o uso se requiere el Factor de Emisión el que se extrae de los datos de inventarios.

Para el caso de la CHCP, los Factores de Emisión incluyen los 5 depósitos de carbono establecidos por IPCC, ya que en la totalidad de los inventarios realizados se han medido las variables necesarias para su determinación (Figura 13).

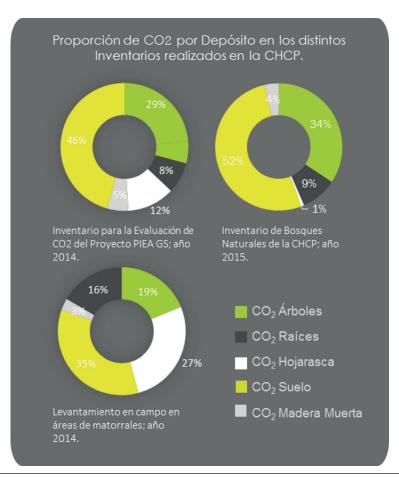


Fig.13
Proporción de CO₂ por Depósito en los distintos inventarios realizados en la CHCP.
Fuente: Inventario forestal multipropósito en la CHCP. ACP - Programa REDD/CCAD-GIZ, 2015.

Los Factores de Emisión utilizados para la construcción del Mapa de Distribución espacial del CO₂e de la CHCP fueron los siguientes (Figura 14):

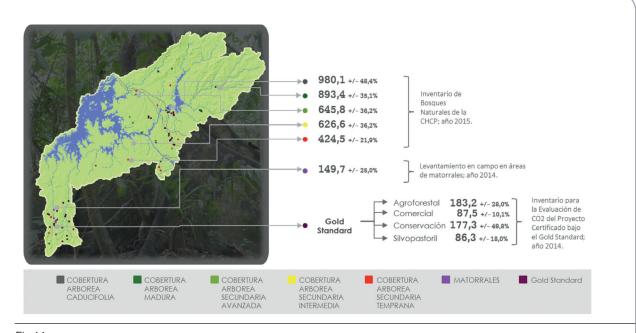
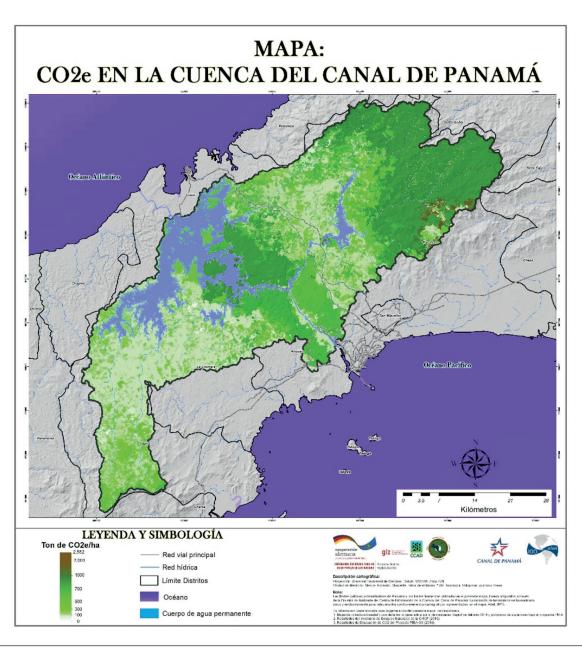


Fig.14
Factores de Emisión utilizados para la construcción del Mapa de Distribución espacial del CO₂e de la CHCP.
Fuente: Inventario forestal multipropósito en la CHCP. ACP - Programa REDD/CCAD-GIZ, 2015.

4.3 Mapa de CO₂e en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Relacionando los datos de actividad con los factores de emisión obtenidos es posible estimar las existencias de carbono para cada una de las categorías de uso de suelo de las que se cuenta con información y que corresponden a la cobertura vegetal existente en la CHCP. En este contexto, se generó un mapa que contiene como información implícita el cálculo del $\rm CO_2e$ total y el $\rm CO_2e$ promedio por hectárea para aproximadamente 45,000 polígonos que en su conjunto tienen una superficie aproximada de 343,517 ha (Figura 15).



Mapa de CO₂e en la cuenca del Canal de Panamá.

4.4 Estadísticas de la distribución de carbono en la cuenca del Canal de Panamá

La cuenca del canal de Panamá alberga una cantidad aproximada de 141,137,118 toneladas de CO₂e distribuidas en 16 categorías de cobertura y uso de la tierra, de las cuales el 40.6% de CO₂e corresponde a cobertura arbórea madura. A continuación se presentan los resultados finales del mapa de CO₂e de la CHCP.

Tabla 4. Distribución de carbono por tipo de cobertura de la Cuenca

Cobertura/uso	Stock Carbono [ton CO2e]	Participación [%]
Cuerpos de agua interior	0.0	0.0%
Cobertura arbórea caducifolia	244,138.4	0.2%
Cobertura arbórea madura	57,281,704.2	40.6%
Cobertura arbórea secundaria avanzada	31,315,754.2	22.2%
Cobertura arbórea secundaria intermedia	20,949,608.3	14.8%
Cobertura arbórea secundaria temprana	17,370,863.8	12.3%
Cobertura de coníferas (plantaciones)	7,484.0	0.0%
Cobertura de matorrales	4,048,357.7	2.9%
Cobertura de plantaciones latifoliadas	14,643.5	0.0%
Cobertura herbácea (pastos, cultivos)	8,709,500.3	6.2%
Otras coberturas no arbóreas	234.8	0.0%
Sistemas agroforestales y silvopastoriles	767,264.2	0.5%
Agroforestería: Programa PIEA	179,897.5	0.1%
Reforestación comercial: Programa PIEA	26,041.6	0.0%
Reforestación para la conservación: Programa PIEA	132,801.0	0.1%
Silvopastoril: Programa PIEA	88,825.2	0.1%
TOTALES	141,137,118.5	100.0%



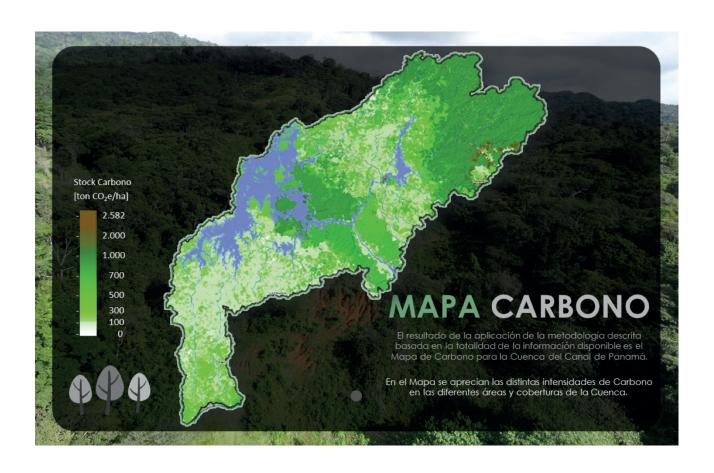
5. Conclusiones y Cifras de Interés



57% De la superficie de la CHCP está cubierta por bosques naturales. CARBONO EN BOSQUES 90% Del carbono en stock (CO2e) se encuentra almacenado en los bosques naturales de la CHCP. SUPERFICIE EN EL PIEA 1% De la superficie de la CHCP está integrada al Programa de Incentivos Económicos Ambientales. CARBONO EN EL PIEA 0,3% Del carbono almacenado en la CHCP es producto de la implementación del PIEA. SUPERFICIE DE MATORRALES **6,6%** De la superficie total de la CHCP se encuentra bajo la cobertura de matorrales. CARBONO EN MATORRALES 3%

Del carbono en existencia en la CHCP se encuentra almacenado en Matorrales.

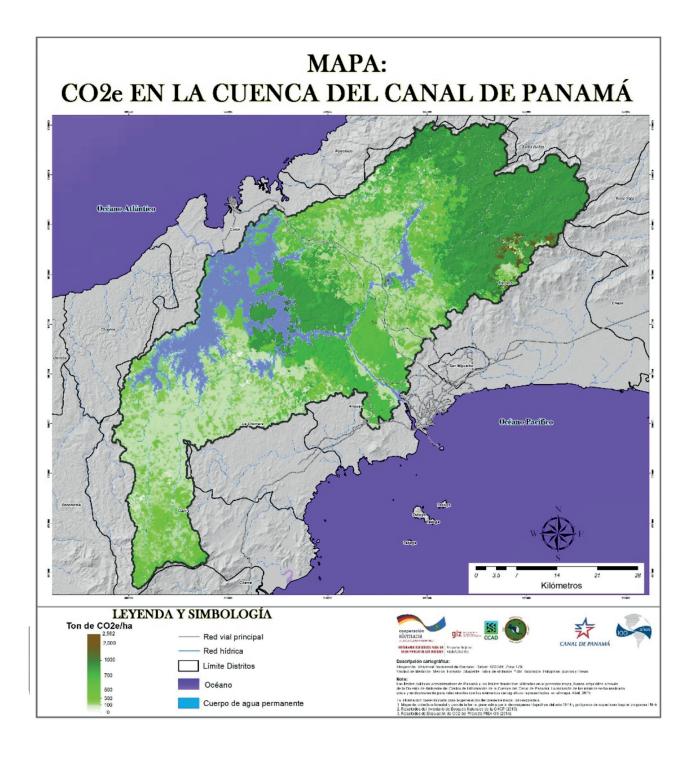
SUPERFICIE DE BOSQUES



6. Bibliografía

- ARGEL R., JUAN GABRIEL, 2012. Respuesta Espacial de la Productividad al Nivel Freático de la Finca El Paso en el Cultivo de Banano (Musa acuminata), Basado en el Uso de Sistemas de Información Geográfica, Tesis de grado presentada como requisito Para la obtención del título de Maestría en Sistema de Información Geográfica, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, 104 pp.
- ARCGIS ESRI. CENTRO DE RECURSOS. 2015. Análisis geoestadístico utilizando la herramienta IDW. En línea disponible. http://resources.arcgis. com/es/help/main/10.1/index.html/
- FLORES M, W.R. 2011. Caracterización morfoagronómica in situ de aguacate criollo (Persea americana Miller) adaptado a la zona costera de el salvador y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio, Universidad de El Salvador, 92 pp.
- GONZALEZ, C. 2000. Spline curvas y superficies, introducción al dibujo de curvas de aproximación e interpolación por computador 15 p. En línea disponible en: http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/AC/ splines.pdf
- HERRERA, V. 2010. Geoestadísticas en las áreas de prospección, medio ambiente y modelos de elevación. Universidad Tecnológica Metropolitana. México.
- 6. PESQUER M., L, et al. Integración en un SIG de métodos estadísticos, interpolación e imágenes de teledetección para la obtención mensual de datos meteorológicos validados p 1161-1170, en línea disponible en: http://www.creaf.uab.es/miramon/publicat/papers/CNTIG06/085%20-%20 Pesquer.pdf
- 7. PHILIP, G. M. Y D. F. WATSON. 1982. "A Precise Method for Determining Contoured Surfaces". Australian Petroleum Exploration Association Journal 22: 205–212.
- 8. PROGRAMA REDD CCAD/GIZ. 2015. Protocolo Inventario Forestal Multipropósito en la Cuenca del Canal de Panamá. Evaluación de Existencias en Ecosistemas Forestales. San Salvador, El Salvador. 60 pp.

- 9. PROGRAMA REDD CCAD/GIZ. 2014. Protocolo Mapa de Cobertura Forestal y Uso de la Tierra en la Cuenca del Canal de Panamá. San Salvador, El Salvador. 45 pp.
- 10. SIBSON, R, 1981. Brief description of natural Neighbor interpolation. Capítulo 2 de interpolating Multivariate data, 21-36. Nueva York. USA.
- 11. UNIVERSIDAD DE CHILE, 2008. Interpolación espacial y modelos digitales del terreno, Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad de Chile, 111-143p. En línea disponible en: https://www.u-cursos.cl/forestal/2008/2/ EF078/1/material_docente/bajar?id_material=479227
- 12. WATSON, D. F. Y G. M. PHILIP. 1985 "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation". Geoprocessing 2:315-327.



Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficina Registrada Apartado Postal 755 Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana, 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.redccadgiz.org



Programa Regional REDD/CCAD-GIZ

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficina Registrada Apartado Postal 755 Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana, 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.redccadgiz.org