

Estimación de contenido y captura potencial de carbono en diferentes coberturas vegetales en Coatzacoalcos, Veracruz, México

Estimation of content and potential carbon capture in different vegetation covers in Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico

Luis Enrique Ortega-Treviño*

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México (ITESM-CCM).
Grupo de Energía y Cambio Climático.

The Climate Reality Project.

Anabell Munguia Barcenas

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Adolfo Galicia Naranjo

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.

Karla Cruz Torres

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Verónica Reyero Hernández

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Erik Eliezer Velarde Meza

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.

Carlos Mallén Rivera

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria para la Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (INIFAP, CENID-COMEF).

*Autor para correspondencia: leot_lito@ciencias.unam.mx

Resumen

Se realizó una clasificación supervisada de cuatro imágenes de satélite para delimitar diferentes tipos de vegetación; reportando una superficie de 98.712 ha representadas por seis tipos de cobertura vegetal: selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria (32%), selva mediana subperennifolia abierta (22%), pastizal (23%), pastizal con arbustos (4%), suelo desnudo (16%) y vegetación arbustiva (3%). Se determinó la superficie ocupada por cada una de las clases y se generó el mapa base para dar paso al establecimiento de los sitios de muestreo anidado jerárquico estratificado y distribución sistemática. Se muestrearon 17 transectos de 50x10m dentro de estos tipos de cobertura, se identificaron 3,685 individuos de 67 especies, agrupadas en 30 familias de plantas (árboles y arbustos); que corresponden a la vegetación de tipo arbórea, resaltando las familias *Fabaceae* y *Malvaceae*. Para cada una de las especies registradas, se estimó el volumen expresado en m³, se identificó su densidad expresada en g/cm³, se determinó la biomasa, el contenido de carbono almacenado y se estimó la captura potencial de CO_{2e} por tipo de cobertura vegetal expresado en tCO_{2e}año⁻¹. Los resultados de la estimación del contenido de carbono y captura potencial por tipo de cobertura vegetal fueron los siguientes: el área del proyecto tiene un almacenamiento potencial de carbono de 7,190.91 tC para todas las coberturas vegetales y un potencial de captura de 368.45 tCO_{2e}año⁻¹ en toda el área del proyecto. La importancia de identificar los potenciales de las diferentes coberturas vegetales radica en que se puede dirigir una restauración con especies propias a corto, mediano y largo plazo a fin de incentivar la captura de carbono y la recuperación del entorno.

Palabras clave: Cambio climático, selva mediana subperennifolia, CO_{2e}, bióxido de carbono.

Abstract

A supervised classification of four satellite images was carried out to delimit different types of vegetation; reporting an area of 98,712 ha represented by six types of vegetation cover: medium sub-evergreen forest with secondary vegetation (32%), medium open sub-evergreen forest (22%), grassland (23%), grassland with shrubs (4%), bare soil (16%) and shrub vegetation (3%). The surface occupied by each one of the classes was determined and the base map was generated to give way to the establishment of the hierarchical stratified nested sampling sites and systematic distribution. 17 transects of 50 x 10m were sampled within these types of cover, 3,685 individuals of 67 species were identified, grouped in 30 families of plants (trees and shrubs); which correspond to tree-type vegetation, highlighting the *Fabaceae* and *Malvaceae* families. For each of the registered species, the volume expressed in m³ was estimated, its density expressed in g / cm³ was identified, the biomass, the stored carbon content was determined and the potential capture of CO_{2e} by type of vegetal cover was estimated in tCO_{2e}year⁻¹. The results of the estimation of the carbon content and potential capture by type of vegetation cover were as follows: the project area has potential carbon storage of 7,190.91 tC for all vegetation covers and a capture potential of 368.45 tCO_{2e} year⁻¹ throughout the project area. The importance of identifying the potentials of the different plant covers lies in the fact that a restoration with own species can be directed in the short, medium and long term in order to encourage carbon capture and recovery of the environment.

Keywords: Climate change, medium sub-evergreen forest, carbon dioxide.

Introducción

La preocupación por los problemas ambientales que se viven en la actualidad abarca diferentes lugares y regiones hasta alcanzar una escala mundial. Esto no es un asunto nuevo, y las consecuencias que antes parecían ser predicciones fatalistas, son ahora situaciones reales a las que nos enfrentamos y que tenemos que resolver de manera urgente e integral, como por ejemplo la contaminación del aire, agua y tierra, la erosión, el uso excesivo de combustibles fósiles, los incendios forestales y la deforestación; estas actividades de manera directa o indirecta, afectan a todos y cada uno de los ecosistemas, en particular a los forestales, acentuando procesos como el cambio climático global (IPCC, 2001).

El cambio climático global (CCG) es el resultado del incremento en la temperatura superficial del planeta (IPCC, 2001). Este fenómeno representa el problema ambiental más grave que enfrenta la humanidad en el presente siglo y es derivado del incremento en las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) provenientes de dos principales fuentes: a) el consumo de combustibles fósiles, y b) de procesos como la deforestación e incendios forestales; los GEI, se acumulan en la atmósfera y dan lugar al efecto invernadero. Para comprender la dinámica de acumulación e intercambio de GEI entre los componentes del sistema planetario como la atmósfera, la biosfera, la litosfera y la hidrosfera, es indispensable comprender el funcionamiento del ciclo global del carbono, identificando sus fuentes, flujos y almacenes (Ordóñez, 2012).

En los ecosistemas terrestres, los bosques representan importantes reservorios de carbono (C), porque son fuentes de mitigación o reducción de gases de efecto invernadero (GEI), en particular de bióxido de carbono (CO_2). Además, dentro de ellos se puede identificar a la vegetación y a los suelos como los depósitos (o almacenes) más significativos de este elemento químico. Sin embargo, cuando son perturbados o destruidos, las reservas de este elemento en la biomasa aérea son removidas de forma parcial o total del lugar de origen y posteriormente, transformadas en productos maderables o liberadas a la atmósfera por combustión o en un periodo más largo mediante descomposición microbiana (Ordóñez *et al.*, 2016).

Así mismo, los cambios en el uso del suelo que están transformando estos ecosistemas, modifican su papel dentro de la dinámica del carbono, por lo tanto, es necesario caracterizarlos y cuantificar los contenidos de carbono orgánico en estos almacenes. Dentro de la vegetación forestal, los estratos arbóreo y herbáceo reúnen la mayor biomasa y por lo tanto, de carbono; su capacidad de almacenamiento y captura dependen de la comunidad vegetal, el clima, la humedad, la especie, la calidad del sitio y la densidad, por ejemplo (Masera *et al.*, 1997; Tipper y De Jong, 1998; Hughes *et al.*, 2000).

En los ecosistemas terrestres, la vía más importante del flujo de carbono (C) atmosférico a la vegetación y el suelo debe ser biológica, por medio de la fotosíntesis y la descomposición, respectivamente. La incorporación de C al ciclo biológico se da por medio de la fotosíntesis, la cual produce energía bioquímica para los procesos fisiológicos y de formación de materia biológica (biomasa) a partir del CO_2 , energía radiante y nutrientes; este flujo de materiales involucra muchos procesos interactuantes, los cuales mantienen el equilibrio dinámico del intercambio de gases entre la atmósfera, las plantas y el suelo (Oliva y García-Oliva, 1998).

La productividad primaria derivada de la fotosíntesis neta, así como los flujos como la respiración heterotrófica (R_h) y la respiración autotrófica (R_a) y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, el humus estable y los productos que se obtengan del bosque son almacenes de carbono, mismos que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal (Figura 1).

El proceso comienza cuando el CO_2 es tomado directamente de la atmósfera y asimilado por las plantas a través de la fotosíntesis; dicho proceso se conoce como fotosíntesis gruesa. A la fotosíntesis gruesa después de la respiración, se le conoce como fotosíntesis neta, que representa la cantidad neta de C que entra al ciclo biológico. La tasa neta de fotosíntesis depende de las características fisiológicas de las especies que la realizan y de la disponibilidad de los otros recursos necesarios para llevarla a cabo (*e.g.*, nutrientes, radiación, agua, entre otros). Por ello, la tasa neta de fotosíntesis

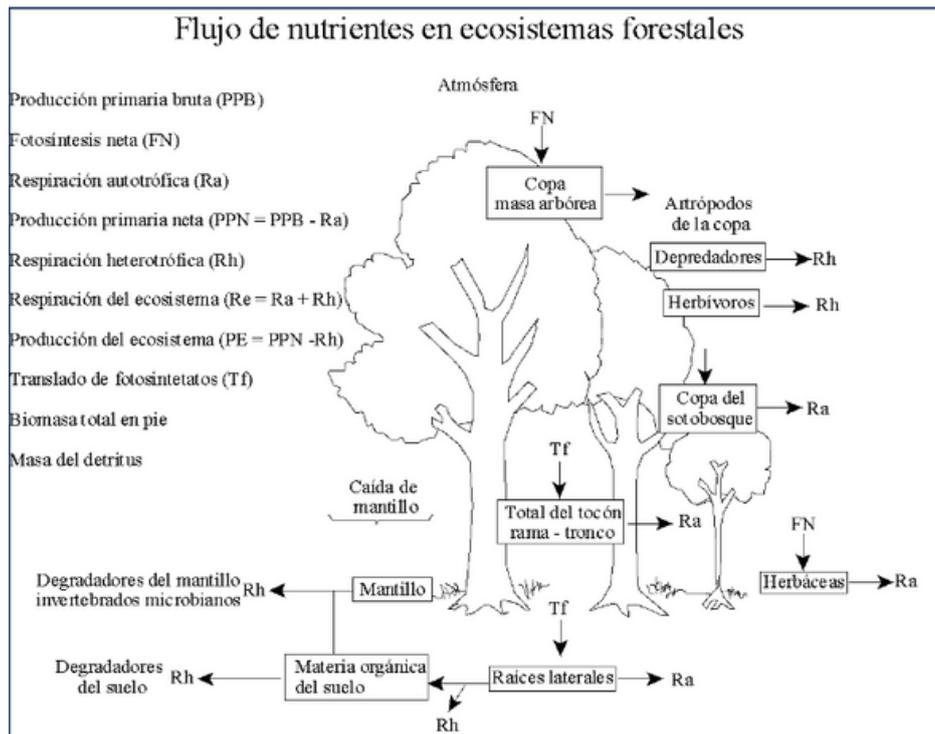


Figura 1. Productividad primaria derivada de la fotosíntesis y flujo de nutrientes en los ecosistemas forestales (modificado de Ordóñez, 2012).

depende de factores inherentes tanto a las plantas (fisiología de cada especie) como a los otros componentes del ecosistema (e.g.,suelo) (Salisbury y Ross, 1999).

De lo anterior, podemos concluir que las distintas especies vegetales (composición específica) presentes en un ecosistema son uno de los mecanismos que controlan el flujo del C en el sistema atmósfera planta - suelo, ya que cada especie tiene una eficiencia fotosintética característica (Ordóñez, 2012).

La modificación de la composición específica puede afectar la eficiencia fotosintética neta del ecosistema, por lo tanto, la cantidad de C que es incorporado al ciclo biológico. Pero no todo el CO₂ asimilado es transformado a biomasa, sino que una parte es regresada a la atmósfera por medio de la respiración que se lleva a cabo durante los procesos fisiológicos (Oliva y García-Oliva, 1998).

Existen procesos asociados a la modificación del paisaje y concretamente en el cambio en la cobertura vegetal y usos de suelo, como se aprecia alrededor del predio en cuestión. En este sentido, a las coberturas vegetales y usos de suelo en el área seleccionada, se les realizará una estimación del carbono almacenado en las diferentes clases de co-

bertura vegetal y el carbono que potencialmente puede ser capturado por el crecimiento de las especies vegetales que están presentes en el área (Ordóñez *et al.*, 2008 y 2016).

El objetivo de este trabajo de investigación es estimar el contenido y la captura potencial de carbono en diferentes coberturas vegetales presentes en el área de estudio en Coatazacoalcos, Veracruz, México,

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las Áreas Privadas de Conservación (APC) son zonas del territorio estatal de Veracruz que se caracterizan por tener ambientes que no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas o restauradas, y en donde los pequeños propietarios, ejidos y comuneros interesados podrán voluntariamente destinar los predios que les pertenezcan a acciones de preservación, conservación y restauración de los ecosistemas y su biodiversidad representados en el Estado mediante el uso de herramientas legales de conservación. Hasta noviembre de 2016, se tienen registradas 600

APC que cubren 21,786 hectáreas en Veracruz (SEDEMA, 2018).

El Área de Protección y Desarrollo de Ceratozamia (APDC) es un APC constituida a partir de la construcción de la planta de al descubrir que este proyecto tendría un impacto potencial en las especies. Dentro del APDC, se preservan y proliferan más de 100 hectáreas destinadas a la conservación e investigación de la biodiversidad. La conservación de las especies es de vital importancia, ya que todas forman parte del equilibrio ecológico que nutre y armoniza el sureste del estado de Veracruz, perpetuando su ecosistema natural (Braskem Idesa, 2016).

La elaboración de este estudio se realizó con un método combinado producto de la compilación y síntesis de métodos usados por varios autores (Brown y Roussopoulous, 1974; Castellanos *et al.*, 1991; Rentería, 1997; Maser *et al.*, 1997; Tipper and De Jong, 1998; Ordóñez, 1999; Escandón-Calderón *et al.*, 1999; De Jong *et al.*, 1999; Hughes *et al.*, 1999 y 2000; Brown and Delaney, 2000; Ahedo, 2001; De Jong, 2001; Maser *et al.*, 2001; Jaramillo *et al.*, 2003; Ordóñez *et al.*, 2008), el cual se resume en la figura 2.

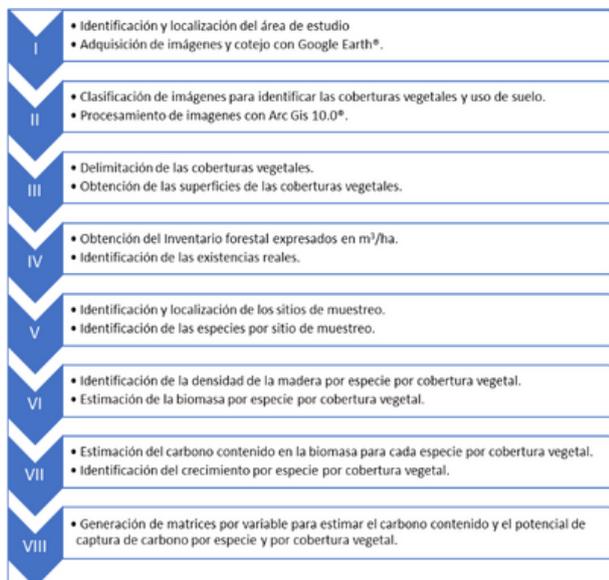


Figura 2. Método combinado utilizado en este estudio.

Identificación y localización del área de estudio

Se utilizó el software Arc Gis 10.0® y los mapas de la división política de INEGI, para realizar el mapa de localización del área del proyecto (Figura 3).

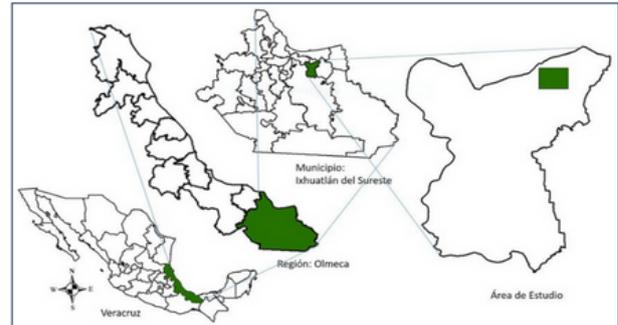


Figura 3. Localización del área del proyecto (Estados Unidos Mexicanos, Veracruz, Coatzacoalcos).

La digitalización del polígono del área del proyecto se realizó mediante una clasificación supervisada de cuatro imágenes de satélite, delimitando el área del proyecto y los diferentes tipos de vegetación; cada imagen tiene seis bandas de información y su proyección conforme al sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM). Se seleccionaron las imágenes más claras (sin nubes o polvos que interfieran en los vértices de la colindancia) y así delimitar el área del proyecto. Así mismo, se procesaron las imágenes con ArcGis 10.0® (Figura 4).

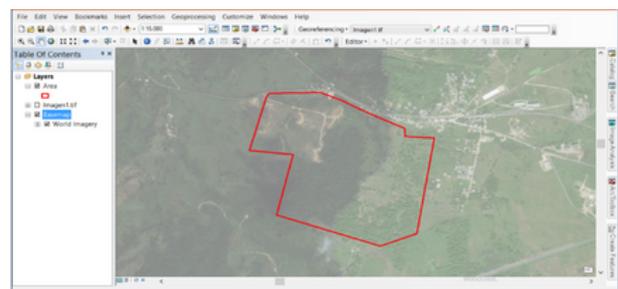


Figura 4. Captura de pantalla de la delimitación del área del proyecto.

Estimación de la biomasa

Se realizó el cálculo de biomasa por individuo, por especie, por transecto y por tipo de cobertura vegetal. La biomasa se define como la cantidad de materia orgánica (peso seco) acumulada en un individuo, en este contexto: vegetación. Para ello, se evaluaron 3,685 individuos de vegetación tropical pertenecientes a 68 especies de 30 familias presentes en el área del proyecto.

Cálculo de la biomasa por individuo de cada especie y por transecto

La biomasa se obtuvo multiplicando el volumen expresado en metros cúbicos por la densidad de la madera de cada uno de los individuos presentes por especie (Ecuación 1).

Ecuación 1

$$B = V * \rho$$

Donde:

B = Biomasa expresada en toneladas por individuo de cada especie.

V = Volumen expresado en metros cúbicos por individuo de cada especie.

ρ = Densidad de la madera expresada en toneladas sobre metro cúbico para cada individuo.

Una vez estimada la biomasa de cada individuo de cada especie, se suman todos estos valores para a saber el valor total de contenido de biomasa por cada transecto, se expresa en toneladas (Ecuación 2).

Ecuación 2

$$B_t = \sum_{i=1}^n B_{sp1} + B_{sp2} + B_{sp3} + \dots + B_{spn-1}$$

Donde:

B_t = Biomasa total por transecto

B_{sp} = Biomasa por individuo de cada especie

Biomasa por cobertura vegetal

La biomasa para cada una de las coberturas vegetales parte de la estimación de la biomasa por transecto y se extrapola a una hectárea; dónde se obtiene la biomasa promedio de cada una de las coberturas vegetales y se reporta como biomasa promedio por cobertura vegetal (Ecuación 3).

Ecuación 3

$$B_{cv} = \int \sum_{i=1}^n B_{t1} + B_{t2} + B_{t3} + \dots + B_{tn-1}$$

Estimación del contenido de Carbono

El carbono que constituye las estructuras del árbol hasta que este es remitido (al suelo o la atmósfera) se considera que se encuentra almacenado. La estimación de carbono concretamente se refiere a la cantidad de carbono fijado en la biomasa de estos individuos que se gana año con año, es decir, su crecimiento (Ordóñez, 2008).

Cálculo del contenido de Carbono por individuo de cada especie y por transecto

Para este proyecto se calculó el carbono almacenado por individuo de cada especie (CAsp) se calcula multiplicando la biomasa expresada en toneladas por la concentración de carbono: 0.5 (valor por defecto del IPCC, 2014), expresado por siguiente (Ecuación 4).

Ecuación 4

$$C_{Asp} = B * 0.5$$

Donde:

CAsp = carbono almacenado individuo por cada especie

B = biomasa expresada en toneladas por individuo por cada especie

0.5 = concentración de carbono (IPCC, 2014).

Una vez estimado el carbono almacenado por especie y delimitados los transectos en el área de estudio (17) con medidas de 10 x 50 m (500m²), se procedió a calcular el carbono almacenado por transecto (CA_t) expresado en toneladas de carbono por hectárea * utilizando la siguiente ecuación (Ecuación 5):

Ecuación 5

$$C_{At} = \sum_{i=1}^n C_{Asp1} + C_{Asp2} + C_{Asp3} + \dots + C_{Aspn-1}$$

Donde:

CA_t = carbono almacenado por transecto

CAsp = carbono almacenado por individuo de cada especie

*Se estimó el carbono almacenado para 500 m² la superficie de cada uno de los transectos, se extrapola a toneladas de carbono por hectárea para obtener la cantidad de carbono forestal por hectárea.

Carbono almacenado por cobertura vegetal

El carbono almacenado (CA) para cada una de las coberturas vegetales parte de la estimación de CA por transecto y se extrapola a una hectárea; dónde el CA es la suma promedio de los transectos que presentan cada una de las coberturas vegetales y se reporta como CA promedio por cobertura vegetal expresado en toneladas de carbono por hectárea (Ecuación 6).

Ecuación 6

$$C_{Acv} = \int \sum_{i=1}^n C_{At1} + C_{At2} + C_{At3} + \dots + C_{Atn-1}$$

Donde:

C_{Acv} = carbono almacenado por tipo de cobertura vegetal

CA_t = carbono almacenado por transecto

Estimación de la captura potencial de Carbono

La captura potencial del carbono se refiere se refiere al crecimiento que puede tener la vegetación en un año. Para estimarla, se promedia el crecimiento

anual de cada una de las especies que se presentan en ese tipo de cobertura vegetal (transecto) y se expresa en toneladas de carbono por hectárea al año (Ecuación 7).

Ecuación 7

$$cpC = ICA * sp * t$$

Donde:

ICA = promedio del Incremento Corriente Anual
sp = cada una de las especies presentes en el transecto
t= transecto

Estimación de Captura potencial de CO_{2e}

La captura de CO_{2e} se refiere a cuánto dióxido de carbono puede ser almacenado por la cobertura vegetal y se expresa en toneladas de dióxido de carbono por hectárea al año.

Teniendo en cuenta que: 1tC = 3.66 tCO_{2e}, entonces, para convertir una tonelada de carbono a una tonelada de dióxido de carbono se aplica la siguiente ecuación (Ecuación 8).

Ecuación 8

$$CO_{2e} = cpC * 3.66$$

Donde:

CpC: captura potencial de carbono expresada en toneladas por hectárea al año.
3.66 = la equivalencia de 1t de C en 1tCO_{2e}

Captura potencial de CO_{2e} por cobertura vegetal

Una vez obtenido el valor de captura potencial por hectárea para calcular la captura de toda cobertura vegetal se multiplica el valor obtenido por hectárea por la superficie total del tipo de cobertura vegetal y se expresa en toneladas por cobertura al año (Ecuación 9).

Ecuación 9

$$cpCO_{2e} = cpCO_{2e} * STcv$$

Donde:

cpCO_{2e}/ha = captura potencial de CO_{2e} por hectárea al año (valor unitario).
STcv= Superficie total por tipo de la cobertura vegetal.

Resultados y discusión

La identificación de las coberturas vegetales y uso de suelo se realizó mediante la foto interpretación

con base en la cobertura de vegetación visible desde el espacio con ayuda de Google Earth Pro® y la herramienta “Basemap”, identificándose las siguientes clases de cobertura vegetal y uso del suelo:

- a) Arbustivo abierto
- b) Pastizal
- c) Pastizal con arbustos
- d) Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria
- e) Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria abierto
- f) Suelo desnudo.

Las imágenes procesadas muestran los polígonos con las distintas coberturas vegetales, así como la superficie que ocupa cada clase (Figura 5).

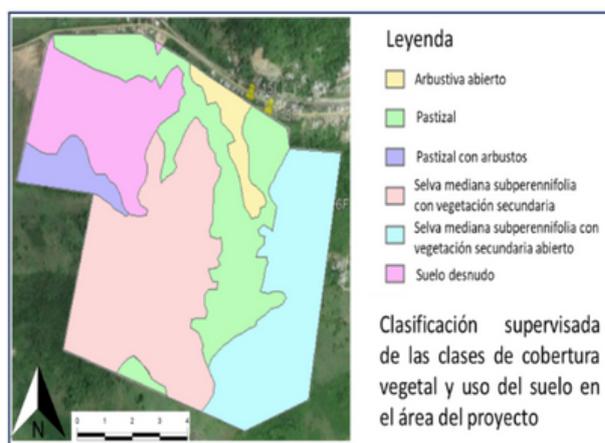


Figura 5. Identificación y delimitación de los tipos de cobertura vegetal presentes en el área de proyecto.

La delimitó las superficies de las coberturas vegetales presentes en el área de estudio y se obtuvo la superficie en hectáreas y el perímetro en metros por cada clase de cobertura, así como el porcentaje de cada una de estas. Las coberturas vegetales presentes en el área de estudio se describen en el siguiente cuadro (Cuadro 1).

Basados en la revisión bibliográfica de los tipos de vegetación de la región y con el reporte de Servicios Especializados en Estudios Integrales Ambientales (SEEIA, 2018), se identificaron algunas de las especies presentes en las distintas clases de vegetación en el área del proyecto, las cuales siguen la clasificación de Rzedowski (1978) y de Miranda y Hernández X (1963), por sus atributos fisonómicos, fenológicos y de composición florística. El mapa de coberturas vegetales realizado para este proyecto muestra

Cuadro 1. Superficie y perímetro por clase de cobertura vegetal y uso del suelo.

Clase de cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie (m ²)	Perímetro (m)
Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria abierto	221,067.79	2,639.05
Pastizal	223,948.28	5,713.78
Suelo desnudo	152924.77	2233.38
Pastizal con arbustos	41,977.44	1,141.19
Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria	314,522.24	1,301.65
Arbustiva abierto	32,928.37	1,301.65

Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento de imágenes en el programa de ArcGis 10.0®.

polígonos con vegetación de selva mediana subperennifolia, selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria, pastizal, pastizal con arbustos, arbustivo abierto y suelo desnudo.

El contenido de carbono almacenado en las 98.71 ha del área del proyecto fue de 1,589 tCha⁻¹ correspondientes a las diferentes coberturas vegetales a partir del muestreo de los 17 transectos cuyos valores promedio se extrapolaron a toda el área del proyecto y no se consideró un factor de expansión para las estructuras caducas como ramas, hojas y estructuras fijas como raíces.

El área de estudio presenta dentro de una misma cobertura vegetal diferencias entre la estructura, composición, edad, frecuencia y cobertura de las especies que ocurren (Cuadro 2). De ahí el porqué de contenido y captura de carbono es diferencial (volumen, biomasa, carbono almacenado, crecimiento y captura potencial carbono y de CO₂e).

El cuadro 2 muestra los distintos tipos de cobertura vegetal presentes en el área del proyecto y su superficie. También muestra el almacenamiento de carbono y la captura potencial de CO₂e por cobertura vegetal. No aplica (NA) significa que en esa clasificación de la cobertura no hubo transectos, por lo que no aplica el

el cálculo de biomasa, carbono almacenado y captura potencial de CO₂e.

Los contenidos de carbono (C) en cada una de las clases analizadas, presentan diferencias significativas en el C almacenado en biomasa aérea principalmente, derivadas del estado de conservación, edad, composición, cobertura y estratos presentes en cada una de ellas y de las actividades que los propietarios o las personas desarrollaron en el pasado, con ello se favorece el estado actual de los reservorios de carbono y su captura potencial, el área genera servicios ambientales en las vecindades de las comunidades aledañas.

Los resultados de las estimaciones del carbono contenido por clase, permite retirar incertidumbres generadas en estudios globales, aplicar criterios sobre la selección de índices de carbono para otras clases similares de CVyUS y el desarrollo de estudios de línea de base.

El diseño de muestreo que se aplicó en este proyecto tiene elementos estadísticos robustos que permiten definir la hectárea tipo en cuanto a los almacenes de biomasa, carbono y dióxido de carbono por tipo de cobertura vegetal.

Cuadro 2. Almacenamiento y captura diferencial de carbono por cobertura vegetal

Tipo de cobertura vegetal	Superficie (has)	Almacenamiento de Carbono por Cobertura vegetal (tCha ⁻¹)	Captura potencial de CO ₂ e (valor unitario expresado en tCha ⁻¹ año ⁻¹)	Captura potencial de tCO ₂ e por cobertura vegetal año ⁻¹
Selva mediana subperennifolia con cobertura vegetal secundaria (SMs cvs)	31.45	5.080.21	7.69	242.15
Selva Mediana Subperennifolia abierta	22.1	1.337.03	3.99	88.24
Pastizal con arbustos	4.19	209.92	0.30	1.28
Pastizal	22.39	563.75	1.64	36.76
Vegetación arbustiva	NA	0.6 a 1.7	NA	2.2 a 6.23
Suelo desnudo	NA	NA	NA	NA
Total general	98.71	7,190.91	13.64	368.45

Fuente: Elaboración propia.

Conclusión

El área del proyecto tiene un potencial de captura de 368.45 tCO_{2e}año⁻¹ en las coberturas vegetales (área del proyecto). Para establecer parcelas de monitoreo permanente, se debe georreferenciar cada una de estas y etiquetar a cada uno de los árboles presentes en ellas a fin de saber dónde, cómo y cuándo está creciendo la vegetación. Una vez identificados los potenciales de captura de carbono y CO_{2e} de las diferentes coberturas vegetales, se puede dirigir una restauración con especies propias a corto, mediano y largo plazo a fin de incentivar la captura de carbono y la recuperación del entorno. La evolución en cuanto al servicio ambiental de almacenamiento y fijación de carbono permite generar un balance positivo (mitigación de emisiones de GEI) para incluir en el reporte anual de sustentabilidad en la empresa.

Literatura citada

- Ahedo, L.R. 2001. Biomasa y almacenes de carbono radical en la región de los Tuxtlas, Veracruz: variaciones con el cambio de uso del suelo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad de México. 53 pp.
- Braskem Idesa. 2016. Informe de sustentabilidad 2016. Braskem Idesa. Veracruz, México. 62 p.
- Brown, S. and M. Delaney. 2000. Standard operating procedures for measuring carbon in forests and agriculture projects. Version: 1.00 Winrock International, October.
- Brown, S. y Roussopoulos. 1974. Estimating bases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. *Forest Science* (20): 350-356.
- Castellanos, J; J.M. Maass and J. Kummerow. (1991). Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. *Plant and Soil* (131): 225-228.
- De Jong, B. H. J. 2001. Uncertainties in estimating the potencial for carbon mitigation of forest management. *Forest Ecology and Management* (154): 85-104.
- De Jong, B.H.J.; M.A. Cairns; P. Haggerty; N. Ramirez-Marcial; S. Ochoa-Gaona; J. Mendoza-Vega; M. González-Espinosa and I. March-Mifsut. 1999. Land-Use Change and Carbon Flux Between 1970s and 1990s in Central Highlands of Chiapas, Mexico. *Environmental Management*. (23) 373-385.
- Escandón-Calderón, J.; B.H.J. de Jong; S. Ochoa-Gaona; I. March-Mifsut and M.A. Castillo-Santiago. 1999. Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos LANDSAT TM en Jusnajib la Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas* (40): 71-84.
- FAO. 2008. Evaluación de los recursos forestales Nacionales 2010, Directrices para la elaboración de Informes Nacionales destinados a FRA 2010, Borrador Final. Departamento Forestal de la FAO. Roma, Italia. 86 p.
- Gómez-Pompa, A.; Krömer, T. y Castro-Cortés, R. (Coords.) 2010. Atlas de la flora de Veracruz Un patrimonio natural en Peligro. Comisión del Estado de Veracruz para la
- Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. Veracruz, México. 38 p.
- Hughes F.; J.B. Kauffman and V.J. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of México. *Ecological Applications* (10):515-27.
- Hughes R.F.; J.B. Kauffman and V.J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient accumulation in tropical evergreen secondary forest of the Los Tuxtlas region, Mexico. *Ecology* (80):1892-907.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Cambio Climático 2001. Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. Una evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra, Suiza. 94 p.
- Jaramillo, V.J.; J. Boone; L. Rentería-Rodríguez; D.L. Cummings and L. Ellingson. 2003. Biomass, carbon, and nitrogen pool in Mexican Tropical Dry Forest landscapes. *Ecosystems* (6):609-629.
- Masera, O.R., A.D. Ceron y J.A. Ordoñez. 2001. Forestry mitigation options for México: finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change* (6): 291-312.
- Masera, O.; Ordoñez, M.J. y Dirzo, R. 1997. Carbon emissions from mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* (35): 265-295.
- Oliva, M. y F. García-Oliva. 1998. Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global. Educación Química. UNAM. México.
- Ordoñez Díaz, J.A.B.; Galicia Naranjo, A.; Venegas Mancera, N.J.; Hernández Tejeda, T.; Ordoñez Díaz, Ma. de J.; Dávalos-Sotelo, R. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques*, 21 (Núm. Especial): 77-126.
- Ordoñez Díaz, José Antonio Benjamín; Ricardo Rivera Vázquez, María Erika Tapia Medina y Luis Raúl Ahedo Hernández. 2016. Contenido y captura potencial de carbono en la

- biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (32): 7-16.
- Ordóñez, A. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. INE-SEMARNAP. México. 72p.
- Ordóñez, J. A. B.; B. H. J. de Jong; F. García Olivera; F. L. Aviña; J. V. Pérez; G. Guerrero; R. Martínez and O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255 (7): 2074-2084.
- Ordóñez, J.A.B. 2008. Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales. *Ciencias* (90): 37-42.
- Ordóñez, J.A.B. 2012. Carbono Almacenado en los Bosques de la Región Purépecha en Michoacán, México. Editorial Académica Española. Madrid, España. 135 pág.
- Rentería, L.Y. 1997. Biomasa y almacenes de carbono radical en tres comunidades vegetales en la costa de Jalisco, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad de México.
- Ricker, M.; Calónico, J.; Chávez C. N.; Gernandt, D.; Gutiérrez, G.; Martínez, E.; Montealegre, C.; Mora, M.; Parra, W.; Ramos, C.; Rincón, A.; Rodríguez, S. y Salazar, G. 2015. Determinación taxonómica de los ejemplares de herbario del re-muestreo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2009-2013 (año 2013) en México: Informe de resultados. Comisión Nacional Forestal e Instituto de Biología. Distrito Federal, México. 53 p.
- Salisbury, F. y C. Ross. 1999. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. 759p.
- Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). (2018). Áreas Privadas de Conservación APCs. Gobierno del Estado de Veracruz. [publicación en línea]. Disponible desde internet en <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/espacios-naturales-protegidas/areas-privadas-de-conservacionapcs/> [Consultado: 26 de noviembre de 2018].
- Tipper, R. and B.H. De Jong. (1998). Quantification and regulation of carbon offsets from forestry: comparison of alternative methodologies, with special reference to Chiapas, Mexico. *Commonwealth Forestry Review* (77): 219-228.