



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LOS**  
**RIOS**



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MEXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

ESTIMACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO EN LAS ZONAS DE  
CONSERVACION Y RESERVAS RIPARIAS DE LA FINCA 5 DE  
MAYO DE LA EMPRESA AGROFORESTAL UUMBAL CHIAPAS  
S.A.P.I DE C.V.

**PRESENTA**

MARINA ELIZABETH JIMÉNEZ PRUDENCIO

**NUMERO DE CONTROL:**

16E20711

**ASESOR EXTERNO:**

ING. ALEJANDRA BETZABE PINEDA VÁSQUEZ

**ASESOR ACADÉMICO:**

BIOL. BRUNO MEJÍA DEGOLLADO

BALANCÁN, TABASCO; JUNIO DE 2022.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>II. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>III. OBJETIVOS DE PROYECTO</b> .....	<b>6</b>
3.1 Objetivo general .....	6
3.2 Objetivos específico .....	6
<b>IV. CARACTERIZACION DEL ÁREA EN EL QUE SE PARTICIPO</b> .....	<b>7</b>
<b>V. PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>12</b>
<b>VI. ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	<b>17</b>
6.1 Alcance .....	17
6.2 Limitaciones .....	17
<b>VII. MARCO TEORICO</b> .....	<b>18</b>
<b>VIII. PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS</b> .....	<b>39</b>
8.1. Cartografía .....	40
8.2. Metodología para la clasificación de cobertura terrestre .....	41
8.3. Muestreo de vegetación aleatorio estratificado .....	50
8.4. Metodología del cálculo de carbono .....	59
<b>IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>61</b>
9.1. Resultados .....	61
9.1.1. Mapa del área de estudio.....	61
9.1.2. Clasificación de cobertura.....	62
9.1.3. Muestreo de vegetación .....	63
9.1.4. Cálculo de carbono en las zonas de conservación y reservas riparias .....	66
9.2. Discusión .....	69
<b>X. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>70</b>
10.1. Conclusión.....	70
10.2. Recomendaciones .....	71
<b>XI. REFERENCIAS</b> .....	<b>72</b>
<b>XII. ANEXOS</b> .....	<b>75</b>

## I. INTRODUCCIÓN

La atmósfera es un factor clave para el desarrollo y el mantenimiento de la vida en la Tierra. Cumple funciones esenciales tales como filtrar la radiación ultravioleta (UV) proveniente del sol y regular el clima, tanto por el movimiento de las masas de aire frío y caliente sobre los océanos y las masas continentales, como por su efecto en las corrientes oceánicas y en el transporte del vapor de agua que cae luego como precipitación en los continentes (Delworth y Greatbatch, 2000; UNEP, 2012a). A lo anterior hay que agregar que actúa también como reservorio de elementos químicos que circulan en la biosfera, en los llamados “ciclos biogeoquímicos”, y que necesariamente pasan por una fase gaseosa, como son los casos del carbono y el nitrógeno (Gruber y Galloway, 2008; Aufdenkampe *et al.*, 2011).

Muchos de los residuos de las actividades humanas se liberan a la atmósfera en forma de gases y pueden permanecer suspendidos en ella unos pocos días (como en el caso del material particulado y el carbono negro, por décadas (como los clorofluorocarbonos) o incluso siglos, tal como ocurre con algunos gases de efecto invernadero. Aunque algunos contaminantes pueden degradarse en la atmósfera, depositarse en el suelo o en los océanos, o integrarse en los ciclos biogeoquímicos, sus emisiones crecientes han sido la causa de algunos de los problemas ambientales más importantes que enfrentamos en la actualidad: la degradación de la capa de ozono estratosférico, el cambio climático y el deterioro de la calidad del aire en las zonas urbanas. La contaminación atmosférica es de vital importancia porque incide negativamente en la salud de la población, y de la biodiversidad en general, por lo que su efecto puede verse reflejado en la disminución en la calidad de vida, reducir la productividad y tener impactos no deseados en la economía.

En el contexto actual de cambio climático global, la cuantificación del carbono se ha convertido en una evaluación esencial a nivel mundial. Recientemente, la evaluación del carbono mundial refleja que los bosques tropicales (selvas y manglares) poseen los mayores almacenes de carbono (55%). Sin embargo, es en estos ecosistemas tropicales donde las actividades humanas (principalmente, el cambio de uso de suelo) han propiciado alcanzar el nada halagador segundo lugar en lo referente a emisiones de carbono a la atmósfera, después de las emisiones por la quema de combustibles fósiles: por esto resulta vital estudiar la dinámica del carbono en las selvas. (J. Andrade, J. Dupuy y Stefanoni. 2014).

Las comunidades vegetales, dominadas por especies arbóreas, son importantes reservas y formas de captura de carbono (materia orgánica o biomasa). El carbono almacenado en la vegetación forestal es producto del secuestro o extracción de ese elemento de la atmósfera, a través del proceso de la fotosíntesis. La pérdida de superficie forestal (incluyendo las plantaciones forestales) disminuye la capacidad de vegetación para absorber o secuestrar las emisiones de gases de efecto invernadero. (FAO, 2015, SEMARNAT, 2016).

Agroforestal Uumbal, es una empresa mexicana, dedicada a las plantaciones de Palma de aceite, Pinos Tropicales e Industria. El proyecto se realizó en Agroforestal Uumbal Chiapas en una de las fincas donde se ubican sus plantaciones. En el tema de certificaciones la empresa cuenta con Industria Limpia, FSC (Forest Stewardship Council, Kosher y RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil).

Llevar a cabo la estimación de captura de CO<sub>2</sub> nos permitió conocer la capacidad de las clases de cobertura vegetal para almacenar CO<sub>2</sub> de las zonas de conservación de la finca 5 de mayo, y a su vez sirva como base inicial para próximas estimaciones conforme al tiempo.

## II. JUSTIFICACIÓN

Las grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonados (CFC's), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), siendo el CO<sub>2</sub> uno de los principales GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite. Estos, derivados de las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y silvicultura.

La vegetación tiene la capacidad de asimilar e incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis. Los bosques (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo (Apps et al., 1993; Brown et al., 1993; Dixon et al., 1994). Estas evaluaciones resultan importantes dado que representan un medio de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La empresa realiza diversas actividades, algunas que conllevan a la generación de emisiones, lo que conserva responsabilidad ambiental y cumplimiento normativo aplicable, una estrategia de mitigación no solo para sus emisiones sino también para otras fuentes es mantener y cuidar las zonas de conservación que se ubican dentro de su proyecto, sabiendo que la cobertura vegetal tiene la capacidad de almacenar carbono. Estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> en las zonas de conservación y reservas riparias de la finca 5 de mayo permitirá conocer si se mitigan parte de las emisiones que se generan y al mismo tiempo utilizarlo como base inicial para realizar estimaciones a lo largo del tiempo.

### **III. OBJETIVOS DE PROYECTO**

#### 3.1 Objetivo general

Estimar la cantidad de carbono almacenado en las zonas de conservación y reservas riparias en la finca 5 de mayo de la empresa Agroforestal UUMBAL.

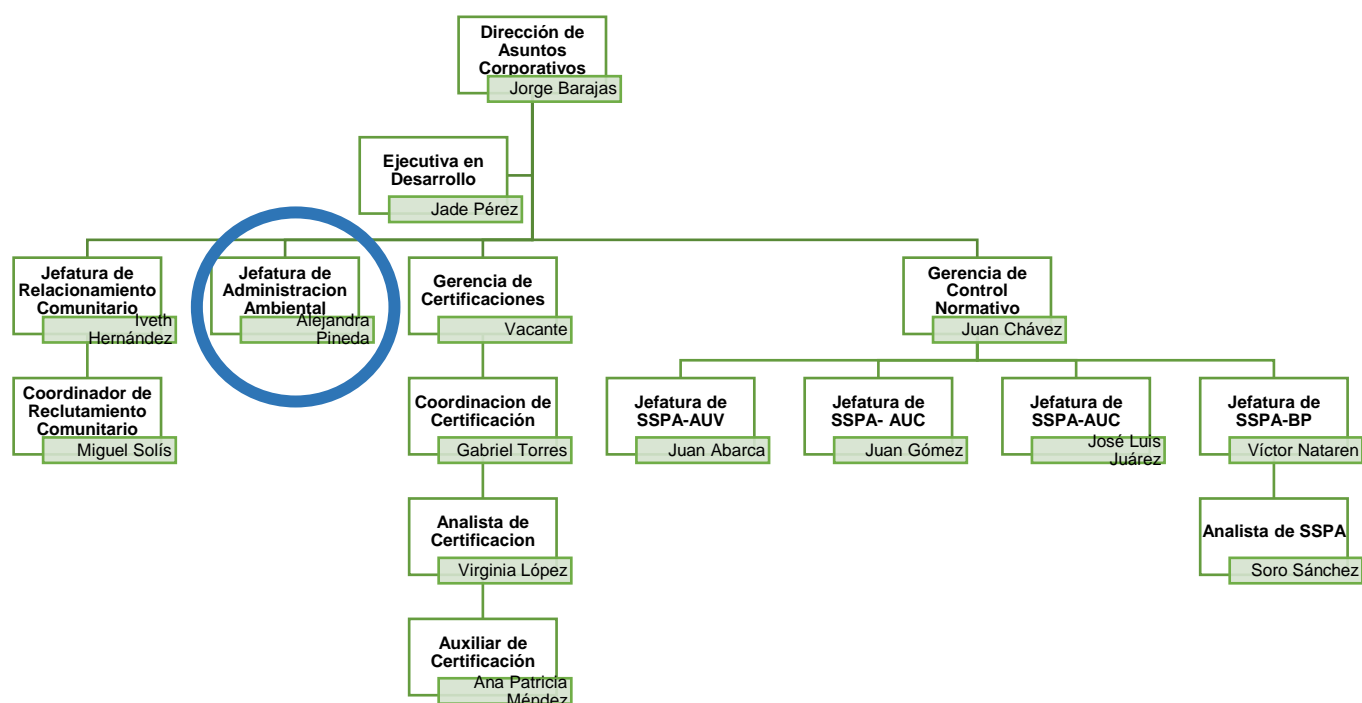
#### 3.2 Objetivos específico

- Elaborar un mapa del área de estudio con ayuda de las herramientas SIG.
- Realizar la clasificación de cobertura vegetal
- Realizar muestreo de vegetación en campo
- Determinar la cantidad total de carbono en las zonas de conservación y reservas riparias.

#### IV. CARACTERIZACION DEL ÁREA EN EL QUE SE PARTICIPO

En el presente organigrama se representa gráficamente y de forma simplificada la estructura del área de Dirección de asuntos corporativos.

El proyecto se realizó en el departamento de “Administración Ambiental” que se encuentra señalado en el organigrama con un circulo color azul.



El departamento de Jefatura de administración ambiental se encarga de verificar el cumplimiento de la normatividad nacional ambiental y el cumplimiento de los requisitos de las certificaciones en materia ambiental (suelo, agua, emisiones, conservación y residuos).

## Descripción del área de estudio

La finca 5 de Mayo hace parte del Grupo Agroforestal Uumbal Chiapas SAPI de CV, empresa dedicada a la producción de Palma de aceite. Geográficamente el predio se ubica en la Carretera Palenque- Libertad km 14.5, Palenque, municipio de Chiapas, con coordenadas GPS. 17° 37' 14.56" N | 91° 54' 41.11" W (Ubicación de las oficinas). Las colindancias del predio son: el poblado Filadelfia y la entrada del poblado San Antonio Chuyipa.

La estimación de captura de carbono se realizará en las zonas de conservación y reservas riparias que abarca aproximadamente de 170.41 hectáreas en la finca.

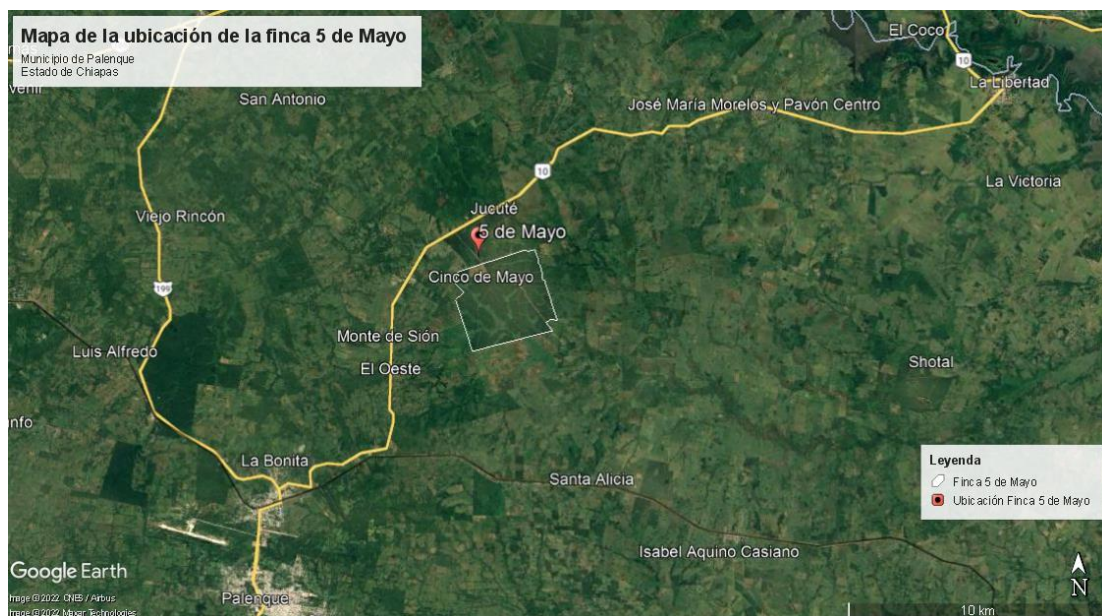


Figura 1. Ubicación de la finca 5 de mayo

## Contexto del ambiente físico

### ❖ Geología

En palenque el suelo está constituido por terrenos cuaternarios y terciarios del mioceno. Características geológicas correspondientes a areniscas y aluviales.



#### ❖ Suelos

El suelo está conformado por tres tipos de suelo predominantemente Gleysol, Vertisol y Solonchak.

- Los suelos Gleysoles (Del ruso gley; suelo de pantano). Estos suelos se originaron a partir de material aluvial, areniscas, rocas calizas y algunos conglomerados. Se caracteriza por tener grandes condiciones hidromórficas en todo el perfil, principalmente los primeros 50 cm. de profundidad
- Vertisoles (VR): son suelos muy arcillosos que desarrollan grietas anchas y profundas cuando están secos, lo que ocurre en la mayoría de los años. Son muy fértiles, pero con graves problemas de laboreo debido al endurecimiento en la época de secas y al inundamiento en época de lluvias, lo cual influye en un desarrollo pobre de raíces.
- Solonchak este tipo de suelo tiene como característica principal un horizonte sub superficial sálico dentro de los primeros 50 cm de profundidad, son suelos salinos donde solo crecen especies halófitas, predominando los manglares.

#### ❖ Uso histórico del suelo

Destacan predominantemente los pastizales cultivados, y la agricultura temporal. Lo anterior, se debe a la destrucción de las áreas selváticas, originada por las políticas de desarrollo impuestas durante cincuenta años, al desarrollo de la cuenca hidráulica Grijalva-Usumacinta, a la estrategia agroproductiva tropical, a la reforma agraria y la creación de ejidos permanentes para dar seguridad legal a los campesinos, a la ganadería extensiva, y al auge petrolero.

#### ❖ Clima

Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, tiene una temperatura media anual de 26 °C. La precipitación media anual es de 2762,9 mm.

#### ❖ Hidrología

Los recursos hidrológicos son abundantes, en los alrededores corren los ríos Usumacinta, Chamacax, Chancalá, Chicoljaito, Bascán, Michol, San Simón y Trapiche.

#### ❖ Riesgo de erosión

Se destaca que la topografía de la zona corresponde a llanuras en su mayoría, en donde no hay riesgo de derrumbes o deslaves como tales, debido a la ausencia de fuertes pendientes.

#### ❖ Fauna silvestre

La región del sureste de México alberga más biodiversidad que todos los países de Europa, Chiapas es de los estados con más variedad de fauna de toda la región.

#### ❖ Zonas de conservación y reservas riparias de la finca

Las zonas de conservación son áreas representativas de uno a más ecosistemas no alterados significativamente por el hombre, o que quieran ser preservados y restaurados, en donde habitan especies representativas del país, endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

Las reservas riparias se encuentra aledaños a las orillas de cuerpos de agua, como riachuelos, ríos, lagos y lagunas, que forman una ramificación a lo largo de la finca 5 de mayo.



**Figura 2.** *Zona de conservación de la finca 5 de mayo, Palenque, Chiapas*

## V. PROBLEMÁTICA

La emisión continua de gases de efecto invernadero causará un mayor calentamiento y cambios duraderos en todos los componentes del sistema climático, lo que hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas. Para contener el cambio climático sería necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual, junto con la adaptación, puede limitar los riesgos del cambio climático (IPCC, 2013).

Ciertos GEI surgen naturalmente, pero están influenciados directa o indirectamente por las actividades humanas, mientras que otros son totalmente antropogénicos. Los principales gases que surgen naturalmente son: vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Los principales grupos de GEI completamente antropogénicos son: clorofluorocarbonos (CFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) (a los que se denomina colectivamente halocarbonos), y las especies totalmente fluorinadas, como el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). (H. Ballesteros, G. León, 2007)

La dispersión de estos gases son el motivo principal del cambio climático, derivadas de las actividades humanas, que han venido aumentando los niveles de concentración en la atmósfera, superando los niveles normales, lo cuales suelen permanecer afectando la salud y el bienestar humano. (R. Rodríguez, J. Jiménez. Et al)

Al ser una problemática de nivel mundial y la cual se acrecienta con el tiempo, es necesario encontrar la manera de disminuir los niveles de producción y liberación de GEI. Para ello se ha evidenciado que, mediante las plantaciones forestales, existe una disminución en la liberación directa de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, lo cual resulta como estrategia para controlar en cierta medida la exposición a los GEI.

Parte de las actividades que la empresa lleva a cabo generan emisiones, como el uso de fertilizante para las plantaciones, el uso de combustible, generación y consumo de energía eléctrica, entre otras. Conocer la capacidad de captura de CO<sub>2</sub> en las zonas de conservación y reservas riparias que conserva la finca 5 de mayo permitirá saber si se mitigan parte de las emisiones que emiten.

Cabe mencionar que también uno de los puntos importantes es conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> que almacena una zona con cobertura con plantas leguminosas (*Mucuna bracteata* y *Pueraria phaseoloides*) que son utilizadas durante los primeros años de vida de las palmas, por las propiedades como retención de humedad, fijación de nitrógeno, aporte de materia orgánica al suelo y evita la erosión de los suelos, estas especies de leguminosas son consideradas invasoras por el Centro Internacional de Agricultura y Biociencias (CABI) dado que por sus características expansivas tiene la capacidad de degradar los bosques, es por ello que se desea eliminar.

Para realizar la estimación de captura de carbono se llevaran a cabo ciertas actividades que permitirán lograr el objetivo del proyecto, por lo tanto, se realizaran mapas ayuda de las herramientas SIG que permitan ubicar el área de estudio y puntos de muestreo, también se realizar la clasificación de la cobertura general del área de estudio, en base a esto se elegirán los puntos de muestreo, y con ello realizar el monitoreo de vegetación en campo y con los datos registrados determinar la cantidad total de CO<sub>2</sub> del área estudio.

Para cumplir con los objetivos propuestos y con las actividades asignadas se presenta el siguiente cronograma de actividades:

Actividades	Semanas																				
	Junio			Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			Noviembre		
1. Delimitación y elaboración de mapa del área de estudio																					
2. Clasificación de cobertura vegetal con herramientas SIG (Qgis).																					
3. Selección del método de muestreo de vegetación, muestreo y registro de datos																					
4. Determinar la cantidad total de carbono en las zonas de conservación																					
5. Determinar la cantidad total de carbono en las zonas reservas riparias																					
6. Determinar la cantidad total de carbono en el área de estudio																					
7. Resultados y discusión																					
8. Conclusión																					

Cronogramas de actividades

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE ACTIVIDADES

1. Delimitación del área de estudio y elaboración del mapa con la ubicación de la zona de conservación en la finca 5 de mayo.

Con las herramientas de sistema de información geográfica Qgis (A Coruña) y Google Earth se delimitará y se elaborará un mapa de la ubicación de la finca, marcando la zona de conservación que será el área de estudio, se estima realizar la actividad en el tiempo de una semana.

2. Clasificación de cobertura vegetal con herramientas SIG (Qgis).

Se clasificará la cobertura terrestre del área de estudio mediante fotografías aéreas que serán procesadas y gestionadas en el sistema de información geográfica (Qgis), siguiendo la metodología que se presenta en módulo 4 del Toolkit. Se estima completar la actividad en un tiempo de 6 semanas.

3. Selección del método o técnica de muestreo de vegetación, muestreo y registro de datos.

Revisión bibliográfica de los métodos o técnicas de muestreo de vegetación y selección del mismo de acuerdo al análisis de información científica.

Se seleccionarán los puntos de muestreo de acuerdo al método, de igual manera se realizará el muestreo de vegetación con apoyo de la aplicación seleccionada, donde se guardará el mapa de ubicación del área de estudio, en el que se utilizarán las diversas funciones que permitieran ubicar nuestra posición GPS en tiempo real, grabar las rutas GPS, utilizar la herramienta brújula, agregar fotos y notas a las ubicaciones, agregar marcas de posición al mapa y compartir formatos, de igual forma se registrarán los datos del muestreo levantados en campo en una hoja de cálculo, compilando toda la información en un documento de excel. Se estima completar la actividad en un tiempo de 6 semanas.

4. Determinación de la cantidad total de carbono en las zonas de conservación.  
Con la metodología elegida se realizará el cálculo estadístico del carbono almacenado en las zonas de conservación, en base a ecuaciones alométricas de las revisiones bibliográficas consultadas. Se estima completar la actividad en un tiempo de dos semanas.
5. Determinación de la cantidad total de carbono en las reservas riparias  
Con los datos levantados en campo se realizará el cálculo estadístico del carbono almacenado en las reservas riparias, en base a ecuaciones alométricas consultadas. Se estima completar la actividad en un tiempo de dos semanas.
6. Determinación de la cantidad total de carbono del área de estudio.  
Con los datos de la determinación de total de carbono de las zonas de conservación y reservas riparias se determinará la cantidad total de carbono del área de estudio. Se estima completar la actividad en un tiempo de dos semanas.
7. Resultados y discusión  
Datos obtenidos del cálculo total de carbono, interpretación y descripción de los resultados. Se estima realizar la actividad en un tiempo de una semana.
8. Conclusión  
Se presenta información relevante de acuerdo a los datos obtenidos del contenido y captura de carbono en las zonas de conservación y reservas riparias de la finca 5 de mayo. Se estima completar la actividad en un tiempo de una semana.



## **VI. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **6.1 Alcance**

Realizar el inventario de carbono con el fin de estimar la capacidad de captura con un intervalo de confianza del 75 % del total.

### **6.2 Limitaciones**

Falta de apoyo técnico para llevar a cabo los trabajos de campo registradas en el plan de actividades

## VII. MARCO TEORICO

### Cambio climático

Las huellas de la extracción y del uso de los recursos naturales del planeta necesarios para la producción de los bienes y servicios que consume la sociedad humana se observan no solo en la pérdida y la degradación de los ecosistemas terrestres, dulceacuícolas y marinos, sino también en la atmósfera. El cambio climático es una consecuencia de ello. Sus efectos globales no sólo se restringen al ambiente, también alcanzan las esferas económica, social y política y, sin duda, serán determinantes para el desarrollo económico y social de nuestro país y del mundo en el futuro. Dada la relevancia de este tema a nivel global, la **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**, que marcará las políticas y la ruta de desarrollo de gran parte de las naciones del mundo en el futuro, ha dedicado el Objetivo 13 hacia la acción por el clima.

El clima, y en particular la temperatura del planeta, dependen del balance entre la energía que recibe del sol y el calor que emite. Los gases de efecto invernadero (GEI) presentes naturalmente en la atmósfera dejan pasar la radiación solar hacia la superficie terrestre, pero absorben la radiación infrarroja que esta última emite, produciendo con ello un efecto neto de calentamiento, de manera similar a como ocurre en los invernaderos. Las actividades humanas emiten volúmenes de GEI que se suman a los existentes en la atmósfera, con lo que se incrementa su concentración en la atmósfera y con ello el efecto de calentamiento.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) define el cambio climático como "...todo cambio en el clima a través del tiempo ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas" (IPCC, 2007). Algunos de los cambios en el clima que han sido detectados son el incremento de la temperatura (tanto en zonas

terrestres como en las marinas), los cambios tanto en la intensidad y en la distribución temporal y espacial de la precipitación, como en la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, el deshielo de los glaciares y el incremento del nivel del mar, entre otros.

### **Consecuencia del cambio climático**

Muchas regiones del planeta registran alteraciones en el ciclo hidrológico como resultado de cambios en los patrones de precipitación, temperatura y en los balances de los depósitos de hielos de glaciares y otros mantos. La extensión de los glaciares sigue disminuyendo en diversas regiones del mundo.

Los impactos del cambio climático no solo afectan la esfera ambiental, también han alcanzado a los sectores productivos. En la agricultura, ha provocado en muchas regiones y a nivel global una disminución en el rendimiento de los cultivos como el maíz (IPCC, 2011). Tendencias como éstas podrían afectar la seguridad alimentaria de muchos países en el futuro, o bien, encarecer los productos a tal nivel que se vuelvan inaccesibles para amplios sectores de la población, pues existe el antecedente de incrementos de los precios de alimentos después de eventos climáticos extremos.

La biodiversidad también ha sido afectada por el cambio climático, esto debido a que el clima tiene una relevancia determinante en la distribución de las especies. Los cambios en el clima y la ocurrencia de eventos extremos pueden conducir a la reducción e incluso la pérdida de las poblaciones de numerosas especies. IPCC, 2013; Pecl *et al.*, 2017).

En cuestión de salud humana, se han documentado incrementos de la mortalidad asociada a eventos de calor extremo. En Rusia, por ejemplo, en 2010 murieron alrededor de 55 000 personas por la onda de calor registrada (Barriopedro *et al.*, 2011). También los cambios locales de temperatura y

precipitación han modificado y extendido la distribución de algunos vectores de enfermedades, como el caso de los mosquitos que transmiten el dengue y el paludismo.

- **Impactos sobre la biodiversidad**

En la actualidad contamos con información relevantes que demuestra los efectos del cambio climático global sobre las especies y sus ecosistemas (IPCC, 2013). Es importante recordar que el clima es uno de los principales factores que determinan los patrones de vegetación, estructura y composición florística y faunística. En el caso de las especies, los cambios en las condiciones ambientales de sus hábitats alteran, entre otros procesos biológicos, los patrones fenológicos, como son las fechas de floración, anidación, alimentación o migración.

A nivel de los ecosistemas se ha documentado: i) la modificación de los límites de su distribución, ii) el reemplazo de ecosistemas, iii) la degradación, y iv) la modificación de su composición de especies (IPCC, 2002). A lo anterior deben sumarse los efectos ocasionados por el incremento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (p. ej., huracanes, sequías, inundaciones, granizos y rachas de vientos), así como la presencia de plagas y enfermedades que también tienen efectos importantes en la estructura de la composición y dinámica de muchos ecosistemas a lo largo del mundo.

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad ya es apreciable en nuestro país. Los cambios se presentan principalmente en los bosques de coníferas latifoliadas y el bosque mesófilo; así como en el medio marino y los ecosistemas insulares (Challenger y Dirzo, 2008). No obstante, en otros ecosistemas también han sido registrados impactos significativos, como en el caso de los matorrales xerófilos. En un

estudio realizado en un área de la zona fronteriza entre México y los Estados Unidos (ver Brown *et al.*, 1997), en donde la precipitación invernal se incrementó substancialmente durante el siglo XX, la cobertura de los arbustos aumentó significativamente desde la década de los años ochenta, y con ella cambió la composición de especies del ecosistema. Especies clave como la rata canguro y algunas especies de hormigas se extinguieron localmente; otras especies antes comunes se hicieron raras (dos especies de lagartijas cornudas del género *Phrynosoma*) y especies poco comunes, como el roedor *Chaetodipus bayleii* (común en zonas arbustivas) se hicieron más abundantes.

### **La causa del cambio climático antropogénico: incrementando en la emisión y concentración de los GEI.**

Los gases de efecto invernadero (GEI) se emiten tanto por fuentes naturales como por las actividades humanas. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente antropogénica emisora de los GEI. A partir de la Revolución Industrial de los siglos XVIII, y con mayor intensidad durante la segunda mitad del siglo XX, se aceleró la producción de bienes y servicios y con ello se produjo una mayor demanda y consumo de estos combustibles. Como consecuencia, las emisiones de GEI también aumentaron y se acumularon en la atmósfera, lo que, de acuerdo con la evidencia científica disponible, ha promovido el cambio climático (IPCC, 2013).

- **Emisiones globales**

El volumen de emisión mundial de CO<sub>2</sub> es representativo de la emisión total de GEI, ya que equivale a más del 70% de las emisiones totales y es para el cual se cuenta con información más confiable y homogénea a nivel mundial. Las estimaciones mundiales de emisión de CO<sub>2</sub> se enfocan principalmente en las generadas por el consumo y quema de combustibles fósiles. Durante

el periodo 1990-2017, la emisión mundial derivada del consumo de combustibles fósiles aumentó alrededor de 58.6%, para alcanzar en este último año las 32.5 gigatoneladas. Este valor equivale a un crecimiento en 2017 de 1.4% con respecto al año anterior, lo que representa un nuevo crecimiento de las emisiones globales después de tres años de mantenerse cerca del mismo nivel (IEA, 2018).

### **Emisiones nacionales**

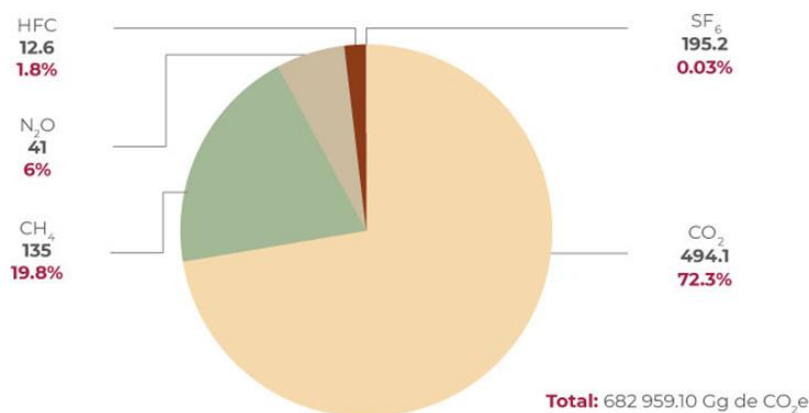
En 2018, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Semarnat, INECC, 2018) actualizó y presentó su Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) 1990-2015. Esta actualización consideró las directrices del IPCC de 2006, con la finalidad de cumplir tanto con los estándares internacionales como con los lineamientos establecidos por la Ley General de Cambio Climático (LGCC). Entre las mejoras metodológicas del nuevo INEGyCEI, que buscan finalmente una mejor estimación de las emisiones nacionales, destacan la incorporación de factores de emisión acordes con las condiciones nacionales y mejores datos de actividad de los sectores económicos del país.

La evolución de las emisiones de los GEI en el país entre 1990 y 2015 de acuerdo con el INEG y CEI. Entre esos años las emisiones totales pasaron de 444.7 a 683 megatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que es igual a un crecimiento de 53.6% a una tasa de crecimiento anual de 1.73%. Los sectores que tuvieron el mayor crecimiento en su volumen de emisión entre 1990 y 2015 fueron los de residuos (265.8%), el de procesos industriales y uso de productos (65.9%) y el de energía (59.5%), mientras que las emisiones derivadas de la actividad ganadera crecieron tan solo 6.1%. Por su parte, las emisiones derivadas del sector agrícola decrecieron

ligeramente, en alrededor de 0.3%, en los 25 años comprendidos por el INEG y CEI.

El inventario también reporta los volúmenes de dióxido de carbono capturados por la vegetación. Entre 1990 y 2015, la absorción se mantuvo prácticamente en los mismos niveles, con valores entre las 148 y las 151 megatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente; el crecimiento registrado en el periodo fue de tan solo 0.05%. El efecto más importante de las absorciones por la vegetación es la reducción del volumen de las emisiones: cuando se les considera dentro de la contabilidad, las emisiones netas en 1990 y 2015, respectivamente, se reducen a 296.5 y 534.6 megatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

En el último año del inventario, de las 683 megatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente emitidas, el 72.3% correspondió tan solo al CO<sub>2</sub> (Figura 5). Le siguieron en importancia el CH<sub>4</sub> (19.8%) y el N<sub>2</sub>O (6%). Con una menor contribución, inferior al 2% del total de las emisiones, están el SF<sub>6</sub> (0.03%) y los HFC (1.85%).



**Figura 5.** Emisión de GEI según tipo en México, 2015.

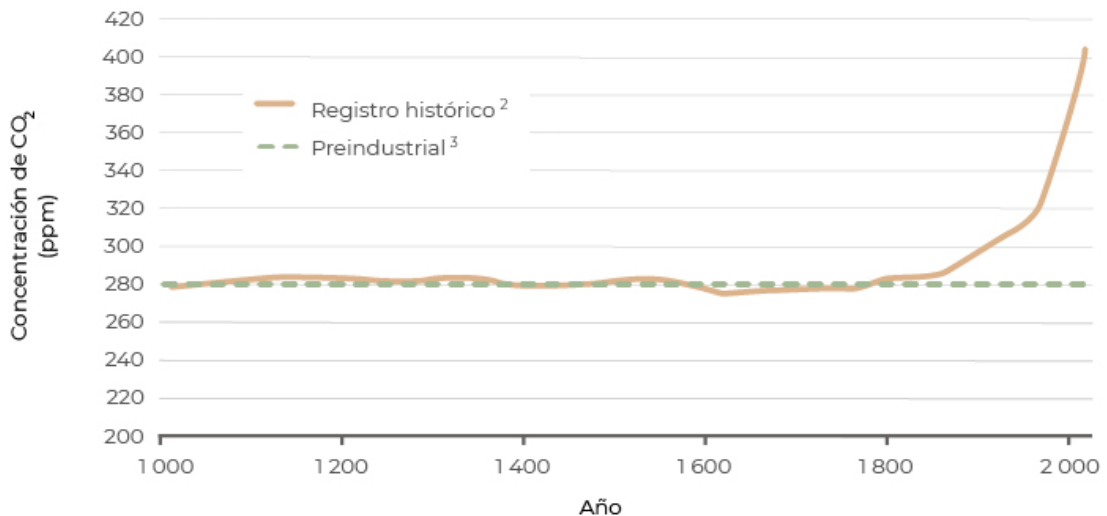
Si se desagregan por sector de emisión, el que tuvo una mayor contribución a la emisión total en 2015 fue el sector de energía, que participó con el 70% del total de las emisiones; le siguieron la categoría de procesos industriales y uso de productos, con 8%; y las emisiones de los sectores de agricultura y ganadería, con el 5 y 10%, respectivamente. El sector de residuos aportó el 7% de las emisiones nacionales en ese año.

Las fuentes móviles, principalmente el autotransporte (23.4%) y las industrias de la energía (24.1%) fueron las fuentes que más contribuyeron al total de las emisiones, con alrededor del 47%. Le siguieron en importancia el sector pecuario (10.3%) y el de las industrias de manufactura y construcción (9.3%); en el caso del sector pecuario debe resaltarse su contribución como el más importante generador de metano en el país.

### **Los gases de efecto invernadero en la atmosfera**

La ruptura del balance de los GEI en la atmósfera, que comenzó a partir de la revolución industrial y continúa hasta la fecha, es resultado de la imposibilidad de los sumideros naturales de estos gases, como la vegetación y los cuerpos de agua, para capturar la totalidad de las emisiones antropogénicas. Los registros históricos, que incluyen mediciones directas y otras a partir de muestras conocidas como “testigos de hielo”, indican que la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> se mantuvo relativamente constante durante la época preindustrial, aumentó significativamente a partir de la segunda mitad del siglo XIX y se aceleró marcadamente durante la segunda mitad del siglo XX (Figura 6). Mientras que la concentración preindustrial de CO<sub>2</sub> fue de alrededor de 280 partes por millón (ppm), en 2015 rebasó el umbral de las 400 ppm y en 2018 alcanzó las 408.6 ppm.





**Figura 6.** *Concentración global atmosférica de bióxido de carbono, 1010-2018.*

## Impactos potenciales del cambio climático

- **Escenarios globales y en México**

Desarrollar posibles escenarios del clima en el futuro es fundamental para diseñar las políticas públicas de mitigación y adaptación al cambio climático. A través de ellos es posible prever, y con ello desarrollar, estrategias y acciones que permitan reducir la vulnerabilidad ante las probables condiciones venideras. Las proyecciones del clima se desarrollan empleando modelos climáticos, de muy diversa complejidad, que simulan cambios basados en diversos escenarios de concentración, emisiones de GEI y otros contaminantes atmosféricos, así como de los cambios en el uso del suelo.

Según el IPCC (2014), el calentamiento continuará más allá del siglo XXI, mostrando variabilidad interanual, decenal y regional; el Ártico se calentará más rápido que el resto del planeta y los continentes se calentarán más

rápido que los océanos. Es muy probable también que las ondas de calor sean más frecuentes y largas.

El cambio climático afectará también el ciclo del carbono, con lo que se intensificará el incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y en los océanos. Ambos escenarios apuntan a que, como resultado, los mares y océanos se acidificarán globalmente para finales del siglo XXI, sin embargo, bajo el escenario RCP2.5 podría presentarse una recuperación lenta a partir del año 2050.

En el caso de México, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) y el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), actualizaron los escenarios de cambio climático para el futuro cercano (2015-2039), futuro intermedio (2045-2069) y el futuro lejano (2075-2099), todo ello con el fin de aportar información útil para realizar estudios sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (Fernández Eguiarte *et al.*, 2016). La actualización consideró los escenarios de cambio climático RCP4.5 (de bajas emisiones) y RCP8.5 (de altas emisiones) propuestos por el IPCC.

En cuanto a la temperatura promedio anual, ambos escenarios proyectan incrementos para el periodo 2015-2039 con referencia al periodo 1961-2000 para todo el país.

- **Cambios previstos a nivel global**

A pesar de que actualmente ya se enfrentan los impactos del cambio climático, las proyecciones indican que con los cambios en el clima los impactos observados podrían intensificarse. Aunque la incertidumbre asociada a las proyecciones varía de acuerdo con el sector de que se trate, muchas de ellas tienen niveles de confianza significativos (IPCC, 2014).

- **Recursos hídricos**

Las proyecciones sobre el cambio climático revelan cambios en el ciclo hidrológico que seguramente tendrán impactos en la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos. Uno de los impactos que el IPCC ha identificado como consecuencia de lo anterior, junto a la inseguridad alimentaria y la pérdida de medios de subsistencia, es la inseguridad hídrica, principalmente en zonas rurales y en comunidades de escasos recursos (IPCC, 2014). Los estudios señalan que cuanto mayor sea el nivel de calentamiento que experimente el planeta durante el siglo XXI mayor será la proporción de la población con escasez de agua. El derretimiento de los glaciares que acelerará el incremento de la temperatura también representaría una amenaza a la seguridad hídrica en muchas regiones (Moon, 2017).

Un estudio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) evaluó la variación de la disponibilidad de agua en el país, concluyendo que, dado que la cantidad y la calidad del agua actualmente son vulnerables, en condiciones de cambio climático la vulnerabilidad crecerá, siendo las regiones hidrológico-administrativas más afectadas la Noroeste y Río Bravo, seguidas de Cuencas Centrales del Norte, Baja California y Valle de México (Leal Ascencio *et al.*, 2008).

- **Biodiversidad**

Existe una cantidad importante de estudios que demuestran los efectos del cambio climático global sobre la biodiversidad y los ecosistemas. La última evaluación del IPCC indica que un gran número de especies terrestres y dulceacuícolas enfrentan un riesgo creciente de extinción con las condiciones climáticas proyectadas para este siglo. En todos los escenarios considerados en el último reporte del IPCC, el riesgo de extinción de las

especies terrestres, dulceacuícolas y marinas es superior respecto a los registrados en los periodos preindustrial y actual debido a la magnitud y la tasa de cambio climático (IPCC, 2014).

- **Impactos sobre poblaciones humanas**

Las poblaciones humanas estarían expuestas a los impactos del cambio climático de manera directa en aspectos como la salud, seguridad, bienestar, seguridad alimentaria y pobreza, además de los daños derivados de fenómenos climáticos extremos.

Algunas de las afectaciones más relevantes:

En el caso de la producción de alimentos en el futuro, el rendimiento de los cultivos será afectado por el cambio climático (IPCC, 2014).

Los impactos sobre los cultivos, así como aquellos sobre otros sectores productores de alimentos (por ejemplo, la pesca la ganadería), generaran efecto en la seguridad alimentaria. Los efectos se mostrarán tanto en el acceso a los alimentos como la estabilidad

- **Posibles impactos del cambio climático en México**

A pesar de que nuestro país no es un gran emisor de GEI a nivel mundial, los efectos del cambio climático ya se resienten y se proyecta que podrían intensificarse más en el futuro. (SEMARNAT, 2014).

Algunos de los principales impactos que los cambios en el clima podrían tener en el país, así como las afectaciones en diversos sectores (INECC y Semarnat, 2018).

Posibles impactos del cambio climático en sistemas y sectores estratégicos en México:

Sistema o sector

1. Agricultura
2. Hídrico
3. Costero
4. Tormentas y clima
5. Ecosistemas y biodiversidad
6. Infraestructura estratégica

Los impactos proyectados se estimaron considerando un escenario de incremento de temperatura entre 2.5 y 4.5 °C y una disminución en la precipitación de entre -5 y 10%. Semarnat. Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC). Semarnat. México. 2014.

### **Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático**

En 1992, en la cumbre de la tierra rio de janeiro, se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC, por sus siglas en ingles), cuyo objetivo es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmosfera a un nivel que impida las interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.

Como instrumento de la convención surgió en 1997 el Protocolo de Kioto, que estableció como obligación para los países desarrollados y las economías en transición la reducción del 5% de sus emisiones para el periodo 2008-2012 tomando como base sus emisiones de 1990.

El Protocolo Kioto fue creado para reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) que causan el calentamiento global. Este instrumento pone en lo acordado en la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.

Los gases de efecto invernadero (GEI) atrapan el calor del sol y se calienta la superficie del planeta

Las principales fuentes antropogénicas de emisiones de GEI proceden de la quema de combustibles fósiles para;

Electricidad, calor y transporte

### **Tipos de gases de efecto invernadero**

Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): Principal gas de efecto invernadero derivado de las actividades humanas, la actividad humana que más emite este gas es la combustión de combustibles fósiles, gas natural y petróleo, para la energía y el transporte, aunque algunos procesos industriales y cambios en el uso de suelo también emiten dióxido de carbono.

Metano ( $\text{CH}_4$ ): las fuentes de emisión de metano incluyen la cría de ganado, actividades agrícolas, la gestión de residuos, el uso de energía y las fugas de los sistemas de gas natural.

Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ): las emisiones de óxido nitroso se originan principalmente de actividades agrícolas como el uso de fertilizantes.

Hidrofluorocarbonos (HFCs): una de las principales fuentes de este gas es el uso que se les da como refrigerantes, por ejemplo, en refrigerados y sistemas de aire acondicionado tanto en vehículos como en edificios.

Perfluorocarbonos (PFCs): cuentan con una amplia gama de aplicaciones, su uso en extintores es uno de los más comunes.

Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ): se emplea como gas aislante en equipo de distribución de energía eléctrica, incluyendo en interruptores

Trifluoruro de nitrógeno ( $\text{NF}_3$ ): se utiliza en la fabricación de semiconductores

## **Dióxido de carbono**

El bióxido de carbono (también dióxido de carbono, oxido de carbono y anhídrido) es una molécula compuesta por dos átomos de oxígeno y uno de carbono.

Su fórmula química es CO<sub>2</sub>, es un gas un inerte, incoloro e insípido, que está presente en nuestra atmosfera de manera natural; además de ser dieléctrico, no ser flamable, ni permitir la combustión. Se utiliza en bebidas carbonatadas para darles efervescencia, como agente extintor eliminando el oxígeno para el fuego, también en refrigeración como líquido refrigeración como líquido refrigerante en máquinas frigoríficas como hielo seco. (CRYOINFRA, s.f).

Los sectores con mayor contribución porcentual de emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2006 fueron: transporte con 27.2%, generación eléctrica 22,8%, manufactura y construcción con 11.5, consumo propio de la industria energética con 7.4%, tierras agrícolas con 7.3%y otros (residencial, comercial y agropecuaria) con 6.2%. Cinco de las fuentes de emisión pertenecen al consumo de combustibles fósiles de la categoría energía, estas aportan el 75.1% del total de CO<sub>2</sub> del inventario (Comisión intersecretarial De Cambio Climático, 2009).

## **Ciclo del carbono**

El carbono ayuda a formar las proteínas y el ADN de los seres vivos. En la atmosfera, se combina con dos moléculas de oxígeno para formar dióxido de carbono.

- ❖ El dióxido de carbono es un ingrediente crucial en la fotosíntesis, el proceso por el que las plantas transforman la energía del sol para convertir el agua y el dióxido de carbono en azúcar. A cambio, las plantas emiten oxígeno.

- ❖ El dióxido de carbono CO<sub>2</sub> de la atmósfera es absorbido por los organismos fotosintéticos que lo usan para producir moléculas orgánicas, las cuales viajan a través de las cadenas alimenticias. Al final, los átomos de carbono son liberados como CO<sub>2</sub> durante la respiración.
- ❖ Los procesos geológicos lentos, entre los que están en la formación de rocas sedimentarias y combustibles fósiles, contribuyen al ciclo del carbono a lo largo de las escalas prolongadas de tiempo.
- ❖ Algunas actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, aumentan el CO<sub>2</sub> atmosféricos afectan el clima y los océanos de la tierra.

### **Almacenes de carbono**

Las plantas adquieren el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico por difusión a través de pequeñísimos poros de las hojas conocidos como estomas, y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Cierta cantidad de este CO<sub>2</sub> regresa a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB). Ésta se ha estimado globalmente en 120 PgC/año (1 Pg [Petagramo] = 10<sup>15</sup> g; figura 7). La mitad de la producción primaria bruta (PPB) (60 PgC/ año) se incorpora en los tejidos vegetales, como hojas, raíces y tejido leñoso, y la otra mitad regresa a la atmósfera como CO<sub>2</sub> debido a la respiración autotrófica (respiración de los tejidos vegetales, respiración autótrofa (R<sub>a</sub>)). El crecimiento anual de las plantas es el resultado de la diferencia entre el carbono fijado y el respirado. Se le conoce como producción primaria neta (PPN) y en el nivel global se ha estimado en 60 PgC/año. Eventualmente, en el transcurso de pocos a muchos años, casi todo el C fijado por vía de la PPN regresa a la atmósfera por medio de dos procesos: la respiración heterótrofa (R<sub>h</sub>), que incluye a los



descomponedores de la materia orgánica (bacterias y hongos que se alimentan de tejidos muertos y de exudados) y a los herbívoros; y por la combustión en los fuegos naturales o antropogénicos. Gran parte de la biomasa muerta se incorpora al detritus y a la materia orgánica del suelo, donde es “respirada” a diferentes velocidades dependiendo de sus características químicas. Se producen así almacenes de C en el suelo que regresan el C a la atmósfera en diferentes periodos. La diferencia entre la fijación de C por la producción primaria neta (PPN) y las pérdidas por la respiración heterótrofa (Rh), en ausencia de otras perturbaciones que producen pérdidas de carbono (p. ej. el fuego o la cosecha), se conoce como la producción neta del ecosistema (PNE). Y cuando todas las pérdidas de C se contabilizan, tales como el fuego, la cosecha o la remoción, el transporte por los ríos a los océanos y la erosión, lo que queda es el C que acumula efectivamente la biosfera nivel global, y que se conoce como la producción neta del bioma (PNB). Ésta se ha calculado en  $0.2 + 0.7$  PgC/año para la década de los ochenta, y en  $1.4 + 0.7$  PgC/año para la de los noventa. ¿Qué procesos regulan la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera? Se considera que existen dos mecanismos generales que operan de manera conjunta, pero en escalas diferentes de tiempo. En el largo plazo (cientos de millones de años), el ciclo geoquímico del Carbonato-Silicato opera como regulador de dicha concentración. En este ciclo, el CO<sub>2</sub> atmosférico se disuelve en el agua de lluvia y forma ácido carbónico que reacciona con los minerales expuestos sobre la superficie terrestre, generando lo que se conoce como intemperismo de la roca. Los ríos acarrear los productos disueltos al océano. En el océano se forma el carbonato de calcio; éste se deposita en los sedimentos marinos que por el proceso de subducción entran a la corteza baja de la Tierra. En este proceso se reincorporan elementos a los minerales primarios de las rocas y el carbono regresa a la atmósfera como CO<sub>2</sub> por las emisiones volcánicas e hidrotermales. Este ciclo geoquímico ha ayudado a

mantener la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico por debajo de 1% durante los últimos 100 millones de años; sin embargo, los flujos de carbono anuales son relativamente pequeños. La aparición de la vida sobrepuso al ciclo geoquímico un ciclo biogeoquímico de corto plazo. En éste dominan dos grandes transferencias anuales de C: el flujo de CO<sub>2</sub> de la atmósfera a las plantas como resultado de la fotosíntesis, y el regreso de CO<sub>2</sub> a la atmósfera como resultado de la descomposición de la materia orgánica. En los periodos de la historia de la Tierra en los que la producción de materia orgánica ha excedido a su descomposición, el C orgánico se ha acumulado en los sedimentos geológicos. La magnitud de estos flujos es tal que ha sido posible detectarlos mediante las variaciones estacionales de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, particularmente en el Hemisferio Norte debido a su mayor masa continental en comparación con el Hemisferio Sur.

Otro componente natural del ciclo del carbono lo constituye el metano (CH<sub>4</sub>). Este gas es, después del bióxido de carbono, el compuesto de carbono más abundante en la atmósfera (Schlesinger, 1997). Se produce por la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, tal como ocurre, por ejemplo, en los humedales, los sedimentos lacustres y en el aparato digestivo de los rumiantes y las termitas. La concentración de metano muestra variaciones latitudinales es mayor en el Hemisferio Norte que en el Sur y fuertes oscilaciones estacionales. Tiene una capacidad de absorción de radiación infrarroja 20 veces mayor por molécula que el bióxido de carbono (Silver y DeFries, 1990), por lo que el aumento de la concentración de este gas en la troposfera tiene también el potencial para contribuir de manera significativa a un cambio climático global (Los gases regulados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, de D. H. Cuatecontzi y Jorge Gassca, ),

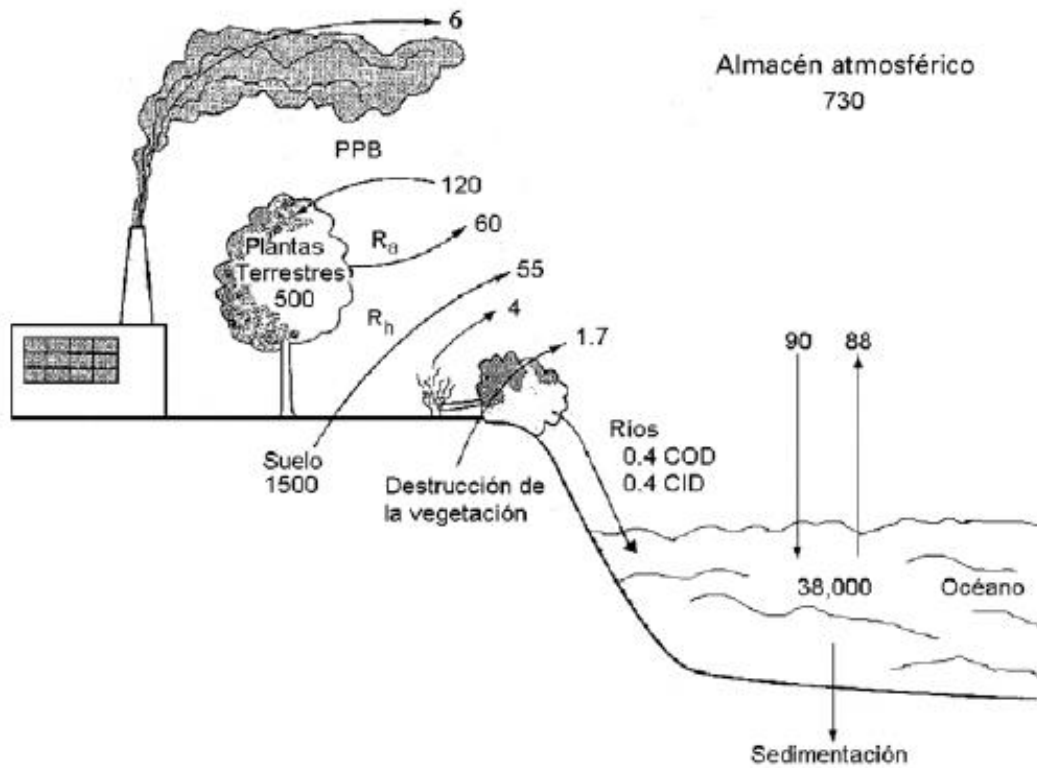


Figura 7. El ciclo global del carbono en la actualidad. Los almacenes están expresados en Pg C y los flujos en Pg C/año. PPB = producción primaria bruta;  $R_a$  = respiración autótrofa;  $R_h$  = respiración heterótrofa; COD = carbono orgánico disuelto; CID = carbono inorgánico disuelto. Fuente: Esquema modificado de Schlesinger 1997, y actualizado con información de IPCC 2001.

Existe una sinergia entre las causas y las consecuencias del cambio climático, ya que, si los ecosistemas son almacenes de carbono y éstos se ven disminuidos en superficie y calidad, debido a las actividades humanas, se incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo cual a su vez genera aumento en la temperatura y cambios en los patrones climáticos, que afectan la estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas. De esta manera estamos atrapados en un punto en el cual las medidas de mitigación son ahora imprescindibles.

## Antecedentes

- ❖ Un estudio realizado en la Universidad Autónoma Indígena de México (2009), se estimó un total de 110 t C ha<sup>-1</sup> almacenado: en fustes, ramas y hojas se encuentra el 75.3%, en raíces el 15%, en hojarasca el 9% y en los renuevos y la necromasa se encuentra el 0.4 y 0.3% respectivamente. Donde se concluye que el estudio de Estimación de carbono en el bosque de pino- encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México contribuye a mitigar el calentamiento global.
- ❖ Un análisis de Estimación de carbono almacenado en bosque de oyamel y ciprés en Texcoco, Edo. de México, realizado por la Universidad autónoma de Chapingo, donde se estimó el C almacenado en cinco depósitos considerados en ecosistemas forestales: biomasa viva sobre el suelo, biomasa viva debajo del suelo, madera muerta sobre el suelo, mantillo y carbono orgánico del suelo (COS) en dos sitios de muestreo ubicados en las faldas del monte Tláloc, Texcoco, Estado de México: el primero en un bosque oyamel (*Abies religiosa*) y el segundo en bosque de ciprés (*Cupressus lusitanica*). El promedio de la densidad de carbono en el bosque oyamel en los 5 depósitos estimados fue de 376 Mg ha<sup>-1</sup>, siendo el depósito más importante el de biomasa aérea (59%), seguido del COS (22%); en tanto que en el bosque de ciprés fue de 205 Mg ha<sup>-1</sup>, siendo el depósito con mayor densidad el COS (50%), seguido de biomasa aérea (36%). Los valores de densidad de carbono para la biomasa aérea en el caso de bosque de oyamel fueron superiores a los reportados en otros trabajos; lo cual se explica por la existencia de árboles de grandes dimensiones de esta especie en el sitio de muestreo, lo cual nos da una idea precisa del potencial como almacén

de carbono que este tipo de vegetación tiene cuando llega a estado maduros.

- ❖ Una tesis de “Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena, D. F. donde la captura potencial del carbono consistió en realizar escenarios de crecimiento de los árboles a partir del incremento corriente anual (ICA), la edad del bosque y contenido de carbono obtenidos durante el año de muestreo. La estimación de captura potencial del carbono se realizó a 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 y 50 años. El contenido de carbono total estimado para el bosque de *Pinus hartwegii* es de 44,564.21 tC/ha. El incremento corriente anual (ICA) difiere de una comunidad a otra, teniendo incrementos desde 0.017 hasta 4.62 m<sup>3</sup>/ha/año; asimismo, se obtuvo la edad promedio para cada comunidad: *Pinus hartwegii* 30 años. Considerando los resultados obtenidos en captura de carbono se sugieren intervenciones inmediatas de manejo forestal con la finalidad de mantener en incremento corriente anual del bosque, inclusive aumentarlo para potenciar la captura de carbono.
- ❖ Una tesis de “Estimación del contenido y captura de carbono en la segunda sección del bosque de Chapultepec, D.F.” Donde la estimación del contenido de carbono se realizó mediante el uso de estándares internacionales, en el que se aplicaron ecuaciones de biomasa, de volumen y genéricas por árbol con las que se estimó el contenido de C de la biomasa aérea para 2013 y 2015, de igual forma se estimó la biomasa retirada por el derribo de árboles y la biomasa que ingreso por reforestación para el año 2015. Se registraron 1,143 individuos de 36 especies diferentes en 2013 y 1,154 de 37 especies

en 2015; En ambos años las especies más dominantes fueron *Eucalyptus camaldulensis*, *Ligustrum lucidum*, *Fraxinus uhdei*, *Casuarina equisetifolia* y *Cupressus lusitánica*. En 2013 el bosque almaceno 4,8873.26 MgC y en 2015 4,828.75 MgC, lo que significa un déficit de 44.53 MgC, por lo que en dicho periodo el bosque libero C a la atmosfera en lugar de capturarlo. La segunda sección del bosque de Chapultepec emitió más carbono debido al derribo de los árboles muertos, enfermos o declinantes que supero al C proporcionado por arboles reforestados. Lo anterior es un indicador de la importancia de llevar a cabo un plan de manejo adecuado a las necesidades del bosque y de la sociedad con un enfoque preventivo y con visión a futuro. Se menciona que esta información será de gran utilidad para distribuir de forma adecuada el presupuesto asignado al bosque, con el fin de mejorar las condiciones del arbolado y con ello asegurar la permanencia del área verde y en consecuencia los servicios ecosistémicos que brinda.

## VIII. PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCION DE ACTIVIDADES REALIZADAS

Diagramas de flujo para la estimación de captura de carbono en la zona de conservación y reservas riparias de la finca 5 de mayo

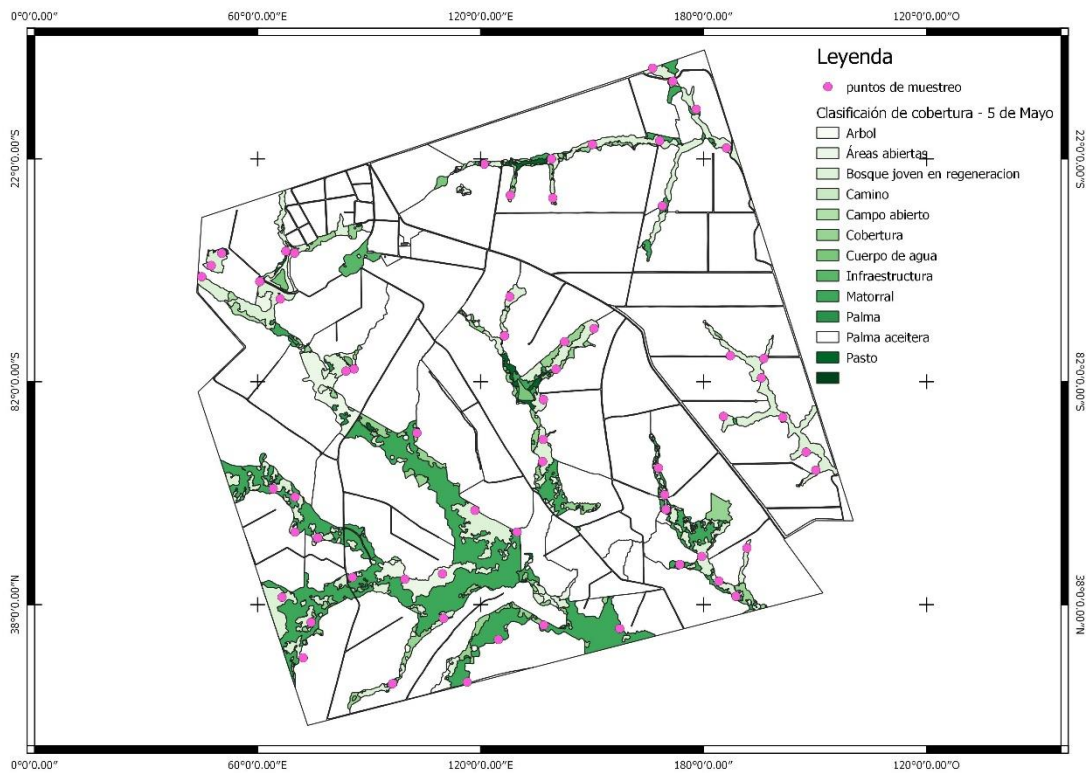


## Métodos

### 8.1. Cartografía

#### Mapa de las reservas riparias y zonas de conservación de la finca

Para ubicar la superficie de la cobertura vegetal de la finca 5 de Mayo se elaboró un mapa con apoyo del asesor externo puesto que facilitó la información para la elaboración del mapa como lo fueron las capas de los caminos, zona de conservación, cuerpos de agua, infraestructura y plantación de palmas, que fueron elaboradas por personal interno de Uumbal, con base en imágenes satelitales cuyo procesamiento de datos cartográficos se realizaron con ayuda de las herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG).



**Figura 8.** Mapa de ubicación del área de estudio y puntos de muestreo.

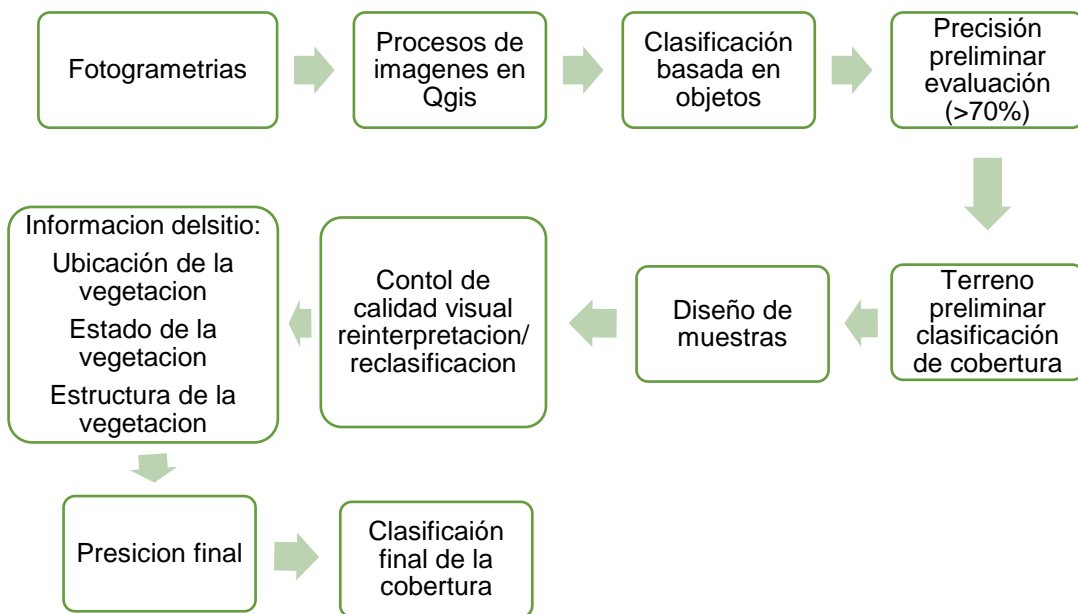


## 8.2. Metodología para la clasificación de cobertura terrestre

Una vez que las imágenes han sido tomadas y procesadas, la cobertura se agrupa en clases relativamente homogéneas para delinear, en combinación con el área de estudio de inventario forestal.

La metodología se trabajó con ayuda de las fotografías aéreas de la cobertura vegetal de la zona de conservación y reservas riparias de la finca.

El proceso consiste principalmente en analizar las imágenes utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que brindan herramientas para la interpretación de la cobertura terrestre basada en objetos.



**Figura 9.** Flujo de trabajo del procedimiento de clasificación basado en objetos.

La figura 9 muestra el flujo del procedimiento de clasificación. En el enfoque basado en objetos, el primer paso es la segmentación de imágenes o la generación de objetos, que combina grupos de píxeles espacialmente adyacentes con propiedades espectrales similares a las de los objetos de

imagen. Los atributos de los objetos de la imagen, como la reflectancia espectral, la textura, se almacenan en una base de datos de objetos (Benz et al. 2004).

La reinterpretación y reclasificación visual se puede utilizar para complementar los procesos de clasificación basados en objetos en áreas con una calidad de imagen inadecuada (p. ej., debido a la niebla, el humo, las sombras topográficas, la sombra de las nubes o las nubes) o para las clases que no pueden identificarse fácilmente.

Los errores de interpretación o el sesgo se pueden minimizar mediante un control de calidad visual por parte de un segundo interprete.

Esta fase de reinterpretación también puede aportar información auxiliar adicional a los resultados de la interpretación basada en objetos, como tipos de suelo, distribución de precipitaciones, geología, geomorfología o hábitats. La comprensión de las condiciones del sitio es clave para generar una clasificación buena y precisa. Cuanta más información específica del sitio tenga un intérprete, menos sesgo de error habrá.

### **Evaluación de precisión**

Una evaluación independiente de la precisión y la verificación de los resultados de la clasificación con datos de referencia es un componente esencial de la cadena de procesamiento.

Para evaluar la precisión de la clasificación preliminar de la cobertura terrestre, es aceptable una reinterpretación de muestras de los datos originales (imágenes satelitales utilizadas) de manera independiente (en esta etapa no es necesaria la recopilación de muestras de verificación del terreno in situ). Por otro lado, para evaluar la precisión de la clasificación final de la

cobertura del suelo, se deben realizar un estudio de campo durante el cual se recopilarán muestras de campo (datos reales del terreno).

Al elegir la cantidad de muestras que se recolectaran en el campo para posterior evaluación de la precisión, se debe encontrar un equilibrio entre lo que es estadísticamente sólido y lo que es factible en la práctica.

Las pautas generales sugieren recolectar un mínimo de 50 muestras para cada clase de cobertura terrestre (Congalton y Green 1999). Para áreas más grandes (más de unas 400 000 ha), se sugiere recolectar un mínimo de 75 muestras por clase de cobertura terrestre (Congalton y Green 1999).

Además, la elección y distribución de las muestras es un componente importante de la evaluación de la precisión, son comunes cinco esquemas de muestreo diferentes (Congalton y Green 1999):

Muestreo aleatorio simple: cada unidad de muestra en el área tiene la misma oportunidad de ser seleccionado. Las principales ventajas aquí son las buenas propiedades estadísticas que resultan de la selección aleatorias de muestras.

Muestreo sistemático: Las unidades de muestra son seleccionadas de acuerdo en algún intervalo igual sobre el área de estudio. La principal ventaja aquí es la facilidad para muestrear algo uniformemente en toda el área de estudio.

Muestreo aleatorio estratificado: similar al simple, muestreo aleatorio, sino que también utiliza el conocimiento previo del área de estudio para dividirla en grupos o estratos (clases) y luego cada estrato se muestrea aleatoriamente, por pequeños que sean, será incluido.

Muestreo de conglomerados: se refiere al muestreo de grupos de píxeles en lugar de píxeles individuales. Aparte de esto, varía poco de los otros

métodos. Este esquema de muestreo se usa con frecuencia para evaluar la precisión de los datos de sensores remotos, especialmente para recopilar información sobre muchas muestras rápidamente.

- Muestreo no alineado sistemático estratificado: intenta combinar todos los aspectos positivos de los esquemas aleatorios, sistemáticos y de estratificación imponiendo aleatoriedad adicional a una muestra sistemática.

Se debe tener en cuenta los recursos humanos disponibles, la accesibilidad en el campo y las limitaciones de presupuesto/tiempo al decidir que esquema de muestreo utilizar.

Finalmente, el análisis de precisión debe proporcionar una matriz de precisión que considere las precisiones del usuario y del productor y la precisión general. Una matriz de precisión compara la información de cobertura terrestre de las muestras de campo de referencia con los resultados de la clasificación. La precisión general muestra el porcentaje de muestras de referencia clasificadas correctamente entre todas las muestras de referencia. La precisión del productor indica que tan bien se clasifica el tipo de cobertura dado del sitio de referencia. La precisión del usuario, por otro lado, indica la probabilidad de que un pixel clasificado en una categoría dada realmente representa esa categoría en el suelo.

La precisión general de la clasificación preliminar debe ser de al menos el 70%, y para la clasificación final al menos el 80%.

### **Asignación de las clases de cobertura terrestre a las clases de existencias de carbono.**

Una vez que las imágenes han sido capturadas, procesadas y realizada una clasificación de la cobertura terrestre, el siguiente paso es agrupar la cobertura terrestre en clases homogéneas de existencias de carbono para

indicar, en combinación con los datos del inventario de campo, áreas potenciales de bosque con Altas Reservas de Carbono (HCS). El objetivo principal del ejercicio es diferenciar:

- Bosque de Baja, Media y Alta Densidad (LDF, MDF, HDF).
- Bosque Joven en Regeneración (YRF).
- Antiguo bosque despejado y degradado, incluye matorral (S) y Áreas Abiertas (OL).
- Áreas que no son Altas Reservas de Carbono (HCS), como caminos, cuerpos de agua y asentamientos

Se muestra en la Figura 9, el corte potencial del bosque con Altas Reservas de Carbono (HCS) se encuentra entre las categorías de matorral y bosque joven en regeneración, donde el bosque joven en regeneración (YRF), Bosque de Baja Densidad (LDF), Bosque de Media Densidad (MDF) y Bosque de Alta Densidad (HDF) se consideran bosques con Alto Contenido de Carbono (HCS), y Matorrales (S) y Áreas Abiertas (OL) no se consideran bosques con alto contenido de carbono.

Los tipos de cobertura terrestre asignados a las clases de existencias de carbono definidas a través de este proceso pueden variar entre diferentes regiones, dependiendo del paisaje y el tipo de cobertura terrestres en la ubicación del área de desarrollo. La Tabla 1 muestra una descripción general de que cobertura terrestre se espera en las diferentes clases de reservas de carbono. Las clases de existencias de carbono obligatorias para el análisis de Altas Reservas de Carbono (HCS) se indican en verde; sin embargo, se pueden incluir clases adicionales que también sean de interés según sea necesario. Tenga en cuenta que tal tabla incluye factores cualitativos que deben identificarse durante los estudios de campo.



BOSQUE DE ALTA DENSIDAD (HDF)	BOSQUE DE DENSIDAD MEDIA (MDF)	BOSQUE DE BAJA DENSIDAD (LDF)	BOSQUE JOVEN EN REGENERACIÓN (YRF)	MATORRAL (S)	ÁREAS ABIERTAS (OL)
POSIBLES ZONAS HCS				POSIBLES ZONAS DE CULTIVO	
Bosque de alta densidad (HDF)	Bosque de densidad media (MDF)	Bosque de baja densidad (LDF)	Bosque joven en regeneración (YRF)	Matorral (S)	Áreas despejadas / abiertas (OL)
Bosque remanente o secundario o avanzado cercano a la condición de bosque primario	Bosque remanente pero más perturbado que el HDF	Parece bosque remanente pero altamente perturbado y en recuperación	Principalmente bosque joven en regeneración, pero con fragmentos ocasionales de bosque más maduro	Áreas despejadas recientemente, con alguna regeneración Leñosa y matorral bajo	Tierras despejadas muy recientemente que contienen en su mayoría pasto o cultivos, con pocas plantas leñosas

Figura 10. Estratificación de la vegetación.

Tabla 1. Categorías genéricas de cobertura del suelo.

Clases de existencia de carbono	Descripción
<p><b>HDF, MDF, LDF</b></p>	<p><b>Bosque de Alta Densidad, Bosque de Media Densidad y Bosque de Baja Densidad</b></p> <p><b>Bosque</b> natural de dosel cerrado a abierto que varía de bosque de alta densidad a bosque de baja densidad. Los datos del inventario indican la presencia de árboles con un diámetro &gt;30 cm y dominancia de especies clímax.</p>
<p><b>YRF</b></p>	<p><b>Bosque joven en regeneracion</b></p> <p>Bosque altamente perturbado o áreas de bosque que se estan regenerando su estructura original. Distribución dominada por árboles de 10-30 cm y con mayor frecuencia de especies pioneras en comparación con LDF. Esta clase de cobertura terrestre puede contener pequeñas áreas de agricultura a pequeña escala.</p> <p>Nota: las plantaciones abandonadas con menos del 50% del área basal compuesta por árboles plantados podrian caer en esta categoria o superior. Las concentraciones &gt;50% del area basal no se considerarían bosque HCS sino plantaciones y deberían clasificarse por separado.</p>
<p><b>S</b></p>	<p><b>Matorrales</b></p> <p>Áreas abiertas que alguna vez fueron bosques pero que han sido taladas en el paso reciente. Dominada por matorrales bajos con cierre de dosel limitado. Incluye áreas de pastos altos y helechos con especies de árboles pioneras dispersos. Se pueden encontrar parches ocasionales de bosque más antiguo dentro de esta categoría.</p>

<b>OL</b>	<b>Campo abierto</b> Recientemente despejado con pasto o cultivo en su mayoría. Pocas plantas leñosas.
-----------	--

<b>Ejemplos de otras categoria de cobertura terrestre no HCS</b>	
<b>FP</b>	<b>Plantación Forestal</b> Gran area de árboles plantados (por ejemplo, caucho, Acacia).
<b>AGRI</b>	<b>Fincas agrícolas</b> Por ejemplo, fincas de palma aceitera a gran escala que se superponen con areas de desarrollo.
<b>MIA</b>	<b>Zona minera</b> Estas pueden diferenciarse aún más entre áreas mineras autorizadas y areas mineras desbordadas, no reguladas/ilegales.
<b>SH</b>	<b>Agricultura a pequeña escala y uso</b> Estas areas se pueden diferenciar aun mas entre jardines forestales mixtos/sistemas agroforestales, que podrian servir potencialmente como corredores de vida silvestre, sistemas de agricultura itinerante/rotación para la producción de alimentos de subsistencia, etc.
<b>(Otro)</b>	Cuerpos de agua como ríos y lagos. Zonas urbanizadas, asentamientos, carreteras, etc.

Las descripciones de cada categoria de cobertura terrestre son relativamente claras. Sobre el terreno, existe un espectro de tipos de cobertura vegetal, desde bosques hasta tierras desnudas, y los límites entre los tipos de vegetación a veces son difícil de determinar en el campo. La evaluación de



campo debe tener en cuenta no solo las condiciones dentro de los límites de la parcela, sino también en las áreas inmediatamente adyacente a la parcela, al asignar la clasificación de la vegetación. Cuando una parcela está ubicada a través de los límites claros de cobertura vegetal, como a través de la transición de bosque a pastizal, entonces la parcela debe reubicarse en uno u otro tipo de vegetación.

Con base en datos de parcelas de campo anteriores del Enfoque HCS de indonesia, las mediciones biométricas en la siguiente tabla se pueden usar como guía en la clasificación de la cobertura terrestre:

Clases de cobertura del suelo		Arboles con DAP >30 cm	Cierre de dosel	C molecular estimado t/ha	Comentarios
Bosque	FHD	>50	>50%	>150	Dominado por arboles con diámetro >30 cm. Dominancia de especies clímax, p ej., Dipterocarpus
	MDF	40–50/ha		90-150	
	LDF	30-40/ha		75-90	
YRF		13-30/ha	30-40%	35-75	Dominado por arboles con diámetro 10-30 cm y con mayor frecuencia de especies pioneras, por ejemplo
S		5-15	<20%	15-35	Denominado por matorrales bajos con cierres de dosel limitado, áreas de hierba alta y helechos. Pocos árboles de especies pioneras. Parches ocasionales de árboles más viejos.
OL		0-5	0%	0-15	

### 8.3. Muestreo de vegetación aleatorio estratificado

Similar al muestreo aleatorio simple, sino que también utiliza el conocimiento previo del área de estudio para dividirla en grupos o estratos (clases) y luego cada estrato (clase) se muestrea aleatoriamente. La principal ventaja es que todos los estratos (clases), por pequeños que sean, será incluido. (Rosoman, G, Sheun, SS et. Al. 2017).

#### Selección de puntos de muestreo

Inicialmente, se sobrepusieron los polígonos de la finca sobre las fotos aéreas y satelitales, para un reconocimiento general y planificación desde gabinete del trabajo de campo. La sobre posición de los polígonos sobre las fotos aéreas, permitió reconocer preliminarmente aquellas áreas de interés.

Lo anterior, con el objetivo de seleccionar los puntos de muestreo, para la comprobación de campo. Dichos puntos se ubicaron, en aquellos sitios que de acuerdo al reconocimiento preliminar a partir de las fotos aéreas.

#### Intensidad de muestreo

El tamaño de la muestra se estableció a partir de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{t^2 (S\%)^2}{(E\%)^2}$$

N= número de la muestra  
t<sup>2</sup>= valor de t de la tabla de prueba de t de student para intervalo de confianza del 90%  
S%= coeficiente de varianza  
E%= error 10%

#### Equipo para el trabajo de campo

Los datos de las mediciones de los árboles del muestreo se encuentran registrados manualmente en los formularios de inventario forestal (anexo 1), y capturados en el excel de la base de datos del muestreo de vegetación.

## Equipo para trabajo en campo

Un equipo de campo generalmente se compone de entre 6 y 8 personas de la siguiente manera:

Posición	No. de persona	Descripción y rol
<b>Capitan del equipo</b>	1	<b>Ingeniero forestal con experiencia en inventario</b> Responsable de la organización y el rendimiento del equipo, en particular de lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"><li>• Navegación al punto de inicio del transecto</li><li>• Llevar hojas de campo</li><li>• GPS operativo</li><li>• Medición de la altura de los árboles</li><li>• Captura de fotografías de parcelas</li><li>• Gestión y traspaso de datos</li></ul>
<b>Técnico en identificación de especies</b>	1	<b>Botánico</b> El papel principal es la identificación de las especies de árboles en las parcelas. Debe ser capaz de identificar la mayoría de los árboles a nivel de especie y las especies menos comunes a nivel de género.
<b>Asistente de medición</b>	1	<b>Técnico experimentado</b> La función principal es medir diámetros y etiquetar árboles. Es preferible, pero no esencial, que el asistente esté familiarizado con los nombres de las especies de árboles locales.
<b>Limpiador de parcelas</b>	1	Rol: responsable de limpiar las enredaderas y las trepadoras de los árboles para facilitar la medición del diámetro y la altura.
<b>Operador de cadena de cadera</b>	1	Rol: responsable de medir la longitud del transecto y la ubicación de los puntos centrales de la parcela a lo largo del transecto.

<b>Hombre de la brújula</b>	1	Rol: responsable de garantizar que las líneas transversales se corten en el rumbo correcto predeterminado de la brújula.
<b>Cortador de línea</b>	1-2	Rol: responsable de despejar la línea del transecto para permitir una rápida movilización a los puntos de la parcela.

El número de miembros del equipo necesarios varió según los niveles de habilidad, así como las condiciones del área de estudio.

Se muestra la lista de equipos para el inventario forestal (**anexo 2**).

Para una medición eficiente, el equipo se movilizó al sitio de medición rápidamente con transporte adecuado...

### **Pautas de diseño de parcela**

Se establecieron 63 parcelas, estas se distribuyeron en toda el área de estudio. Las coordenadas de cada punto de muestro se marcaron en el mapa que se cargó en la app Avenza Maps y registradas en las tablas de ubicación de los sitios de muestreo (anexos 3).

### **Material para el muestreo en campo**

- Mapa que muestra las rutas de acceso y los puntos de muestreo.
- Coordenadas del punto central de la trama (marcadas en la app Avenza Maps).
- Lista de parcelas a medir.

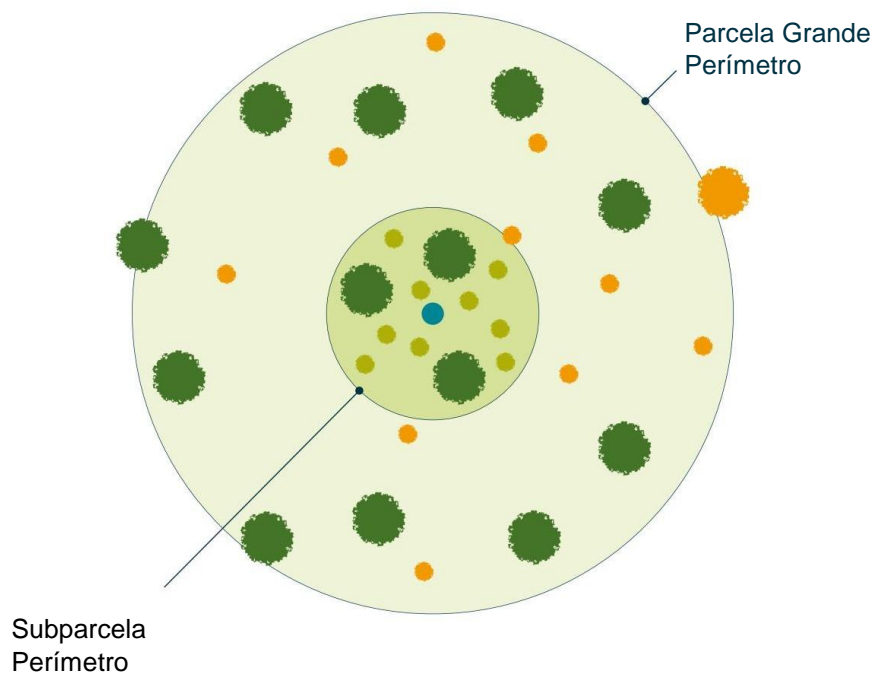
Las parcelas no deben moverse por ningún motivo. Si una parcela no puede medirse debido a problemas de seguridad, debe anotarse como 'no medida' y el muestreo debe reanudarse en el punto central de la parcela siguiente.

### **Tamaño y forma de la parcela**

El diseño de la parcela es de dos círculos concéntricos desde un punto central, con un área total de 500 m<sup>2</sup> o 0.05 ha. La subparcela tiene un área de 100 m<sup>2</sup>. Se prefieren las parcelas circulares a las rectangulares porque minimizan el potencial de error causado por los factores de pendiente y los obstáculos físicos que pueden sesgar las líneas de los límites de la parcela (Figura 10).

### **Demarcación de la parcela**

1. Se colocó un poste en el centro de la parcela. Se etiquetó el poste con cinta de señalización. Se registró la identificación de la parcela en la cinta de señalización. Los árboles en pie no se utilizaron como marcadores de parcela.
2. Se capturó el punto central de la parcela en Avenza Maps y se escribió las coordenadas en la hoja de campo. Cada parcela se geolocalizó cuidadosamente con una precisión de al menos 5 m.
3. Desde el punto central, la primera subparcela se midió utilizando una cinta métrica a una distancia horizontal de 5.64 m. Luego se estableció una segunda parcela midiendo una distancia horizontal de 12.61 m.
4. La siguiente información de identificación se registró en la hoja de campo para todas las parcelas:
  - Nombre del área de estudio
  - Fecha
  - Nombre del líder de campo
  - Numero de parcela



**Figura 11.** *Diseño de la parcela*

Gráfico	Radio de parcela (m)	Área de muestra de la parcela	Árboles DAP medido (cm)
Subparcela	5.64	100	5 – 14,9
Parcela Grande	12.61	500	> 15
Árboles con DAP 5 – 14,9 cm	Árboles con DAP 15 cm arriba	Centro de la parcela	
Medido	Medido		
No medido	No medido		

### Directrices de medición

El enfoque de medición de la vegetación está en las especies de plantas grandes, que comprenden la gran mayoría de biomasa aérea (AGB). Otros

depósitos de carbono forestal no se miden porque son de tamaño relativamente pequeño (p. ej., el sotobosque forestal) y no almacenan mucho carbono, o porque son difíciles y costosos de evaluar (p. ej., biomasa subterránea, madera muerta y materia orgánica del suelo).

Las especies de plantas grandes se definen como aquellas que tienen un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 5 cm. Esto incluye tanto especies arbóreas como no arbóreas. La altura del pecho para la medición del DAP es de 1,3 metros.

Las especies de plantas grandes (denominadas 'árboles' por simplicidad, pero que también incluyen especies que no son árboles, como algunas palmeras) se miden bajo el siguiente procedimiento. (Rosoman, G., Sheun, SS):

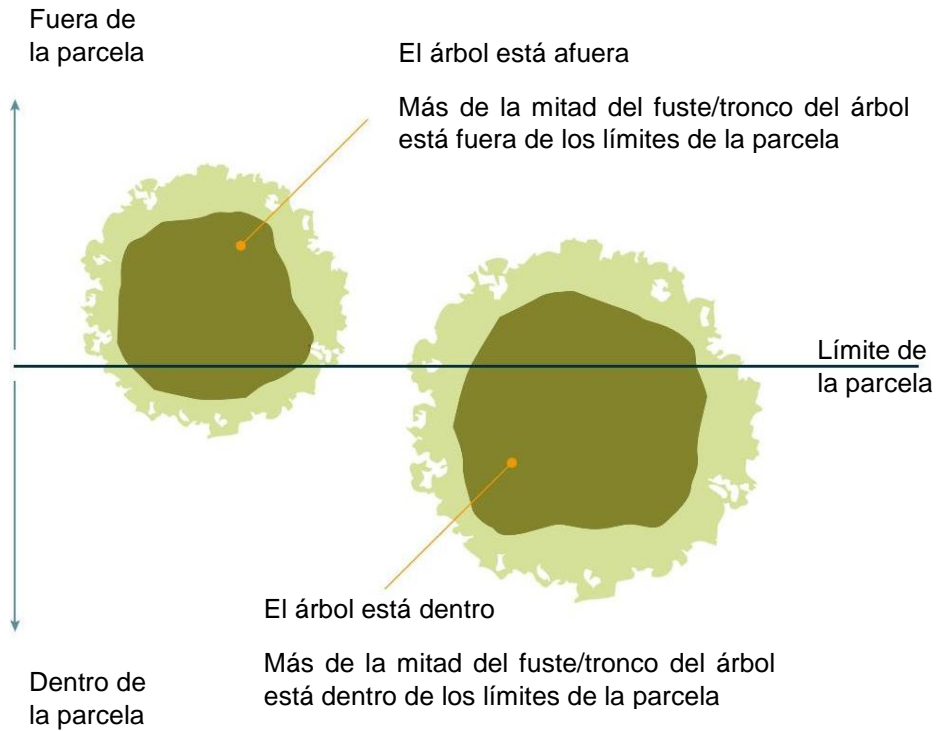
1. Identificación de árboles 'en': Un árbol se define como un 'en' árbol si el centro de su tallo en DAP está dentro los límites de la parcela. Los árboles en el borde de la parcela (árboles limítrofes) deben controlarse con una cuerda de nailon marcada en los radios correctos de la parcela (Figura 11).
2. Cinta de señalización: Cada árbol está etiquetado con cinta de señalización. La etiqueta debe indica el número de árbol registrado en la hoja de campo.
3. Medición de DAP: Todos los árboles mayores o iguales a 15 cm (DAP) deberán ser medidas en la parcela grande. Además de los árboles grandes, todos los árboles mayores o iguales a 5 cm y menores de 14.9 cm DAP deberán ser medida en la parcela pequeña.
4. Medida de altura: Dependiendo de la eventual ecuación alométrica utilizada, también puede ser necesario medir la altura total de los árboles. La altura de los árboles se midió con un hipsómetro medidor electrónico Blocsh.

Una vez que el usuario está familiarizado con su modo de operación, estos medidores son prácticos de usar y las mediciones pueden ser realizadas por una sola persona.

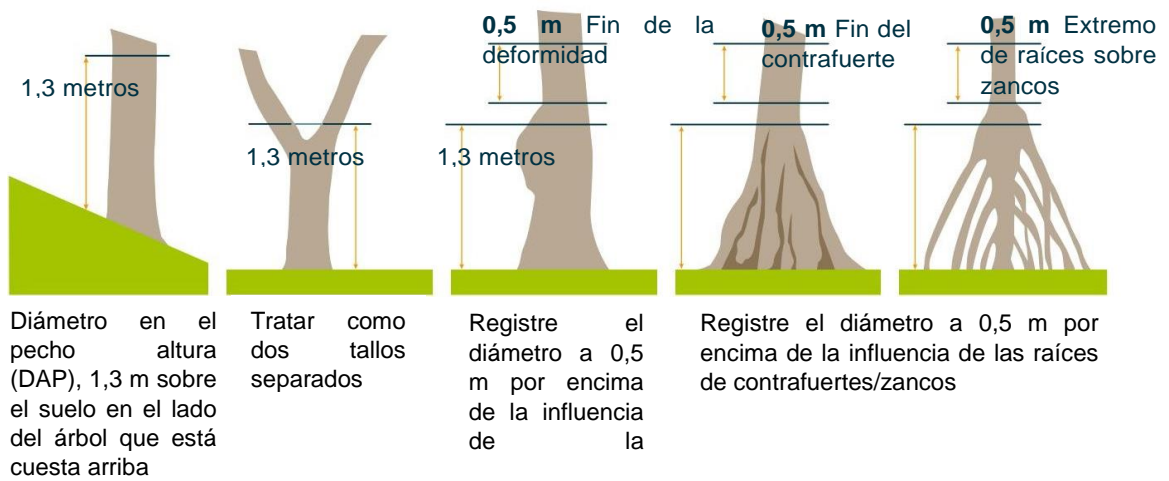
Lo siguiente es importante al medir la altura de los árboles:

- Identificar el punto objetivo antes de usar el medidor.
  - Asegurar una línea de visión despejada hacia el objetivo. En algunos casos, la interferencia de la maleza puede afectar los resultados.
  - La distancia desde el árbol debe ser tal que el ángulo al objetivo (por ejemplo, la parte superior del árbol) no exceda los 60 grados.
5. Especie: Todos los árboles medidos en la parcela se identificaron a nivel de género y preferiblemente a nivel de especie. Esta información es necesaria en la ecuación alométrica. Como se indicó anteriormente, los botánicos deben ser parte del equipo de campo; los nombres locales pueden anotarse en el libro de campo y traducirse a nombres de especies más adelante. Si no se puede identificar un género, se deben recolectar fotografías y muestras botánicas y marcarlas para que los expertos puedan identificarlas más tarde.





**Figura 12. Arboles límites**



**Figura 13. Método de medición de diámetro**

## **Trazo de fotografías**

Para todas las parcelas en el área de estudio, se tomaron cinco fotografías digitales en el centro de cada parcela. Cuatro fotografías orientadas alternativamente hacia el norte, sur, este y oeste, y una fotografía directamente hacia arriba para mostrar la densidad del dosel. Las fotografías ilustran la estructura básica y la densidad de la vegetación en cada parcela. Estas fotografías se registraron con sus coordenadas en Avenza Maps que previamente se descargaron en la computadora.

## **Análisis**

### Entrada y gestión de datos

En una hoja de cálculo se registraron los datos levantados en campo, como los datos de las parcelas, nombre de los puntos, coordenadas, nombre común de los árboles, nombre científico y familia, puesto que serán verificados por cualquier inconsistencia.

#### 8.4. Metodología del cálculo de carbono

Las ecuaciones para estimar la fijación de carbono son:

- **Área basal (G):**

$$G \left( \frac{m^2}{ha} \right) = \left( \frac{DAP}{100} \right)^2 * \left( \frac{\pi}{4} \right) * \left( \frac{10000}{Tp} \right) =$$

Donde

DAP: diámetro a la altura de pecho (cm)

Tp: Tamaño de parcela (500 o 100 m<sup>2</sup>)

- **Volumén (V):**

$$V \left( \frac{m^3}{ha} \right) = G * H * 0.5$$

Donde

H: altura total

- **Biomasa total (B):**

$$B \left( \frac{ton}{ha} \right) = V * WD * 1,4$$

Donde

WD: densidad de la madera

1,4: suma del 40% de la biomasa del fuste para contabilizar la biomasa aérea y biomasa radicular

- **Carbono (C):**

$$C = B * 0,47$$

Donde

0,47: factor de conversión recomendado por HCSA.

La densidad de la madera asignada a cada especie fue consultada de la base de datos "Wood Density Database".

Pruebas estadísticas: como parte del inventario forestal, y su confiabilidad de interferencia sobre la población, se llevó a cabo un análisis estadístico por

UM, utilizando las formulas definidas para un muestreo aleatorio estratificado, estas se programaron en una hoja electrónica de excel para hacer más ágil el procedimiento.

Después de haber realizado el cálculo de error de muestreo con un nivel de confianza del 75 %, se procedió a realizar distintas pruebas estadísticas para determinar si existían o no diferencias significativas.

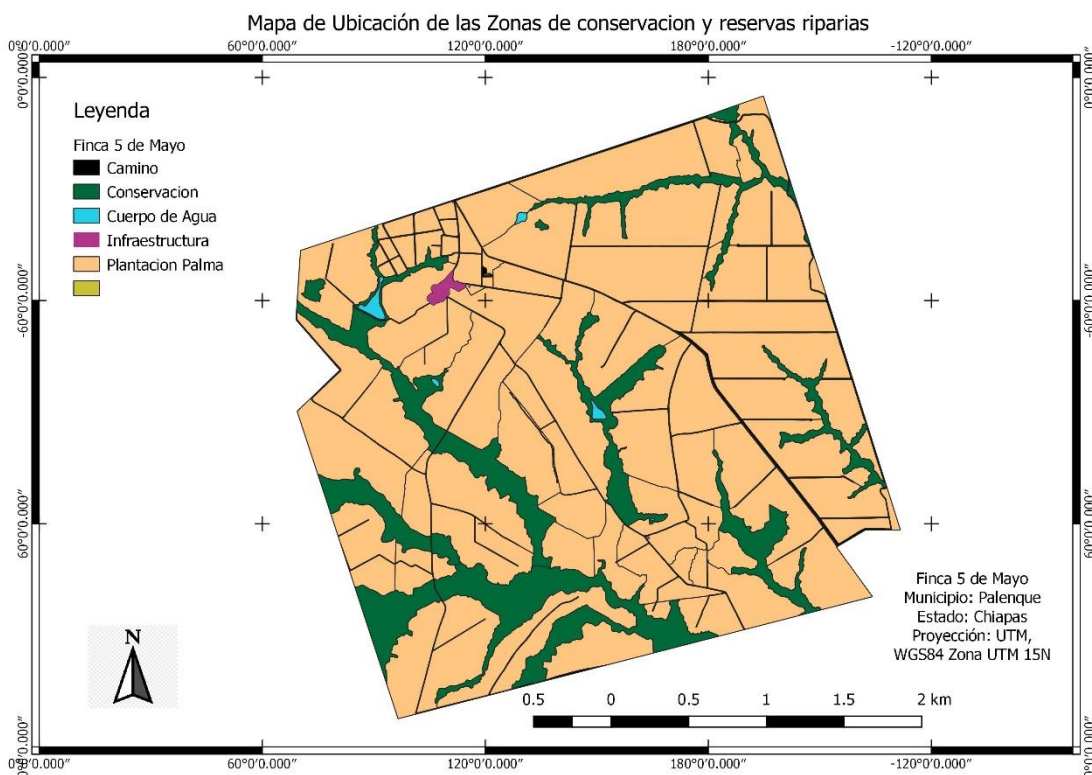
## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1. Resultados

#### 9.1.1. Mapa del área de estudio

La finca 5 de mayo cuenta con una superficie 1065.56 hectáreas, de las cuales aproximadamente 170.41 corresponden a las zonas de conservación y reservas riparias (figura 14).

#### Mapa de ubicación del área de estudio



**Figura 14.** Mapa de ubicación de las zonas de conservación y reservas riparias de la finca 5 de mayo.

### 9.1.2. Clasificación de cobertura

La metodología utilizada para la clasificación de la cobertura vegetal de la finca se basó en el procesamiento de imágenes con ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG), el proceso consistió principalmente en analizar las imágenes utilizando las herramientas que brinda el (SIG) Qgis para la interpretación de la cobertura terrestre basada en objetos.

#### Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal

El siguiente mapa muestra la clasificación de la cobertura vegetal de la finca, en el que se clasificaron árboles dispersos, áreas abiertas, bosque joven en regeneración, cobertura con leguminosa (*Mucuna bracteata*), matorral, pasto y zarza. Es importante mencionar que se pretende hacer restauración de zonas impactadas por especies de cobertura como la zarza, coberturas con leguminosas (*Mucuna bracteata* y *Pueraria phaseoloides*), el primer paso es eliminar las zonas con cobertura de leguminosa dado que esta especie por sus características expansivas tiene la capacidad de degradar los bosques.

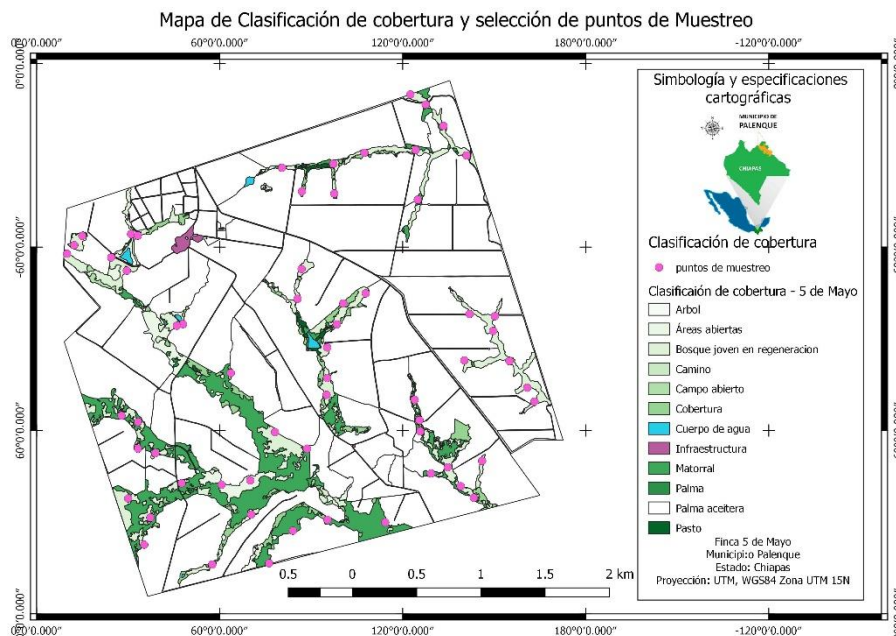


Figura 15. Mapa de clasificación de cobertura vegetal de la finca 5 de mayo

### **9.1.3. Muestreo de vegetación**

#### **Tamaño y forma de las parcelas**

Se establecieron parcelas circulares de 500 metros cuadrados, un radio de 12.61 m y una subparcela concéntrica de 100 metros cuadrados con un radio de 5.64 metros.

#### **Metodología**

La metodología aplicada para realizar el inventario fue muestreo aleatorio estratificado la sugerida en el módulo 4. Cuando se tuvieron los puntos centrales de cada parcela se compartieron en la aplicación Avenza Maps, ya en el punto se hizo una nueva georreferenciación, se colocó una estaca como punto de referencia fijo de centro de parcela, y se procedió a delimitar la subparcela y la parcela principal. En la subparcela se midieron todos los arboles con un DAP entre 5 y 14.9 cm, en la parcela se midieron todos los arboles mayores a 15 cm. Se determinó la altura total y su especie. Posteriormente se tomaron cinco fotografías orientadas alternativamente hacia el norte, sur, este y oeste, y una fotografía apuntando directamente hacia arriba para mostrar la densidad del dosel. Por último, se tomaron los datos de la densidad de dosel y se realizaron anotaciones del sitio.

Nota: una parcela no fue mediada debido a problemas de acceso y seguridad.

#### **Selección de puntos de muestreo**

Inicialmente, se sobrepusieron los polígonos de la finca sobre imágenes satelitales, para un reconocimiento general y planificación desde gabinete del trabajo de campo. La sobre posición de los polígonos sobre las fotos aéreas, permitió reconocer preliminarmente aquellos ecosistemas de interés presentes en la finca, dentro de los que se destacaron los siguientes: parches de bosque de extensiones considerables, cuerpos de agua y sus

correspondientes zonas de protección, áreas con potencias de conectividad y humedales, entre otros.

Lo anterior, con el objetivo de seleccionar puntos de muestreo, para la planificación de la comprobación de campo. Dichos puntos se ubicaron, en aquellos sitios que de acuerdo al reconocimiento preliminar a partir de imágenes satelitales.

En el cuadro 1 se encuentran registradas los árboles que fueron registrados durante el muestreo.

**Cuadro 1.** *Especies registradas en la vegetación de la finca.*

Familia	Género y especie	Nombre común
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>	Bojon
Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bola de toro
Polygonaceae	<i>Coccoloba barbadensis</i>	Bolchiche
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i>	Candelero
	<i>Dendropanax arboreus</i>	Pozol agrio
Clethraceae	<i>Clethra mexicana</i>	Canelillo
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	Capulin
Melastomataceae	<i>Miconia argentea</i>	Cenizo
Moraceae	<i>Ficus cotinifolia</i>	Copó
	<i>Trophis racemosa</i>	Majagua
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro
	<i>Guarea glabra</i>	Cola de pavo
	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba
Malvaceae	<i>Ceiba aesculifolia</i>	Ceibo
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guasimo
	<i>Ceiba pentandra</i>	Pochote
	<i>Pachira aquatica</i>	Zapote de agua
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i>	Escobillo



	<i>Spondias mombin</i>	Jobo
Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Guarumbo
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba
Rutaceae	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	Lomo de lagarto (lacte)
Vochysiaceae	<i>Vochysia guatemalensis</i>	Maca Colorado
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Maculi
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	Mulato
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance silvestre
Euphorbiaceae	<i>Alchornea latifolia</i>	Patastillo
Lauraceae	<i>Licaria campechiana</i>	Pimientillo
Salicaceae	<i>Zuelania guidonia</i>	Trementino
Sapindaceae	<i>Cupania dentata</i>	Quebrajache
Rubiaceae	<i>Blepharidium mexicanum</i>	Popiste
	<i>Blepharidium mexicanum</i>	Popistillo
	<i>Guettarda elliptica</i>	Puyon blanco
	<i>Alibertia edulis</i>	Castarrica
Fabaceae	<i>Haematoxylum campechianum</i>	Tinto
	<i>Mimosa arenosa</i>	Uña de gato
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Piche
	<i>Lonchocarpus parviflorus</i>	Gusanillo
	<i>Inga laurina</i>	Celele
	<i>Inga laurina</i>	Celelillo
	<i>Lonchocarpus parviflorus</i>	Gusanillo
	<i>Acosmium panamense</i>	Chakte
	<i>Acacia collinsii</i>	Cornezuelo
<i>Inga vera</i>	Jinicuil	
Aracaceae	<i>Attalea butyracea</i>	Corozo

#### 9.1.4. Cálculo de Carbono en las zonas de conservación y reservas riparias

Las ecuaciones para estimar la fijación de carbono fueron:

##### Área basal (G):

$$G (m^2/ha) = (Dap / 100)^2 * (\pi/4) * (10000/Tp)$$

Donde

Dap= diámetro a la altura de pecho (cm)

Tp= tamaño de parcela (500 ó 100 m<sup>2</sup>)

##### Volumen (V):

$$V (m^3/ha) = G * H * 0,5$$

Donde

H= altura total

##### Biomasa total (B):

$$B (ton/ha) = V * WD * 1,4$$

Donde

WD= densidad de la madera

1,4= suma del 40% de la biomasa del fuste para contabilizar la biomasa aérea y biomasa radicular.

##### Carbono (C):

$$C = B * 0,47$$

Donde

0,47= factor de conversión recomendado por HCSA

La densidad de la madera asignada a cada especie fue consultada de la base de datos "Wood Density Database".

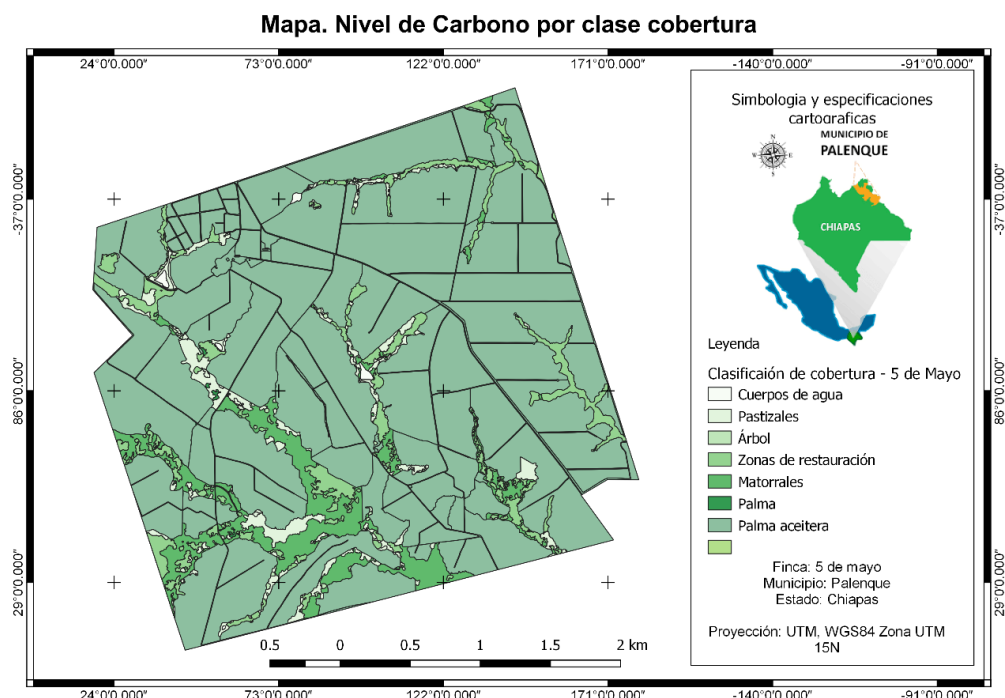
Pruebas estadísticas: como parte del inventario forestal, y su confiabilidad de inferencia sobre la población, se llevó a cabo un análisis estadístico, utilizando formulas definidas para un muestreo aleatorio estratificado, estas

se programaron en una hoja electrónica de Excel para hacer más ágil el procedimiento.

Después de haber realizado el cálculo de error de muestreo con un nivel de confianza del 75%, se procedió a realizar la prueba estadística para determinar si existían o no diferencias significativas.

### Mapa de niveles de captura de CO<sub>2</sub> por clase de cobertura

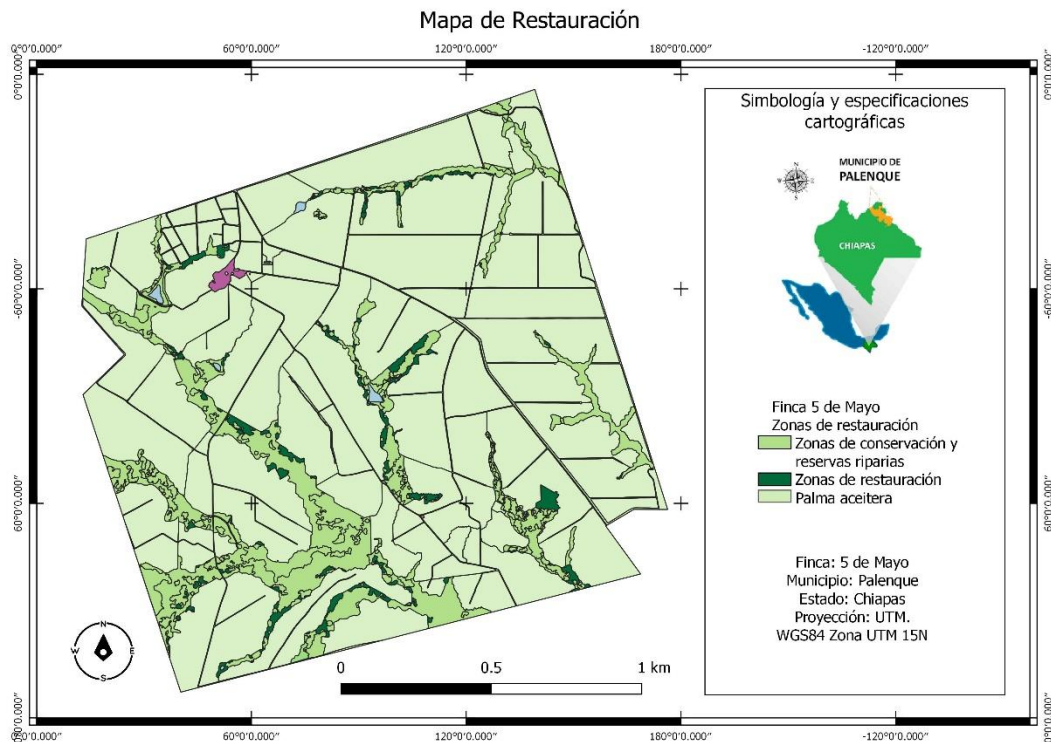
Siguiendo el orden de jerarquización de la cantidad de captura de CO<sub>2</sub> por clase de cobertura, en el mapa se muestra categorizado en las zonas con la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> están con color verde intenso y el de menos cantidad de CO<sub>2</sub> con un verde claro, con apoyo de los valores establecidos en la Calculadora de GEI para Nuevo Desarrollos de la RSPO se tomó el CO<sub>2</sub> que la planta palma almacena (*Elaeis guineensis*) especie utilizada en los cultivos de la finca, esta palma almacena 234.04 tCO<sub>2</sub>/año, de igual forma se estimaron las toneladas de CO<sub>2</sub> almacenadas por clases de cobertura, los matorrales almacenan 12,137.76 tCO<sub>2</sub>/año, el bosque joven en regeneración 8,285.26 tonCO<sub>2</sub>/año, y por último la cobertura con leguminosa 357.87 tCO<sub>2</sub>/año.



## Zona de restauración

Por último, se muestra el mapa de las zonas propuestas para restauración, dado que en ella se encuentra una cobertura con leguminosas (*Mucuna bracteata* y *Pueraria phaseoloides*) que son consideradas por el Centro Internacional de Agricultura y Biociencias (CABI) como especies invasoras, puesto que por sus características expansivas tiene la capacidad de degradar los bosques, inicialmente es eliminar estas coberturas de las zonas de conservación y reservas riparias de la finca, esta especie abarca un área de 19.52 ha que actualmente tiene una capacidad de almacenar 357.87 tCO<sub>2</sub> /año, y que tendría una capacidad de almacenar 2562.48 tCO<sub>2</sub>/ año por restauración en la etapa de bosque joven en regeneración.

Clase de cobertura	Cantidad de captura de CO <sub>2</sub> actual	Cantidad de CO <sub>2</sub> esperada por restauración
Cobertura con leguminosa ( <i>Mucuna bracteata</i> )	357.87 tCO <sub>2</sub> /año	2562.48 tCO <sub>2</sub> / año



## 9.2. Discusión

Uno de los principales puntos de interés era conocer las características del bosque y poder encontrar indicadores de mantenimiento o mejoramiento de ecosistemas. Teniendo como punto importante que los bosques van creciendo (en altura y diámetro) y que las estrategias de conservación nos permitirían demostrar su mantenimiento a través del tiempo con parcelas establecidas. De igual forma, la restauración de zonas impactadas por especies de cobertura como la zarza, y leguminosas (*Mucuna bracteata* y *Pueraria phaseoloides*). El primer paso es eliminar las leguminosas por ser una especie invasora, que por sus características expansivas tiene la capacidad de degradar los bosques.

Y de igual manera marcar objetivos a largo plazo como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por aumento de zonas boscosas como estrategia de mitigación de emisiones de contaminantes.

También se estimó el valor promedio de CO<sub>2</sub> almacenado (131.27 tCO<sub>2</sub>/año) de acuerdo al total por parcela (anexo 4), el mismo que utilizamos para obtener el contenido de carbono almacenado en los bosques jóvenes en regeneración, estos tienen un área total de 63.114 ha, estimando 8,285.26 tonCO<sub>2</sub>/año almacenado.

Estos resultados constituyen una primera estimación cuantitativa de CO<sub>2</sub> almacenado en las zonas de conservación y reservas riparias de la finca 5 de mayo de Palenque Chiapas, la cual podría usarse como base inicial para hacer monitoreo de carbono conforme al tiempo, y de esta forma seguir conservando y seguir formando parte de las estrategias de mitigación del cambio climático.

## **X. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES**

### **10.1. Conclusión**

La superficie total de las zonas de conservación y reservas riparias de la finca 5 de mayo es de 170.41 hectáreas, la clase de cobertura con mayor captura de CO<sub>2</sub> son los matorrales puesto que se estimó 12,137.76 tCO<sub>2</sub>/año, el contenido de CO<sub>2</sub> almacenado en el bosque joven en regeneración es de 8,285.26 tonCO<sub>2</sub>/año, y por último la cobertura con leguminosa 357.87 tCO<sub>2</sub>/año.

La cantidad estimada de captura de CO<sub>2</sub> que se espera de captación por restauración en las zonas de coberturas con leguminosas es de 2,562.48 tCO<sub>2</sub>/año.

Considerando que la captura de carbono es un servicio ambiental, conocer la cantidad de carbono almacenado en las zonas de conservación y reservas riparias de la finca 5 de mayo, puede ser base para desarrollar, implementar y monitorear CO<sub>2</sub> y estimar la reducción de emisiones y a su vez ser un indicador de seguimiento de conservación de ecosistemas

## **10.2. Recomendaciones**

Mantener las zonas de conservación es de vital importancia para conseguir preservar la cantidad de carbono almacenado y lograr un aumento constante de la captura de carbono.

La empresa cuenta con un plan de manejo de reservas riparias y establecimiento de zonas buffer, con el objetivo de evitar la contaminación de los cuerpos de agua, conservar la vegetación de especies nativas de la zona en los lugares donde se requiera y crear una zona buffer en las palmas sembradas en las orillas de los ríos, eliminando la aplicación de agroquímicos y fertilizantes.

Las reservas riparias o zonas buffer se establecieron a lo largo de las vías fluviales naturales que se encuentran dentro o a lo largo de los límites de las plantaciones de palma de aceite. Las vías fluviales incluyen ríos, arroyos, lagos, humedales, lagunas y estanques.

Si dentro de la zona delimitada se encuentran palmas, las mismas deberán de marcarse con pintura amarilla para que sean identificadas como “Zona de manejo especial”.

Cabe mencionar que en las zonas de conservación se ubican carteles que las identifican, al igual que otros como carteles de “no cortar árboles”, “no hacer fogata”, “prohibido cazar”, “no pescar”, “cuida el agua”, “prohibido tirar basura”, “cuida los arroyos”, “conserva la fauna”, etc.

Cuidar y mantener las zonas de conservación permitirá que estas sigan proporcionando los servicios ecosistémicos que brindan.

También se implementará un proyecto de restauración en las zonas con especies de plantas invasoras eliminadas.

## XI. REFERENCIAS

R. Rodríguez. - J. Jiménez. Et al. 2009 “Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México”. Vol. 5 num. 3. P. 13. Redalyc. Recuperado de: [ <https://www.redalyc.org/pdf/461/46111817006.pdf> ]

G. Delgado, G. García... et al. 2010. México frente al cambio climático: retos y oportunidades. – México: UNAM, Centro de Ciencias de la Atmósfera: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Programa de Investigación en Cambio Climático: Programa Universitario de Medio Ambiente.

H. Ballesteros, G. León. “información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático”. IDEAM 2007.

FAO. Global Forest Resources Assessment 2015. FAO. Roma. 2015. IPCC. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. IPCC, New York. 2007. Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Semarnat. México. 2016.

Rosoman, G., Sheun, SS, Opal, C., Anderson, P. y Trapshah, R., editores. (2017) El kit de herramientas del enfoque HCS. Singapur: HCS Approach Steering Group.

J. Andrade, J. Dupuy & J. Stefanoni (2014). “Investigación científica desde Yucatán - Medición de carbono forestal en Yucatán”. Ciencia y desarrollo. CONACYT. P. 15

IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [R.K. Pachauri y L.A. Meyer]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

SEMARNAT, Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, 2019, “ATMÓSFERA”. Disponible en Línea: [ <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>, <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap5.html> ].



Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, INECC. México. 2017. INECC. Informe Nacional de la Calidad del Aire 2014. Disponible en: [www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/Informe%20nacional%20calidad%20del%20aire%202014\\_Final.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/Informe%20nacional%20calidad%20del%20aire%202014_Final.pdf).

IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Reino Unido y Nueva York. 2014.

IPCC, 2013 “Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [D. Qin, G.-K. Plattner, S.K. Allen, V. Bex et al]. Cambridge, Reino Unido, Nueva York, NY, Estados Unidos de América. Pag. 222

Conagua. *Monitor de Sequía de México*. Servicio Meteorológico Nacional, Conagua. México. 2018.  
Disponible en: <http://smn.conagua.gob.mx/es/monitor-de-sequia-en-mexico2>.

Jiménez J, Calderón Ó, et al. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México, Sinaloa, Ra ximhai.

Bolaños M, Paz F. et al. (2017). Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoamericana* 35: 73-86.

SEMARNAT, SEMAHN, et al. “Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Chiapas 2018-2027” 2018.

I. Muñoz, M.Silva, S. Dirzo. Et al. 1999 *Dendopanax arboreus*. En Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.

Disponible en línea:  
[[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/7-arali1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/7-arali1m.pdf)]

Bárceñas Pazos G, Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad C (2021). Banco de información sobre características tecnológicas de maderas mexicanas. Comisión nacional para el conocimiento

y uso de la biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/z0ztcw> accessed via GBIF.org Global Biodiversity Information Facility.

González Espinosa M, Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad C (2021). Árboles de Chiapas: registro georreferenciado de los ejemplares depositados en el herbario de la Academia de Ciencias de California (CAS). Version 1.9. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/lawnyb> accessed via GBIF.org

G. Olivera. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad C (2021). Flora de la reserva de la biósfera de los Pantanos de Centla, en el estado de Tabasco, México. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/nfizxi> accessed via GBIF.org, <https://www.gbif.org/occurrence/1894873951>

J. Martinez. A. Bremauntz. SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. “Cambio Climático una vision desde México”. Primera edición: 2004. P. 523.

Espinosa, M. (2005). Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la Cuenca alta del río Magdalena, D.f. (Tesis para licenciatura en biología). Universidad Nacional Autónoma de México.

Hernandez, A. (2015). Estimación del contenido y captura de carbono en la segunda sección del bosque de Chapultepec, Distrito Federal. (Tesis para licenciatura en biología). Universidad Nacional Autónoma de México.

SEMARNAT “**INFORME PREVENTIVO DEL PROYECTO PETROLERO**”, 2003. Disponible en línea: [\[http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/tab/estudios/2003/27TA2003X0005.html\]](http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/tab/estudios/2003/27TA2003X0005.html)

## XII. ANEXOS

### Anexo 1. Formulario de Inventario Forestal

#### Formulario de Inventario Forestal

Nombre de la finca: 5 de Mayo Fecha: Agosto 22  
 Líder del equipo de campo: \_\_\_\_\_ Coordinadas 17°37'12.6" N  
91°54'59.9" W  
 Cobertura de dosel: 78.99  
 Parcela/lote #: 1 / 207

Árbol #	Especie	DAP cm	Altura h/m	Árbol #	Especie	DAP	Altura
5.64	1 Quásimo	8.5cm	6m	8	Quásimo	5.5cm	8m
	2 Quásimo	5.5cm	6m	8		8m	8m
	3 Quásimo	7.5cm	8m	8		7cm	8m
	3	9cm	8m	8		8.5cm	8m
	3	10cm	8m	8		9cm	8m
	3	12cm	8m	8		6cm	8m
	3	7cm	8m	8		8cm	8m
	3	9cm	8m	9	Quásimo	8.5cm	9m
	4 Quásimo	11cm	11m	9		5m	9m
	4	9cm	7m	9		6cm	9m
	4	7cm	7m	10	Quásimo	8cm	9m
	4	7.5cm	7m	10		6cm	9m
	5 Quásimo	7.5cm	8m	10		7cm	9m
	5	7cm	8m	11	Quásimo	9cm	9m
	5	9cm	8m		12.61 Exterior		
	6 Quásimo	8.5cm	7m	1	Quásimo	15.5	8m
	7 Quásimo	11.5cm	9m				
	7	8cm	9m				
	7	9cm	9m				
	7	8.5cm	9m				

Observaciones:

(1)

**Formulario de Inventario Forestal**

Nombre de la finca: 5 de Mayo Fecha: Agosto 22

Líder del equipo de campo: \_\_\_\_\_ Coordenadas 17°37'18.5" N

Cobertura de dosel: 53.2% 91°54'54.7" Coordenadas.

Parcela/lote #: 2/107 Punto #3 17°37'18.11" 65.05%  
Punto #2 91°55'8" Cobertura

5.64

5.64  
Parcela

Árbol #	Especie	DAP	Altura	Árbol #	Especie	DAP	Altura
1	Guásimo	14.9cm	8m	1	Gandeleiro	10cm	7m
2	Guásimo	14cm	10m	2	Guarumbo	13cm	8m
2		8.5cm	10m	3	Guásimo	12.5cm	10m
3	Guásimo	13cm	6m	4	Guásimo	11cm	10m
4	Guásimo	7.5cm	8m	5	Guásimo	9cm	8m
4		9cm	8m	6	Guásimo	14.9cm	9m
4		6cm	8m	7	Guásimo	7cm	9m
4		13cm	8m	8	Guásimo	11cm	11m
4		5.5cm	8m	9	Guásimo	7cm	12m
5	Guásimo	8.5cm	9m	10	Guásimo	9.5cm	12m
6	Guásimo	10cm	9m	11	Guásimo	5.5	7m
~	~ ~ ~ ~	~	~ ~	12	Guásimo	5.5cm	9m
1	Guásimo	17cm	5m	13	Guásimo	5.5cm	8m
2	Guásimo	25cm	9m	14	Guásimo	7cm	8m
3	Guásimo	18cm	9m	15	Guásimo	8.5cm	8m
4	Guásimo	18.5cm	8m	16	Guásimo	8.5cm	11m
5	Cenizo	24.5cm	5m	17	Guásimo	9cm	11m
				18	Guásimo	13cm	9m
				18		12.5cm	9m
				19	Guásimo	8.5cm	7m
				19		6cm	7m

12.61

Observaciones:

(2)

Formulario de Inventario Forestal

Nombre de la finca: 5 de Mayo Fecha: Agosto 22

Lider del equipo de campo: \_\_\_\_\_ Coordenadas 17°37'18" N

Cobertura de dosel: 65.05% 91°55'8"

Parcela/lote #: 3 / L07

Punto 4 / L07 17°37'16"

Coordenadas: 91°55'10"

Cobertura de Dosel 69.26%

Continuación

Árbol #	Especie	DAP	Altura	Árbol #	Especie	DAP	Altura
20	Mulato	7.5m	6m	1	Guásimo	9cm	7m
21	Guarumbo	11cm	11m	2	Capulin	10.5cm	7m
21		11.5	11m	3	Ceibo	9cm	6m
~	~	~	~	4	Pachote	11cm	10m
1	Guásimo	19cm	8m	5	Guásimo	6.5cm	7m
2	Guásimo	17cm	10m	6	Guásimo	5.5cm	7m
3	Guásimo	15cm	9cm	7	Guásimo	8cm	8m
4	Guásimo	15.5cm	10m	8	Guásimo	5cm	6m
5	Guásimo	19cm	10m	9	Guásimo	11cm	7m
6	Guásimo	20cm	5m	10	Guásimo	9cm	9m
7	Pachote	20.5cm	11m	11	Guásimo	9.5cm	9m
				11	Guásimo	13cm	9m
				12	Guásimo	14.5	9m
				1	Pachote	18cm	11m
				2	Pachote	15.5cm	8m
				3	Pachote	22cm	10m
				4	Pachote	16cm	8m
				5	Guásimo	16cm	9m
				6	Guásimo	16cm	8m
				7	Guásimo	15.5cm	9m
				8	Pachote	15cm	10m

12.61

5.64m

12.61m

Observaciones:

③

## Anexo 2. Lista de equipos para el inventario forestal

Equipo	Modelo	Cantidad	Especificaciones
GPS	Garmin GPSMAPS (62S, 64S o similar)	1	
Medidor de altura	Haglof Vertex VI	1	
Cámara	Cámara digital	1	
Cintas	Cintas de diámetro – 5m	1	Fibra de vidrio recubierta
	Cintas de diámetro – 1,8 m	2	
	Cinta de 50 m - TajimaYSR-50	1	Fibra de vidrio recubierta
	Cinta de 20 m - TajimaYSR-20	1	
	Cinta de señalización	20	Rollos
Baterías	AA	Según sea necesario	Baterías de repuesto GPS
	Otros según sea necesario	Según sea necesario	Medidor de altura, Cámara
Brújula	Arrancador SILVA® Tipo 1-2-3	1	
	Cuchillos y afiladores	4	
	Botiquín de primeros auxilios	1	
	Mochila	1	
	Lapices y bolígrafos	1 caja	
	Marcador de pizarra permanente	1 caja	Para escribir en las etiquetas de los arboles
	Cuter	2	Para corta etiquetas de los arboles
	Regla de 30 cm	1	
	Grapadora y grapas	2	Para pegar la etiqueta al árbol
	Libros de campo	4	Blocs de notas resistentes al agua para todo tipo de clima
	Bolsas de plastic tipo ziplok		Para mantener secos móviles, mapas, etc.

### Anexo 3. Ubicación de los sitios de muestreo

Referencia	Latitud	Longitud
1	17°37'12.6"	91° 54' 59.9"
2	17°37'18.5"	91° 54' 54.7"
3	17° 37' 18"	91° 55' 8"
4	17° 37' 16"	91° 55' 10"
5	17° 37' 14"	91° 55' 12"
6	17° 37' 08.2"	91° 54' 55.2"
7	17° 37' 18.3"	91° 54' 52.6"
8	17° 36' 56"	91° 54' 39.4"
9	17°36'55.3"	91°54'42.7"
10	17°36'43.0"	91°54'28.2"
11	17°36'28.3"	91°54'17"
12	17°36'24.0"	91°54'08.5"
13	17°36'37.7"	91°54'03.5"
14	17°36'23.1"	91°54'48.6"
15	17°35'59.9"	91°54'51.6"
16	17°36'06.8'	91°54'50.0"
17	17°36'24.4"	91°54'53.2"
18	17°36'32.5"	91°54'57.3"
19	17°36'16.6"	91°54'24.2"
20	17°35'15.1"	91°54'31.1"
21	17°36'15.4"	91°54'41.6"
22	17°36'31.1"	91°54'52.9"
23	17°36'06.2"	91°54'03.2"
24	17°36'07.4"	91°54'23.3"
25	17°35'54.8"	91°54'33.7"
26	17°36'03.3"	91°54'12.3"
27	17°35'54.8"	91°54'18.7"

Referencia	Latitud	Longitud
28	17°36'05.2"	91°53'47.9"
29	17°37'09.6"	91°54'09.6"
30	17°37'01.9"	91°54'10.8"
31	17°37'00.7"	91°55'58.7"
32	17°37'03.2"	91°53'52.7"
33	17°36'55.4"	91°54'00.4"
34	17°36'49.5"	91°54'03.0"
35	17°36'41.8"	91°54'03.1"
36	17°37'35.1"	91°54'14.7"
37	17°37'29.1"	91°54'09.4"
38	17°37'28.5"	91°54'00.9"
39	17°37'36.0"	91°54'01.1"
40	17°37'38.8"	91°53'52.8"
41	17°37'26.8"	91°53'38.8"
42	17°37'39.4"	91°53'39.3"
43	17°37'37.9"	91°53'25.9"
44	17°36'11.3"	91°53'24.5"
45	17°36'17.5"	91°53'35.7"
46	17°36'19.1"	91°53'31.3"
47	17°36'28.2"	91°53'38.5"
48	17°36'14.3"	91°53'27.9"
49	17°36'20.7"	91°53'22.2"
50	17°36'31.0"	91°53'38.7"
51	17°36'36.6"	91°53'39.9"
52	17°36'35.5"	91°53'08.3"
53	17°36'39.1"	91°53'10.2"
54	17°36'45.8"	91°53'14.8"

55	17°36'46.1"	91°53'26.8"
56	17°36'53.5"	91°53'19.1"
57	17°36'57.2"	91°53'18.6"
58	17°36'57.8"	91°53'25.3"
59	17°37'45.4"	91°53'31.9"
60	17°37'50.9"	91°53'36.6"
61	17°37'53.4"	91°53'40.6"
62	No medida	No medida

**Anexo 4.** Contenido de carbono por parcelas en las zonas de conservación y reservas riparias.

Variable Fijación de Carbono (ton/ha)			
Parcela	Parc 100 m <sup>2</sup> (ton) <sup>2</sup>	Parc 500 m <sup>2</sup> (ton)	Total
1	31.92	0.67	32.59
2	17.32	5.32	22.64
3	32.84	6.38	39.23
4	15.74	5.13	20.87
5	4.99	12.96	17.95
6	3.99	13.27	17.26
7	5.71	24.57	30.28
8	10.56	0.76	11.32
9	15.83	1.60	17.42
10	3.34	0.77	4.11
11	8.91	10.48	19.40
12	2.05	7.91	9.96
13	16.34	41.87	58.21
14	9.79	15.69	25.48
15	14.47	19.50	33.97
16	5.92	130.32	136.24
17	16.18	7.87	24.05
18	25.02	13.03	38.05
19	1.71	49.13	50.84
20	1.15	8.05	9.20
21	4.97	25.18	30.15

22	8.87	6.07	14.94
23	31.75	16.11	47.86
24	5.95	3.66	9.61
25	8.63	15.57	24.20
26	15.00	3.92	18.92
27	16.75	1.73	18.48
28	17.40	1.73	19.13
29	1.59	54.78	56.37
30	4.82	72.85	77.67
31	4.07	2.64	6.71
32	13.78	12.94	26.72
33	4.14	4.65	8.79
34	16.70	5.15	21.85
35	6.04	40.12	46.17
36	4.63	127.38	132.01
37	2.05	0.00	2.05
38	13.42	4.33	17.75
39	5.56	6.18	11.75
40	23.99	84.70	108.70
41	10.18	9.55	19.73
42	3.70	79.57	83.28
43	9.45	259.72	269.17
44	8.59	22.76	31.34
45	7.65	61.91	69.56
46	2.31	21.57	23.88



47	23.19	5.72	28.90
48	2.97	38.55	41.52
49	4.15	14.77	18.92
50	9.47	31.16	40.64
51	4.97	12.88	17.85
52	3.79	0.00	3.79
53	2.89	2.23	5.12
54	3.48	18.86	22.35
55	4.74	2.10	6.83
56	16.55	34.35	50.90

57	9.08	3.92	13.01
58	2.33	6.56	8.89
59	7.86	20.67	28.53
60	6.47	13.56	20.04
61	7.83	52.99	60.82
62	0.00	0.00	0.00
63	0.00	0.00	0.00
Total			2183.93
Promedio			35.80