

# Agenda de investigación-innovación en la captura de carbono en masas forestales

Aragón-Magadán, Mayra<sup>1\*</sup>; Martínez-Montoya, Juan Felipe<sup>1\*</sup>; Quiñonez-Barraza, Gerónimo<sup>2</sup>; Peredo-Rivera, Ernesto<sup>1</sup>; Rössel-Ramírez, David Walter<sup>3</sup>; Rodríguez-Herrera, Jorge Guillermo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, C.P. 78600. Salinas de Hidalgo, SLP, México.

<sup>2</sup> Campo Experimental Valle del Guadiana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

<sup>3</sup> Tech México, Universidad Tecnológica, Avda. Ejército Nacional 843B, Corp. Antara I piso 5 Of. 013, Col. Granada, Alcaldía Miguel Hidalgo, 11520, Ciudad de México.

\* Autor para correspondencia: fmontoya@colpos.mx

## Línea de investigación 1

*Reservorio de carbono en masas forestales estimado mediante sensores LIDAR*

### Contexto general del tema

Desde hace años, los inventarios forestales se han utilizado para conocer/estimar la biomasa forestal, con fines de aprovechamiento, conservación, protección, restauración u otros objetivos ecológicos; en la actualidad existen métodos novedosos para los inventarios forestales y estimación de reservorios de carbono, tal como las imágenes LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), con las que se reduce el capital humano y el económico, así como los riesgos y se garantiza el acceso a lugares inaccesibles, sin embargo, estas técnicas aún no son aceptadas para la realización de dichos inventarios, por lo que hace falta demostrar su eficiencia, ventajas y utilidad.

**Cómo citar:** Aragón-Magadán, M., Martínez-Montoya, J. F., Quiñonez-Barraza, G., Peredo-Rivera, E., Rössel-Ramírez, D. W., & Rodríguez-Herrera, J. G. (2024). Agenda de investigación para la innovación de captura de carbono en reservorios de masas forestales. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.441>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 127-140.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International

### Objetivo general

- Determinar la eficiencia de los sensores LIDAR para estimar el reservorio de carbono de masas forestales de zonas áridas y templadas.

### Objetivos específicos

- Realizar inventarios forestales en zonas áridas y templadas mediante el método tradicional y usando sensores LIDAR.
- Conocer la eficiencia de los sensores LIDAR para estimar el reservorio de carbono de masas forestales de zonas áridas y templadas.
- Comparar el método tradicional de inventarios forestales con los sensores LIDAR para estimar reservorios de carbono.
- Estimar el error estadístico de los sensores LIDAR en la estimación de reservorios de carbono.



### Metas

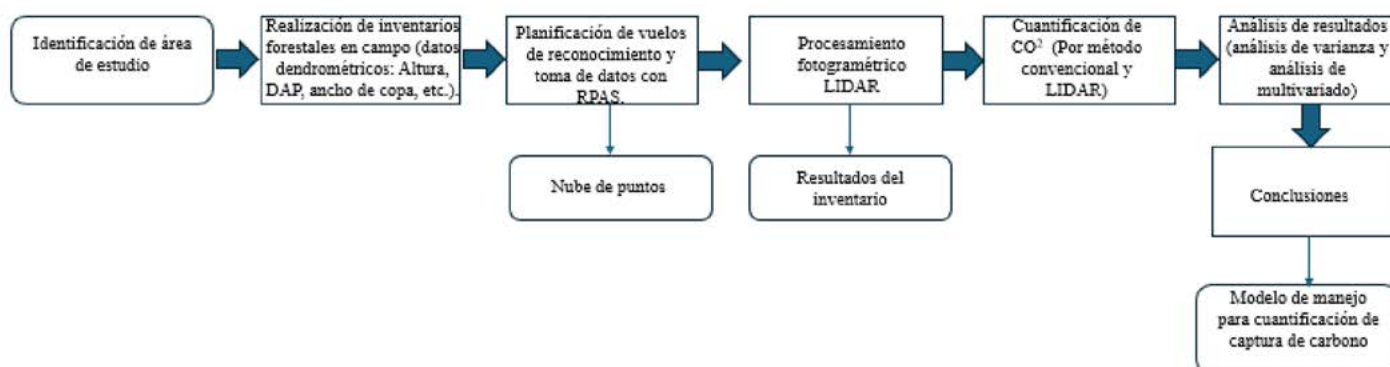
- Determinar la eficiencia del sensor LIDAR en la captura de carbono en masas forestales en zonas áridas y templadas.
- Realizar dos inventarios forestales en zonas áridas y templadas mediante sensores LIDAR.
- Estimar la similitud del método tradicional de inventarios forestales para captura de carbono contra sensores LIDAR.
- Cuantificar el error estadístico de los sensores LIDAR en la captura de carbono.

### Hipótesis

- La estimación de los reservorios de carbono mediante tecnología LIDAR es similar a la obtenida con la tecnología de campo o método tradicional.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Titulo	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
<p>¿Con los sensores LÍDAR se puede cuantificar el reservorio de carbono en las masas forestales?</p>	<p>Evaluar la estimación del reservorio de carbono con sensores LÍDAR</p>	<p>Reservorio de carbono en masas forestales estimado mediante sensores LÍDAR.</p>	<p>Realizar inventarios forestales en zonas áridas y templadas mediante sensores LIDAR.</p> <p>Determinar la eficiencia de los sensores LIDAR en la estimación del reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y templadas.</p> <p>Comparar el método tradicional de inventarios forestales para captura de carbono contra sensores LIDAR.</p> <p>Estimar el error estadístico de los sensores LIDAR en la captura de carbono.</p>	<p>Levantamiento de inventarios forestales con medición directa en campo, en parcelas de muestreo (tamaño de parcela, de árboles).</p> <p>VARIABLES AMBIENTALES (geoposición, pendiente, orientación, fisicoquímico de suelo, vientos).</p> <p>VARIABLES DASMÉTRICAS (especie, altura total, DAP, altura y ancho de copa, geoposición, vigor, defectos en fuste, copa y ramas).</p> <p>Cálculo de volumen, biomasa y captura de carbono (tradicional).</p> <p>Fotografías aéreas con drones de la masa forestal con sensores LIDAR.</p> <p>Fotointerpretación de las masas forestales.</p> <p>Cálculo de volumen, biomasa y reservorio de carbono (LIDAR).</p> <p>Comparación entre los métodos LIDAR y Tradicional</p> <p>Comparación de resultados en zonas áridas y templadas</p>	<p>Análisis de varianza de los dos métodos, zonas y de estudio.</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables de suelo, especies, zonas de estudio, geoposición (LN, LO, altitud) y valores de captura.</p>	<p>Se espera similitud entre zonas y métodos de estudio.</p> <p>Se esperan diferencias entre método tradicional y LIDAR.</p> <p>Se esperan diferencias en la estimación del reservorio de carbono en función de la biomasa; sin embargo, se espera documentar la importancia de las especies en los reservorios de carbono.</p> <p>Se espera identificar la(s) variable(s) que influyen en la eficiencia para el cálculo los reservorios de carbono.</p>	<p>Modelo de manejo para estimar reservorio de carbono (inductor).</p> <p>Desarrollo tecnológico para zonas áridas y templadas de calculo de captura de carbono.</p>

## Línea de investigación 2

*Propuesta de un método para estimar reservorios de carbono en masas forestales usando sensores LIDAR*

### Contexto general del tema

Los créditos de carbono son un instrumento internacional que permite a empresas y países compensar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), surgen como una alternativa a la disminución de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que la industria y quema de combustibles fósiles, etc. emite a la atmósfera, son una medida de compensación en donde cada crédito de carbono equivale a la emisión de una tonelada de carbono equivalente (tCO<sub>2e</sub>), o su gas equivalente de GEI. La generación de estos créditos debe de ser el resultado de proyectos sostenibles que certifiquen la reducción de estas emisiones a la atmósfera, a su vez deben estar avalados por organismos internaciones, tales como la Reserva de acción climática, Verra, Gold Estándar, Norma ISO, entre otras.

La metodología que cada protocolo adopta para la cuantificación del reservorio de carbono es variable, con estos métodos se debe asegurar que la credibilidad de la cuantificación de los créditos, con los que se garanticen la contabilidad legítima y que los valores no sobreestimen o subestimen estos créditos; sin embargo, en la actualidad aún no se han adoptado medios, materiales o tecnologías alternativas para la cuantificación, tal como los sensores remotos, donde el capital humano no sea la única fuente de trabajo.

### Objetivo general

- Proponer una metodología, que involucre a los sensores LIDAR, para la estimación de masas forestales, como parte del protocolo de mayor uso en México.

### Objetivos específicos

- Identificar e implementar protocolos para estimar el reservorio de carbono de masas forestales en zonas áridas y templadas.
- Comparar los resultados de la estimación del reservorio de carbono forestal, utilizando sensores LIDAR contra varios protocolos convencionales.

### Metas

- Identificar e implementar al menos dos protocolos de estimación del reservorio de carbono de masas forestales en zonas áridas y templadas.
- Nueva propuesta metodológica para estimar el reservorio de carbono en masas forestales.
- Programa de capacitación y sensibilización de la nueva metodología para estimar el reservorio de carbono en masas forestales.

### Hipótesis

- La metodología para estimar el reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y templadas basada en sensores LIDAR, es igual de eficiente, técnica y operativamente, que la metodología del Protocolo de mayor uso en México.

**Tiempos (fases)**

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo proponer que los sensores LIDAR sean aceptados en los protocolos de estimación del reservorio de carbono.	Proponer una nueva metodología mediante sensores LIDAR como parte de los protocolos de estimación de reservorios de carbono	Propuesta de un método para estimar reservorios de carbono en masas forestales usando sensores LIDAR	<p>Identificar los protocolos de estimación de reservorio de carbono de masas forestales.</p> <p>Desarrollar una metodología mediante el uso de sensores LIDAR para estimar las masas forestales.</p> <p>Comparar los resultados de la estimación de reservorio de carbono forestal utilizando varios protocolos.</p>	<p>Levantamiento de inventarios forestales de acuerdo con la metodología propuesta en varios protocolos.</p> <p>Variables ambientales: georreferencias, pendiente, orientación, fisicoquímico de suelo, viento.</p> <p>Variables dasométricas: especie, altura total, DAP, altura y ancho de copa, geoposición, vigor, defectos en fuste, copa y ramas.</p> <p>Estimación del volumen, biomasa y reservorio de carbono por método utilizado.</p> <p>Información LIDAR obtenida con sensores montados en drones de la masa forestal.</p> <p>Análisis de la información LIDAR de las masas forestales.</p> <p>Comparación entre los métodos LIDAR y Tradicionales</p> <p>Propuesta de metodología LIDAR.</p>	<p>Análisis de varianza entre los protocolos tradicionales y sensor LIDAR.</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables de suelo, especies, zonas de estudio, geoposición (LN, LO, altitud) y reservorio de carbono.</p>	<p>Se esperan diferencias entre las metodologías propuestas tradicionales contra los sensores LIDAR.</p> <p>Se esperan diferencias en el cálculo del reservorio de carbono en función de la biomasa y ecosistemas.</p>	<p>Metodología para estimar el reservorio de carbono.</p> <p>Desarrollo del programa de capacitación y sensibilización de la nueva metodología para estimar el reservorio de carbono en masas forestales, para que sea aceptada y usada en México.</p>

### Línea de investigación 3

#### *Aplicación y validación de sensores para la estimación del reservorio de carbono en zonas áridas*

##### **Contexto general del tema**

En la actualidad, el principal sector emisor de créditos de carbono en el mercado son provenientes de proyectos forestales de bosques templados, en donde *Pinus* y *Quercus* son los principales géneros de estos bosques, seguido de selvas tropicales, siendo ambos los mayores reservorios de carbono vegetal, esto debido a las características fenológicas de estas especies, un mayor desarrollo y crecimiento anual, traducido en mayor absorción de carbono. Siguiendo esta dinámica, la vegetación de zonas áridas no ha sido de interés en el desarrollo de este tema en particular, las metodologías actuales son estándares, sin embargo, no se adaptan a las zonas áridas y semiáridas.

##### **Objetivo general**

- Desarrollar metodología para la estimación del reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y semiáridas, con base en la aplicación y validación de diferentes sensores remotos.

##### **Objetivos específicos**

- Identificar, proponer técnicas y actividades para mejorar la eficiencia de metodologías para la estimación del reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y semiáridas.
- Determinar la eficiencia de uso de sensores (RGB, NDVI, LIDAR terrestre, térmico) en la estimación del reservorio de carbono en masas forestales en zonas áridas y semiáridas.
- Realizar inventarios forestales mediante el uso de sensores para estimar el reservorio de carbono de masas forestales de zonas áridas y semiáridas.
- Comparar la aplicación de los sensores remotos para realizar inventarios forestales para la estimación de reservas de carbono en zonas áridas.

##### **Metas**

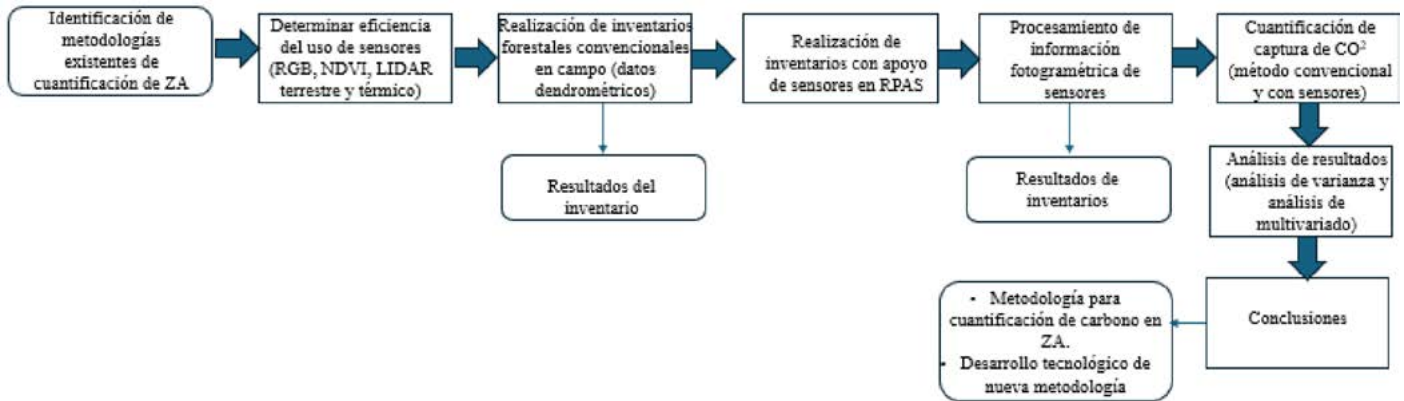
- Tener al menos dos metodologías, y mejorar su eficiencia para estimar reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.
- Determinar la eficiencia de cuatro sensores remotos (RGB, NDVI, LIDAR terrestre, Térmico), para estimar las reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.
- Tener la estimación de las reservas de carbono en dos zonas áridas mediante el uso de sensores remotos.
- Comparar cuatro sensores remotos para realizar inventarios forestales para estimar las reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.

##### **Hipótesis**

- La combinación de sensores remotos en las metodologías de uso actual para la estimación del reservorio de carbono puede mejorar la eficiencia y generar el desarrollo de una nueva metodología.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo implementar una metodología que estime los reservorios de carbono en zonas áridas y semiáridas	Implementar una metodología para la estimación de reservas de carbono en las zonas áridas y semiáridas.	Aplicación y validación de sensores para la estimación del reservorio de carbono en zonas áridas	<p>Identificar los métodos de estimación de reservas de carbono en las zonas áridas y semiáridas.</p> <p>Realizar inventarios forestales en zonas áridas mediante el uso de sensores remotos.</p> <p>Determinar la eficiencia de los sensores remotos en la estimación de reservas de carbono en masas forestales de zonas áridas.</p> <p>Comparar los métodos existentes de inventarios forestales para captura de carbono contra uso de sensores.</p> <p>Proponer una metodología para la estimación de reservas de carbono en zonas áridas.</p>	<p>Inventarios forestales con metodología usada actualmente.</p> <p>Variables dasométricas: especie, altura total, DAP, altura y ancho de copa, geoposición, vigor, defectos en fuste, copa y ramas.</p> <p>Volumen, biomasa y reservas de carbono con las metodologías usadas actualmente (de combustión, cuantificación, etc).</p> <p>Obtención de datos de la masa forestal con el uso de varios sensores remotos.</p> <p>Volumen de biomasa y reservas de carbono estimados con sensores remotos.</p> <p>Comparación entre métodos (existentes y propuesto)</p> <p>Nueva metodología.</p>	<p>Análisis de varianza entre los métodos existentes y método desarrollado</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables de suelo, especies, zonas de estudio, geoposición (LN, LO, altitud) y valores de reserva de carbono.</p>	<p>Se esperan diferencias entre metodologías.</p> <p>Se esperan similitud entre método existente y el propuesto con base en los sensores remotos.</p> <p>Se espera identificar la(s) variable(s) que influyen en la estimación de reservas de carbono.</p>	<p>Propuesta de nueva metodología con sensores remotos.</p> <p>Desarrollo tecnológico de nueva metodología para estimar reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.</p>

## Línea de investigación 4

*Estimar las reservas de carbono por especie forestal de zonas áridas y semiáridas*

### Contexto general del tema

La importancia de las zonas áridas y semiáridas en el territorio mexicano radica en que el 70% de México tiene esas condiciones, sin embargo, los estudios en cuanto a las dinámicas de la reserva de carbono en estos ecosistemas se basan en métodos que han sido desarrollados para zonas templadas o de trópicos. La relevancia de conocer las especies y su retención de carbono estriba en que se comprende y justifica la conservación y protección de estas especies, para mantener la absorción de carbono y de esta manera mitigar los impactos del cambio climático. Los ecosistemas han jugado un papel importante en cuanto a la convivencia, autoconsumo y desarrollo cultural, las comunidades han encontrado maneras de poder convivir y subsistir dentro de ellos, haciéndolos sus principales fuentes de empleo y arraigo dentro de las generaciones.

### Objetivo general

- Estimar la reserva de carbono por especie y estrato (herbáceo, arbustivo y arbóreo) en masas forestales de zonas áridas y semiáridas.

### Objetivos específicos

- Identificar las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas dominantes en zonas áridas.
- Estimar las reservas de carbono por especie de las zonas áridas.
- Comparar la reserva de carbono entre especies vegetales de zonas áridas.
- Conocer las especies con mayor fragilidad ecológica con relación a su nivel de captura de carbono, que sean indicadores para evitar la deforestación.
- Identificar las especies que por su nivel de reserva de carbono son viables para promover la reforestación productiva en ejidos y comunidades agrarias.

### Metas

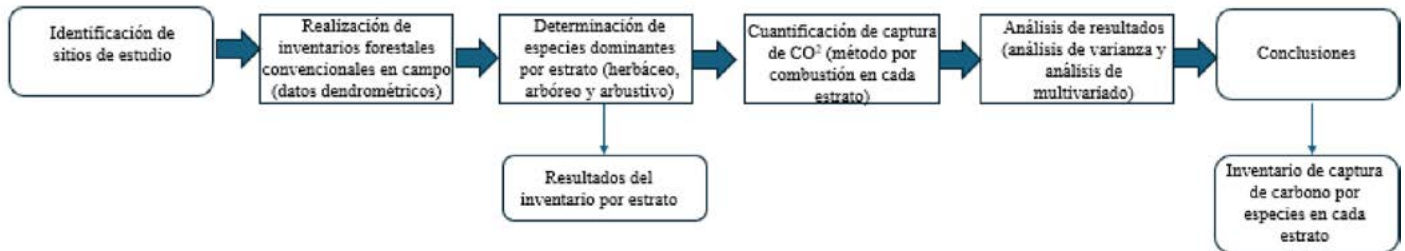
- Identificar las principales tres especies por estrato en zonas áridas.
- Tener el reservorio de carbono en las tres especies principales de cada estrato en zonas áridas.
- Comparar la reserva de carbono entre las primeras tres especies de cada estrato en las zonas áridas.
- Conocer las tres especies principales de mayor fragilidad ecológica, con relación a su nivel de reservas de carbono.
- Identificar tres especies nativas relevantes en su reservorio de carbono y viables para la reforestación productiva en ejidos y comunidades agrarias.

### Hipótesis

- No hay diferencia en el reservorio de carbono entre especies ni entre estratos de las masas forestales en zonas áridas y semiáridas.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Qué especies por estrato vegetal, en masas forestales de zonas áridas, tienen el mayor reservorio de carbono.	Estimar el reservorio de carbono en las masas forestales de zonas áridas.	Estimar las reservas de carbono por especie forestal de zonas áridas y semiáridas	<p>Identificar las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas dominantes en zonas áridas.</p> <p>Determinar la especie y estrato con mayor reserva de carbono en zonas áridas.</p> <p>Cuantificar la reserva de carbono en las especies dominantes en las zonas áridas.</p> <p>Comparar la reserva de carbono entre especies dominantes de las zonas áridas.</p> <p>Identificar las especies con mayor fragilidad (abundancia, riqueza y diversidad contra captura de CO<sub>2</sub>) ecológica, en relación con su nivel de reserva de carbono.</p> <p>Identificar las especies viables para promover la reforestación productiva en ejidos y comunidades agrarias.</p>	<p>Inventario de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo (Número de especies, altura, diámetro, vigor, diámetro de poca, altura de fuste limpio, volumen).</p> <p>Identificación de especies dominantes de zonas áridas (índices para riqueza, diversidad y estructura).</p> <p>Estimación del volumen, biomasa y reserva de carbono (método combustión para cuantificar carbono).</p> <p>Comparación de la reserva de carbono por especies y estrato (tCO<sub>2</sub> e).</p> <p>Comparación de resultados y determinación de principales especies.</p>	<p>Análisis de varianza entre especies y estratos.</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables por estrato.</p>	<p>Se esperan diferencias entre estratos y especies.</p> <p>Se esperan diferencias en la reserva de carbono en función de la riqueza, abundancia y diversidad de las especies.</p> <p>Se espera identificar la(s) variable(s) que influyen en la reserva de carbono.</p>	<p>Nueva metodología para estimar reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.</p> <p>Desarrollo tecnológico de nueva metodología para estimar reservorio de carbono en zonas áridas y semiáridas.</p>

## Línea de investigación 5

### *Sistema de comercialización de créditos de carbono para las zonas áridas de México*

#### Contexto general del tema

A partir de la creación de los créditos de carbono ha surgido el mercado voluntario de carbono, como su nombre lo indica, por iniciativa, diversas empresas compensan la emisión de sus GEI, comprando estos créditos producto de diversos proyectos, en donde se establecen precios, volúmenes y vintage (año de emisión) de estos, siendo un nuevo mecanismo de comercio. En general, la generación de créditos de carbono ha sido un mecanismo que se ha adoptado para la detención del cambio climático, lo cual trae beneficios importantes a los actores del medio, pero, sobre todo, deben conducir a un mundo libre de emisiones. Con esto se espera poder llegar a la meta Net Zero 2030 como se ha establecido en la COP25 (25<sup>th</sup> Conference Of Part), durante la conferencia de las naciones unidas sobre el cambio climático celebrada en 2019.

#### Objetivo general

- Implementar un sistema de comercialización de créditos de carbono eficiente, transparente y justo, adaptado a las zonas áridas del país.

#### Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de comercialización para México, relacionado con los créditos de carbono.
- Identificar los segmentos industriales y de servicios públicos y privados obligados a adquirir créditos de carbono.
- Desarrollar esquemas de comercialización de créditos de carbono con base en el marco jurídico mexicano, que integren el sistema general de comercio para México.
- Determinar la eficiencia del sistema de comercialización de créditos de carbono.
- Identificar grupos sociales del ámbito rural para la obtención y comercialización de créditos de carbono de zonas áridas del país.

#### Metas

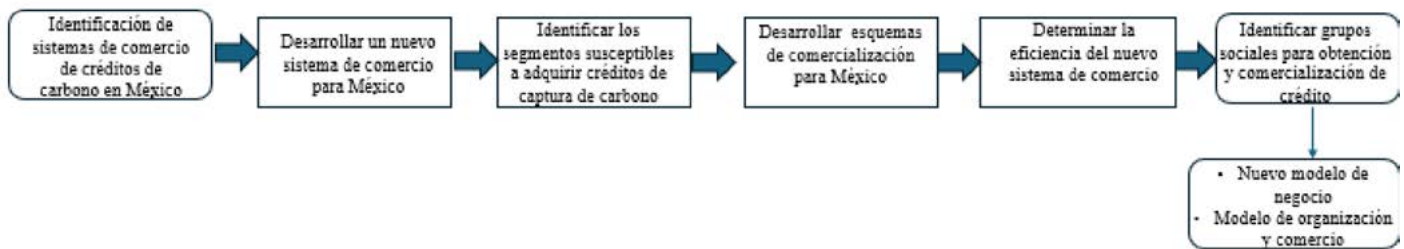
- Desarrollar al menos un sistema de comercialización de créditos de carbono para México.
- Identificar en dos años al menos cinco segmentos industriales y de servicios públicos y privados susceptibles de la obligación de adquirir créditos de carbono.
- En dos años desarrollar al menos cinco esquemas de comercialización de créditos de carbono con base en el marco jurídico mexicano, que integren el sistema general de comercio para México.
- Determinar la eficiencia del sistema de comercialización de créditos de carbono, que esté funcionando en al menos dos años.
- En dos años identificar al menos cinco grupos sociales del ámbito rural para la obtención y comercialización de créditos de carbono de zonas áridas del país.

### Hipótesis

- Los esquemas que integran el sistema de comercialización de créditos de carbono en las zonas áridas son eficientes, relevantes y congruentes con el marco jurídico de México.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo implementar un sistema de comercialización de créditos de carbono en las zonas áridas.	Implementar un sistema de comercialización de créditos de carbono para las zonas áridas.	Sistema de comercialización de créditos de carbono para las zonas áridas de México	<p>Desarrollar un sistema de comercialización de créditos de carbono para México.</p> <p>Identificar los segmentos industriales y de servicios públicos y privados susceptibles de la obligación de adquirir créditos de carbono.</p> <p>Desarrollar esquemas de comercialización de créditos de carbono con base en el marco jurídico mexicano, que integren el sistema general de comercio para México.</p> <p>Determinar la eficiencia del sistema de comercialización de créditos de carbono.</p> <p>Identificar grupos sociales del ámbito rural para la obtención y comercialización de créditos de carbono de zonas áridas del país.</p>	<p>Sistemas de comercio en México.</p> <p>Nuevo sistema de comercio en México.</p> <p>Segmentos susceptibles de adquisición de créditos de carbono.</p> <p>Esquemas de comercialización de acuerdo con la legislación de México.</p> <p>Eficiencia del nuevo sistema de comercio.</p> <p>Grupos sociales del ámbito rural potenciales para la obtención y comercialización de créditos de carbono dentro del territorio nacional.</p>	Análisis de varianza entre sistemas de comercialización.	<p>Se espera la aceptación de los segmentos industriales y de servicio públicos y privados para adquirir créditos de carbono.</p> <p>Graficar la eficiencia económica, ambiental y social del sistema de comercialización de créditos de carbono.</p> <p>Precisar los requisitos mínimos necesarios para que un grupo social del ámbito rural alcance la certificación y obtenga créditos de carbono en propiedad social y privada.</p>	<p>Modelo de negocio basado en la comercialización de créditos de carbono.</p> <p>Un modelo de organización y comercio para captar ingresos económicos con impacto para el desarrollo social en comunidades rurales.</p>

## **Línea de investigación 6**

*Conservación biológica para mantener o incrementar el reservorio de carbono.*

### **Contexto general del tema**

El sector forestal es el principal reductor de emisiones de GEI, para ello se establecen proyectos que aumentan los reservorios de carbono en las masas forestales, los cuales deben de ser verificables, adicionales y permanentes. Estas masas forestales pertenecen en su mayoría a comunidades y ejidos, con pequeñas poblaciones, en su mayoría de escasos recursos, algunas veces sus dueños son los pueblos originarios. La importancia del incremento en las masas forestales es proporcional al incremento en el reservorio de carbono; es por esto que la conservación, protección, restauración y el aprovechamiento sustentable de estos ecosistemas son indispensables en la reducción de los efectos del cambio climático, el cual se ha incrementado en los últimos años.

### **Objetivo general**

- Implementar métodos de conservación de la diversidad biológica para incrementar los reservorios de carbono en las masas forestales.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el nivel de impacto de las actividades antropogénicas sobre los recursos naturales.
- Implementar conservación biológica para incrementar los reservorios de carbono en las masas forestales y en áreas degradadas.
- Diseñar e implementar un vivero forestal de especies nativas del semidesierto con fines de reforestación productiva.
- Diseñar propuestas de reforestación productiva y áreas de restricción comunitaria que coadyuven a la restauración y conservación de la biodiversidad en las zonas áridas.
- Documentar los impactos de las actividades de restauración sobre la fauna insectil comestible.

### **Metas**

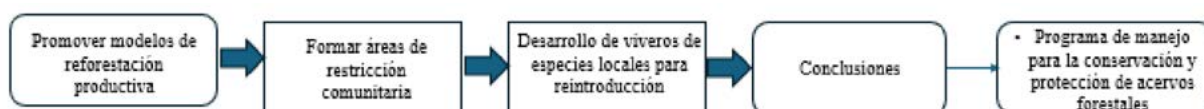
- Un manuscrito que documente el nivel de impacto por trienio de las actividades antropogénicas en los recursos bióticos y abióticos.
- Implementación de tres métodos implementados sobre conservación biológica para incrementar los reservorios de carbono de las masas forestales.
- Diseñar e implementar un vivero forestal con al menos cinco especies nativas del semidesierto con fines de reforestación productiva.
- Implementación de tres obras de conservación y restauración establecidos en áreas deforestadas.
- Documentar impactos derivados de las actividades de restauración sobre la fauna insectil comestible.

### Hipótesis

- La implementación de obras de conservación y restricción comunitaria incrementará el reservorio de carbono equivalente.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo fomentar entre los habitantes rurales la conservación biológica para el reservorio de carbono.	Fomentar la conservación biológica de los recursos forestales para el incremento del reservorio de carbono.	Conservación biológica para mantener o incrementar el reservorio de carbono.	<p>Determinar el nivel de impacto de las actividades antropogénicas en los recursos naturales en la propiedad social.</p> <p>Implementar métodos de conservación biológica para incrementar los reservorios de carbono.</p> <p>Implementar obras de conservación y restauración en áreas deforestadas.</p> <p>Documentar los impactos de actividades antrópicas en la conservación de insectos comestibles de zonas áridas.</p>	<p>Promover modelos de reforestación productiva (Agave, Opuntia, Yucca, Neltuma, Vachellia, Quercus, etc).</p> <p>Proponer áreas de restricción comunitaria para promover la recuperación de vegetación.</p> <p>Establecer viveros con especies locales para reintroducción o reforestación.</p> <p>Identificación de indicadores de éxito.</p>	<p>Análisis de varianza entre métodos de conservación</p> <p>Análisis multivariado con todos los métodos de conservación.</p>	<p>Se esperan diferencias entre zonas donde se han implementado los métodos de conservación.</p> <p>Se esperan diferencias en los reservorios de carbono en función de los métodos de conservación empleados.</p> <p>Se espera diferencias socio-económicas y ambientales en cuanto a los habitantes rurales antes y después de la aplicación.</p>	<p>Programa de manejo para la conservación y protección de acervos forestales para el aumento del reservorio de carbono.</p> <p>Desarrollo tecnológico de programa de manejo para la conservación y protección de acervos forestales que incida en el incremento del reservorio de carbono.</p>

El contenido de almacenamiento de CO<sub>2</sub> para coberturas de vegetación a un 100% así como por debajo del suelo en México, determinan una forma rápida y eficiente del cálculo de CO<sub>2</sub> en zonas donde los datos no han sido tomados en inventarios forestales, si no que se realicen con apoyo de imágenes satelitales, donde sea posible calcular el porcentaje de cobertura vegetal, estos datos se pueden encontrar de la siguiente manera:

Actividad	Autor	Descripción	N° de árboles min/ha*	N° de árboles máx/ha*	tCO <sub>2e</sub> /especie árbol min	tCO <sub>2e</sub> /especie árbol máx	Biomasa total (1.0 ha)	tCO <sub>2e</sub> /área total (1.0 ha)	Rangos de sostenibilidad: bajo, medio, alto	Codificar sostenible: 4 = muy alto; 3 = alto; 2 = medio; 1 = bajo; 0 = muy bajo (frágil)
Bosque urbano	Ruesch & Gibbs, 2008, tomado de la Reserva de Acción Climática, 2022	Bosque urbano	150	500	1.07333333	0.322	161	161	Bajo	0
Reforestación		Reforestación subtropical	1100	1600	0.16727273	0.115	184	184	Bajo	1
		Reforestación tropical	625	900	0.312	0.21666667	195	195	Bajo	1
Sistema agroforestal/silvopastoril		Sistemas subtropicales de montaña	1600	64	0.188125	4.703125	301	301	Medio	2
		Sistemas de montaña tropical	1600	64	0.188125	4.703125	301	301	Medio	2
		Desierto subtropical	800	4000	0.555	0.111	444	444	Medio	3
		Bosque seco subtropical	800	4000	0.555	0.111	444	444	Medio	3
		Estepa subtropical	800	4000	0.555	0.111	444	444	Medio	3
		Bosque seco tropical	1600	64	0.2775	6.9375	444	444	Medio	3
		Bosque húmedo tropical caducifolio	1600	64	0.281875	7.046875	451	451	Medio	3
		Selva tropical	1600	64	0.43125	10.78125	690	690	Alto	4
Zonas sin perturbación	Montero <i>et al.</i> , 2016	Zonas áridas y semiáridas	800	4000	0.0425	0.0085	34	34	Bajo	0
	Montaño, 2016	Zonas áridas y semiáridas	800	4000	0.020375	0.004075	16.3	16.3	Bajo	0

\* Números referentes tomados del manual básico de prácticas de reforestación, 2010 y del establecimiento de sistemas agroforestales, 2011 de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).