



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO Y  
CAPTURA POTENCIAL DE CARBONO EN  
BIOMASA AÉREA Y VALORACION  
ECONÓMICA EN EL ÁREA NATURAL  
PROTEGIDA ZICUIRÁN-INFIERNILLO,  
MICHOACÁN, MÉXICO”**

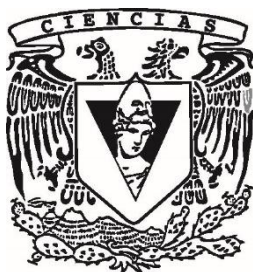
**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**BIÓLOGO**

PRESENTA

**FIDEL CALVO HERNÁNDEZ**



**Director de Tesis:**

Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
Secretaría General  
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCE  
Directora General  
Dirección General de Administración Escolar  
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea y  
valoración económica en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán,  
México

realizado por Fidel Calvo Hernández con número de cuenta 302093584 quien ha decidido  
titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en Biología. Dicho trabajo cuenta con  
nuestro voto aprobatorio.

Propietaria Dra. Silvia Castillo Argüero

Propietario Dr. Carlos Gay García

Propietario Tutor Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz

Suplente Dr. Tomás Hernández Tejeda

Suplente M. en Ecol. Guadalupe Araceli Flores Ramírez

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., A 22 DE NOVIEMBRE DE 2018

JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre  
la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las  
observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

1. Datos del alumno

Calvo  
Hernández  
Fidel  
Tel. 65484504  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
302093584

2. Datos del tutor

Dr.  
Ordóñez  
Díaz  
José Antonio Benjamín

3. Datos del sinodal 1

Dra.  
Castillo  
Argüero  
Silvia

4. Datos del sinodal 2

Dr.  
Gay  
García  
Carlos

5. Datos del sinodal 3

Dr.  
Hernández  
Tejeda  
Tomás

6. Datos del sinodal 4

M. en Ecol.  
Flores  
Ramírez  
Guadalupe Araceli

7. Datos de la tesis

Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea y  
valoración económica en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán,  
México.

83 p.  
2019

## DEDICATORIA

*Gracias a la vida que me ha dado tanto (como iniciaría aquella célebre composición de la chilena Violeta Parra). Soy un hombre feliz, cada día más claro de lo que vine a hacer. Hoy comprendo que el pasado ahí se quedó, no hay vuelta a atrás; el futuro es la proyección de lo yo pueda pensar que sucederá; sin embargo, es incierto. Hoy entiendo que el presente es lo que tengo, lo que soy, y desde ahí vivo, intento momento a momento formar la mejor versión de mí. Hoy me honro y agradezco la oportunidad de cada momento de estar y permitirme. Este ciclo, este momento, se lo dedico y ofrezco a los pilares de lo que soy.*

*A mis papás. Los honro y agradezco la oportunidad de ser su hijo, de haberme dado la vida, de amarme, guiarme, estar y seguir estando. Gracias por heredarme las enseñanzas más significativas e importantes en mi vida: ser respetuoso y agradecido con los demás, siempre honrado e íntegro, que se esfuerza en todo lo que se propone, con un gran compromiso y congruencia consigo mismo. Han hecho un hijo al que le dieron las mejores herramientas para ser feliz, que ama y es amado.*

*A mi mamá (“mi Jefa”). Las palabras llegan incompletas para describir lo que significas para mí, lo más bello, lo más bonito, lo más sincero, lo más fuerte. Siempre tienes un abrazo oportuno para aliviar mi corazón, hiciste y sigues haciendo todo lo posible, siempre imprimiendo tu mayor esfuerzo, para que sea feliz y sabes, lo has logrado. Te has desvivido por darnos todo, lo que tienes, lo que eres, todo tu sacrificio por nosotros. Gracias porque hoy estoy aquí por tu ejemplo, nunca te has rendido, nunca te cansas, eres inalcanzable. Te amo mamá.*

*A mi papá. Hoy te honro y agradezco tus enseñanzas, has sido un gran maestro. Gracias por enseñarme que nadie nos enseña cómo caminar en la vida; sin embargo, decidimos el ritmo y la cadencia que le imprimimos a cada paso que damos, que los tropezones llegan en cualquier momento, que hay que aliviar el dolor, reestructurarse y seguir adelante, que nuestro corazón sigue latiendo. Gracias papá.*

*A mi hermana Rocío (Chío). Cuando pienso en un ejemplo de esfuerzo y superación, mi mente y corazón siempre te hacen presente. Gracias por ser cómplice de mi niñez, dueña de muchas risas, reflexiones y lágrimas. Hemos caminado de la mano siempre, presentes en todo momento, apoyándonos siempre. La vida nos ha regalado grandes lecciones que nos han brindado la oportunidad de formar la mejor versión de cada uno. Gracias por hacer llegar a nuestras vidas a Alexis, por cosechar el amor en él. Gracias por ser mi hermana, los amo.*

*A mi hermana Erika (Carnalita). La más pequeña de la familia, la que siempre tiene preparada una sonrisa para regalar, la que siempre ha fluido ligera por la vida, la que cambió nuestras vidas. Nunca te dejaré de ver como mi hermanita, aunque ya seas toda una adulta (jeje), una persona de bien, que ama y es amada, gran profesionalista, servil a la sociedad. Gracias por permitirme aprender de ti cada día. Te amo.*

*A mi compañera y el amor de mi vida. Lucy, la vida nos tiene aquí amor, seguimos caminando corazón con corazón. Te agradezco tanto, valoro en demasía lo vivido, honro tu vida y tu amor. Recuerdo cuando nos sentábamos en las escaleras afuera del auditorio de la "Fac" a beber nuestro café y compartir un sándwich antes de partir a trabajar o cuando acompañabas a este corazón bohemio a tocar a Coyoacán y cooperar con el vasito de las propinas o cuando pasábamos noches en vela haciendo tarea de*

*“molecular” y, acto seguido, preparábamos las empanadas de mole para venderlas en la “Fac”; tantas anécdotas que compartimos juntos. Gracias por coincidir en esta vida, por darle más sentido a este caminar, por que vale la pena volver a ti cada día, por tocar este corazón y compartir la felicidad con nuestra Bella. Te amo, las amo.*

*Al Dr. Jorge Raúl Balam Basto (suegrito). Usted representa un verdadero ejemplo de esfuerzo, perseverancia y amor a la vida, siempre transmitiendo su felicidad a los que le rodean, bailarín y contento por naturaleza, siempre con un consejo oportuno, con un andar ligero por la vida, disfrutando cada momento al máximo. Gracias por su apoyo y sus enseñanzas.*

*A Josué y Lichi. Ustedes representan para mí un gran ejemplo de vida, siempre para adelante con la vista al frente. Gracias por apoyarnos siempre a Lucy y a mí, sin duda, en este logro, ustedes son cómplices y en una pieza fundamental, gracias por estar siempre. Igualmente, a doña Licha quien siempre nos ha consentido y abierto las puertas de su hogar.*

*A mis compañeros y amigos. Coro, Olga, Fabián, Alberto y Carlos, gracias por escucharme siempre, acompañarme en lo que creo y respetarme por como soy. Siempre son y seguirán siendo grandes maestros de vida en el espacio que nos tocó compartir.*

*Finalmente, al lugar que me ha brindado las oportunidades y proporcionado las herramientas para formarme en mi vida profesional. Lo que comenzó como un proyecto personal a corto plazo, se ha convertido ya en años de aprendizaje, se ha pasado tan rápido el tiempo que pareció un abrir y cerrar de ojos. Te convertiste en el espacio que me ha permitido coincidir con personas increíbles, invaluable. Gracias a los Doctores Marat y Enrique, siempre es y será un gozo seguir aprendiendo de su enorme conocimiento.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a quien me ha brindado la posibilidad de aprender, de conocer y de admirar, al Doctor José Antonio Benjamín Ordoñez Díaz, maestro, amigo y guía, que me ha encaminado en este proceso formativo, pero, sobre todo, que, con su ejemplo, me ha enseñado a ser mejor persona. Gracias infinitas.

A mis sinodales, la Dra. Silvia Castillo Argüero, el Dr. Carlos Gay García, el Dr. Tomás Hernández Tejeda y la M. en E.I. Guadalupe Araceli Flores Martínez, quienes me brindaron una parte de su valioso tiempo para revisar este trabajo, contribuyendo y enriqueciendo su contenido. Mil Gracias.

A un gran maestro, el M. en C. Juan Francisco Torres, quién con su inalcanzable trabajo en campo y profesionalismo en la elaboración de los mapas, contribuyó en demasía en el resultado final de este trabajo. Gracias.

A mis compañeros y amigos de gabinete, Lucila Balam de la Vega (Lucy), Fernanda Jiménez (La Fer) y Verenise Carmona (La Vere), así como Óscar Aguado, Vanessa Sepúlveda, Irma Estefanía, Rocío Rojas y Erick Velarde (El Erick), quiénes con el enorme trabajo en campo y procesamiento de los datos, encausaron y orientaron los resultados obtenidos. Muchas gracias, el trabajo en equipo enriquece el aprendizaje y retroalimentación entre colegas.

A mi universidad, mi Alma Máter, mi segunda casa, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y mi Facultad, la Facultad de Ciencias, por enseñarme lo más valioso que conozco: los valores, la congruencia y el espíritu de ser universitario, que me han convertido en una persona productiva para la sociedad. En particular a todo el personal administrativo que me asistió y guio en los respectivos trámites, como: Leticia Cid, de Servicio Social, Rosario de Anda Flores, Rosa Imelda Soto Hernández y a la Biol. Yukiko María Antonieta Sakurai Kiyono de la Unidad de Enseñanza de Biología. Por todo su apoyo gracias.



Asimismo, a todo el personal que día a día, mes con mes, año con año y generación con generación ha apoyado la vida administrativa y académica de la facultad: Servicios Escolares de la Facultad de Ciencias. Muchas gracias por guiarnos.

¡Goya! ¡Goya! ¡Cachun, Cachun, ra, ra! ¡Cachun, Cachun, ra, ra! ¡Goya!  
¡Universidad!

Al proyecto “Iniciativa de México para la protección del clima en el corredor ecológico Sierra Madre Oriental y en las lagunas costeras Laguna Madre y Marismas Nacionales” (Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas), financiado por la Cooperación Técnica Alemana, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH del gobierno alemán que, en colaboración con la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP) y al proyecto denominado “Valoración Económica de Seis Áreas Naturales Protegidas como sumideros de CO<sub>2</sub>: Laguna Madre, Marismas Nacionales, Zicuirán-Infiernillo; Sierra de Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental”, permitieron la realización de este trabajo.

A la Secretaría de Educación Pública, por el apoyo económico que contribuyó en el resultado de este trabajo de titulación, mediante el programa denominado “Beca de Titulación del Programa de Becas para la Educación Superior”. Gracias.

Asimismo, a la Asociación Civil Servicios Ambientales y Cambio Climático (SACC A.C.), con registro Reniecyt 2015/20930; así como Pronatura México A.C., por brindarme la oportunidad de ser y pertenecer al proyecto que motivó este trabajo; Proyecto Papiit 1N303817, coordinado por la Dra. María de Jesús Ordóñez Díaz, CRIM, UNAM. Gracias infinitas.

Finalmente, a “La Comisión Nacional de los Derechos Humanos”, el lugar que me ha permitido desarrollarme profesionalmente y que me ha proporcionado los medios para concluir este trabajo. Gracias por abrirme tus puertas.

<b>Índice temático</b>	<b>Página</b>
<b>Índice de imágenes</b> .....	11
<b>Índice de tablas</b> .....	12
<b>Resumen</b> .....	13
<b>Abstract</b> .....	13
<b>Introducción</b> .....	14
<b>1. Marco teórico</b> .....	15
1.1. ¿Qué es el clima? .....	15
1.2. El principal desafío global: el Cambio Climático. ....	16
1.3. ¿Qué es el efecto invernadero?.....	17
1.4. Importancia de los Gases de Efecto Invernadero .....	18
1.5. Modificaciones al Ciclo Global del Carbono .....	21
1.6. México en el mundo ante el Cambio Climático .....	22
1.7. México y el Acuerdo de París. ....	24
1.8. REDD+ .....	26
1.9. Servicios ecosistémicos .....	27
<b>2. Objetivos</b> .....	29
2.1. Objetivos particulares .....	29
<b>3. Área de estudio</b> .....	30
3.1. Localización .....	30
3.2. Decreto .....	31
3.3. Clima .....	31
3.4. Hidrografía .....	33

3.5.	Geología.....	34
3.6.	Edafología .....	35
3.7.	Vegetación .....	36
3.8.	Uso de suelo .....	39
3.9.	Fauna .....	41
3.10.	Actividades productivas.....	42
3.11.	Servicios ecosistémicos .....	43
<b>4.</b>	<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>44</b>
4.1.	Selección de puntos de muestreo.....	45
4.2.	Parámetros estimados .....	46
4.3.	Estimación del contenido y captura potencial de Carbono.....	47
4.4.	Estimación del potencial de captura de carbono.....	48
4.5.	Estimación de captura de CO <sub>2</sub> e .....	49
4.6.	Estimación de costos .....	50
<b>5.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>51</b>
5.2	Contenido y captura potencial de Carbono. ....	54
5.3	Costos.....	58
<b>6.</b>	<b>Discusiones.....</b>	<b>62</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>67</b>
<b>8.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>69</b>
<b>9.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>70</b>

## Índice de imágenes

Imagen 1. Estratificación de la atmósfera. ....	15
Imagen 2. Efecto Invernadero. ....	18
Imagen 3. Emisión de Gases de Efecto Invernadero. ....	20
Imagen 4. Ciclo global del carbono. ....	21
Imagen 5. Servicios Ecosistémicos. ....	27
Imagen 6. Lago en la cuenca hídrica de Infiernillo. ....	30
Imagen 7. Ubicación y delimitación del Polígono de la Reserva de la Biósfera de Zicuirán-Infiernillo, en el Estado de Michoacán.....	32
Imagen 8. Climas en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán....	33
Imagen 9. Hidrografía en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.. .....	34
Imagen 10. Edafología en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.....	36
Imagen 11. Principales tipos de vegetación en el Área Natural Protegida Zicuirán- Infiernillo, Michoacán.....	38
Imagen 12. Diseño de muestreo anidado, jerárquico, estratificado, con distribución sistemática. ....	44
Imagen 13. Selección de los puntos de muestreo. ....	45
Imagen 14. Polígono de cobertura vegetal en la Reserva de la Biósfera Zicuirán- Infiernillo.....	52
Imagen 15. Gráfica que muestra la captura potencial por tipo de cobertura vegetal.....	57
Imagen 16. Comparativo de la valoración económica en diferentes tipos de mercado. ....	60
Imagen 17. Degradación en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.....	65

## Índice de tablas

Tabla 1. Características de los principales Gases de Efecto Invernadero. ....	19
Tabla 2. Rangos de temperatura y precipitación en la Reserva de la Biosfera de Zicuirán-Infiernillo.....	31
Tabla 3. Tipos de suelo y porcentajes en el Área Natural Protegida de Zicuirán Infiernillo, Michoacán.....	35
Tabla 4. Representación porcentual de las actividades primarias, secundarias y terciarias en los municipios que comprenden el ANP de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.....	43
Tabla 5. Uso de suelo y vegetación en el Área Natural Protegida de Zicuirán- Infiernillo, Michoacán.....	53
Tabla 6. Captura potencial de carbono para los diferentes tipos de cobertura vegetal y uso de suelo en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.....	56
Tabla 7. Comparativo en diferentes tipos de mercado a nivel internacional de la captura potencial de carbono de los tipos de cobertura vegetal y uso de suelo en el ANPZ-I.....	61

## Resumen

Como parte de las estrategias de mitigación al cambio climático, se han adoptado mecanismos encaminados a reducir y limitar la emisión de gases de efecto invernadero, que en paralelo fomenten la conservación de los ecosistemas y active la economía de comunidades locales, principalmente rurales. El mercado voluntario de carbono pretende que empresas e individuos compensen sus emisiones de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) de manera voluntaria. En este contexto, se estimó el contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, así como la valoración económica en el área natural protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, México. Se identificaron 14 tipos de cobertura vegetal en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, siendo la selva baja caducifolia la que representó la mayor superficie (38.82%) en el área de estudio, con una captura potencial de carbono al año en el orden estimado de las 366 481.43  $\text{tCO}_2\text{e}$ . En suma, el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán representó su mayor valoración económica en el orden de 6, 417, 596.55 USD en el mercado nacional.

## Abstract

At a global level, there are different mitigation strategies for climate change, mechanisms have been adopted to reduce and limit the emission of greenhouse gases, through the conservation of ecosystems and also activate the economy of local communities, mainly rural. The voluntary carbon market aims to allow companies and individuals to offset their carbon dioxide equivalent emissions ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) voluntarily. In this context, for the present study the carbon content and the potential capture in aerial biomass were estimated, as well as the economic valuation in the Zicuirán-Infiernillo protected natural area, Michoacán, Mexico.

In this study area, 14 types of vegetation cover were identified with the low deciduous forest that represents the largest area (38.82%), with a potential carbon capture per year in the estimated order of 366 481.43  $\text{tCO}_2\text{e}$ . In conclusion, the Protected Natural Area of Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, represented its highest economic valuation in the order of the national market, of 6, 417, 596.55 USD.

## Introducción

El principal reto medioambiental que enfrenta la sociedad en el presente siglo es, sin duda, el Cambio Climático. Mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en particular las del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), se ha convertido en una de las principales herramientas que puede contrarrestar el deterioro que ya se ha ocasionado al ambiente, por esto, la protección de bosques como estrategia de mitigación del cambio climático es una herramienta viable. Al respecto, los ejercicios de valoración económica nos permiten demostrar los aportes de la naturaleza a la economía y desarrollo, además de constituir un potente aliado para la conservación

Este trabajo, realizado en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, en el estado de Michoacán, permitió estimar el contenido y captura de carbono en biomasa aérea de 14 tipos de cobertura vegetal y uso de suelo identificados en la misma, con base en un diseño de muestreo anidado, jerárquico, estratificado y con distribución sistemática. Posteriormente, llevando los resultados de almacenamiento y captura potencial a diferentes tipos de mercado, tanto nacional como internacional, se estimó la valoración económica para cada tipo de cobertura vegetal y uso de suelo.

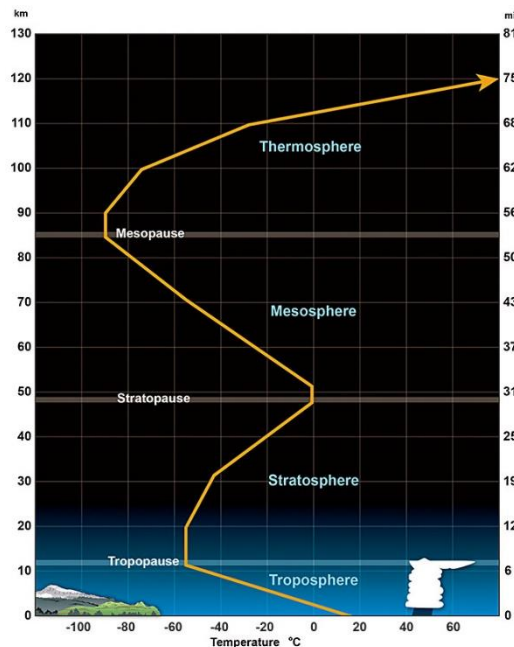
El valor económico que pueda representar cada tipo de cobertura vegetal y uso de suelo en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, depende principalmente de dos factores: el potencial de captura de carbono y el tipo de mercado que se considere; sin embargo, el estado de conservación y la distribución son factores determinantes para su cotización.

## 1. Marco teórico

### 1.1. ¿Qué es el clima?

La atmósfera es el medio en el cual se generan los climas del planeta, tanto global como locales. Ésta no es homogénea, presenta una estratificación muy importante en cuanto a temperaturas a lo largo de su espesor, siendo en la tropósfera donde ocurren los fenómenos más importantes que determinan las características del clima (8 a 10 km de altura sobre la superficie terrestre), donde la temperatura desciende casi linealmente de la que tiene la superficie hasta cerca de  $-60^{\circ}\text{C}$  (García, 1989; Aznar *et al.*, 1992; Brasseur y Solomon, 2005; Sendiña y Pérez, 2006) (Imagen 1).

El clima se puede definir como el estado de las condiciones promedio del sistema atmósfera-océano-tierra (temperaturas, precipitaciones, velocidad de los vientos y la humedad de un lugar o región) para extensos periodos que pueden presentar una determinada tendencia, que usualmente definimos como condiciones promedio del clima (Molina *et al.*, 2017).



**Imagen 1.** Estratificación de la atmósfera. Las manifestaciones del clima ocurren en la Tropósfera. Fuente: Imagen tomada de <https://www.weather.gov/jetstream/layers>



## **1.2. El principal desafío global: el Cambio Climático.**

La actividad humana ha modificado y continúa modificando la superficie de la Tierra y la composición de la atmósfera (IPCC, 2013a). La combinación de tres factores: 1) el crecimiento poblacional de nuestra especie (que ha adoptado una tasa exponencial), 2) la demanda de energía y recursos que cada habitante del planeta presenta y 3) las tecnologías usadas para el desarrollo económico e industrial del mundo moderno; son el motor que genera el severo impacto negativo sobre la atmósfera y los recursos de la Tierra (Houghton, 2009; Doney y Schimel, 2015; y Molina *et al.*, 2017).

Algunos de estos cambios tienen una repercusión directa o indirecta en el balance energético de la Tierra y son, por lo tanto, impulsores del cambio climático (IPCC, 2013b).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) refiere en sus informes que el cambio climático es la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos, que puede deberse a factores internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de suelo. Al respecto, la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) diferencia el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 1990; IPCC, 1992; Naciones Unidas, 1992; IPCC, 1995; IPCC, 2001; IPCC, 2007; IPCC, 2013a).

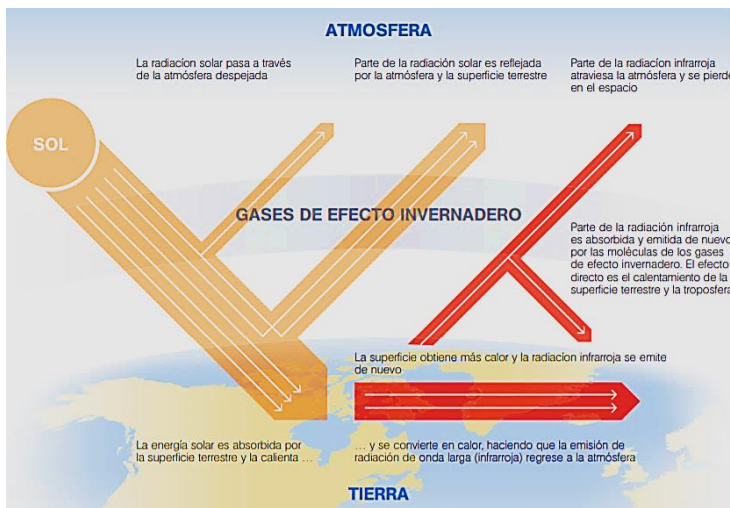
El IPCC refiere en su último Informe especial sobre el calentamiento global de 1,5 °C (2018), que estamos viviendo actualmente las consecuencias de un calentamiento global de 1 °C, con condiciones meteorológicas más extremas, aumentos en el nivel del mar y una disminución del hielo marino en el Ártico, entre

otros cambios importantes. Dicho informe destaca también una serie de impactos del cambio climático que podrían evitarse limitando el calentamiento global a 1,5°C en lugar de 2°C, o más. Como en la elevación del nivel global del mar, ya que ésta sería 10 cm inferior con un calentamiento global de 1,5 °C en comparación con uno de 2 °C, para 2100; o sobre los arrecifes de coral, los cuales disminuirían entre un 70% y un 90% con un calentamiento global de 1,5 °C, mientras que prácticamente todos ellos (> 99%) desaparecerían con uno de 2 °C. Esto nos da una idea de la importancia de evitar dichos aumentos de temperatura, pues a mayor calentamiento hay mayor riesgo de efectos adversos irreversibles, como la pérdida de algunos ecosistemas, por lo que para limitar el calentamiento global a 1,5 °C se necesitarían transiciones urgentes y de gran impacto en todos los sectores; implica alcanzar emisiones de CO<sub>2</sub> netas en todo el mundo alrededor de 2050 y de manera simultánea reducciones importantes en las emisiones diferentes al CO<sub>2</sub> como el metano. Eso significa que se necesitaría compensar cualquier emisión remanente por medio de remover CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

### **1.3. ¿Qué es el efecto invernadero?**

La superficie de la Tierra se encuentra envuelta en una capa gaseosa denominada *atmósfera* (del griego *atmos*, vapor, aire, y *sphera*, esfera). Ésta tiene su máxima densidad sobre la superficie terrestre y decrece gradualmente con la altura, hasta hacerse indistinguible del gas interplanetario, por lo que no tiene límite superior bien definido (Casas y Alarcón, 1999). Juega un papel muy importante en el equilibrio energético de la Tierra, toda vez que controla la radiación que llega a la superficie del planeta y la que es liberada al espacio; asimismo, es el principal medio de transferencia de calor del planeta. Cualquier cambio en su composición física o química afecta directamente la vida en la Tierra (García, 1989; Cuadrat y Pita, 1997).

Cuando la radiación solar atraviesa la atmósfera de la Tierra, del 100% de luz solar que llega a la Tierra, el 20% es absorbido por la atmósfera, el 30% es reflejado hacia el espacio exterior por el albedo (capacidad de reflejar la radiación que llega) y el 50% restante es absorbido por la superficie terrestre calentándola. Al calentarse, la luz solar de alta energía u onda corta se transforma en radiación de baja energía u onda larga y es reflejada hacia la atmósfera, dicha radiación es absorbida por las propiedades de ciertos gases (p. ej. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, vapor de agua, etc.), llamados de efecto invernadero, los cuales son la principal fuente de calor para la atmósfera (Ordoñez, 1999; Garduño, 2004; Caballero *et al.*, 2007). A este proceso se le conoce como *efecto invernadero*, y permite que la luz solar caliente la atmósfera terrestre, elevando su temperatura media y manteniéndola en el orden de los 13°C, influyendo directamente en el clima. (Imagen 2)



**Imagen 2.** Efecto Invernadero.  
Fuente: UNFCCC (2007)

#### 1.4. Importancia de los Gases de Efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases atmosféricos de origen natural y antropogénico (Tabla 1), que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja, reflejado por la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes. Estos gases, reconocidos por el Protocolo de

Kioto<sup>1</sup>, son el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Derivados Fluorados del Metano y Etano (HFC), los Perfluorocarburos (PFC) y el Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>) (Ordoñez y Masera, 2001) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características de los principales Gases de Efecto Invernadero. Fuente: Modificado y actualizado de IPCC (2007, 2013a) y NOAA (2018a).

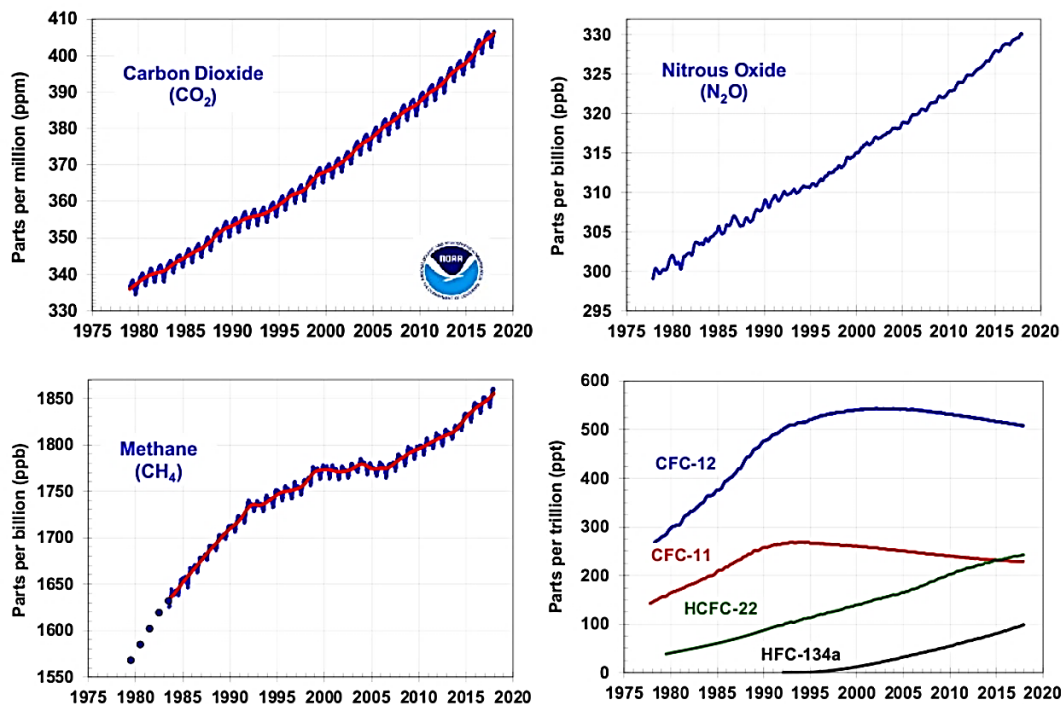
	Gas	Fuentes	Concentración		Tiempo de residencia en la atmósfera (años)	Potencial de calentamiento
			Preindustrial (1750)	Actual <sup>2</sup>		
Gases de origen natural	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación, reacciones químicas en procesos de manufactura	278 ppm	405.04 ppm (noviembre de 2018)	50 – 200	1
	Metano (CH <sub>4</sub> )	Cultivo de arroz, ganado, tiraderos de basura, uso de combustibles fósiles, escape de gas en minas y pozos petroleros.	722 ppm	1849.7 ppb (año 2017)	12	28
	Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	Producción y uso de fertilizantes nitrogenados deforestación, uso de leña	270 ppb	329.7 ppb (año 2017)	114	265
Gases de origen antropogénico	Hidrofluoro - carbonos (HFCs)	procesos de manufactura y usados como refrigerantes	0	14 ppb (año 1998)	1.4 a 270	4 – 12,400
	Perfluoro -carburos (PFCs)	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	40 ppb	80 ppb (año 1998)	<50,000	6,630 – 11,100
	Hexafluoruro de Azufre (SF <sub>6</sub> )	Emitido en procesos de manufactura donde se usa como fluido dieléctrico.	0	9.26 ppb (año 1998)	3, 200	23,500

Nota: ppm (partes por millón) o ppmm (partes por mil millones), es la relación entre el número de moléculas de gas de efecto invernadero y el número total de moléculas de aire seco.

<sup>1</sup> En 1997, en la Ciudad de Kioto, Japón, se elaboró el marco legal bajo el cual todos los países adscritos a la Convención Marco del Cambio Climático se comprometieron a reducir las emisiones que contribuyan al calentamiento global, mediante normas y procedimientos que en su conjunto son conocidos como el Protocolo de Kioto.

<sup>2</sup> Valores actualizados con datos de la NOAA (2018a).

Si las concentraciones de estos gases se mantuvieran constantes en la atmósfera terrestre, la temperatura de la superficie de la Tierra se encontraría en equilibrio; sin embargo, las concentraciones de éstos son susceptibles a las actividades humanas y, en las últimas décadas, las emisiones de algunos de estos gases como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ) han incrementado su concentración en la atmósfera de la Tierra (imagen 3), desequilibrando la termodinámica de la atmósfera aumentando la temperatura media superficial del planeta (Ordoñez, 1999; Barry y Chorley, 1999). Un aumento de la concentración de gases de efecto invernadero da lugar a una mayor opacidad infrarroja de la atmósfera y, por consiguiente, a una radiación efectiva hacia el espacio. Ello origina un forzamiento radiativo<sup>3</sup> que intensifica el efecto invernadero, provocando el denominado efecto invernadero intensificado (IPCC, 2013b).

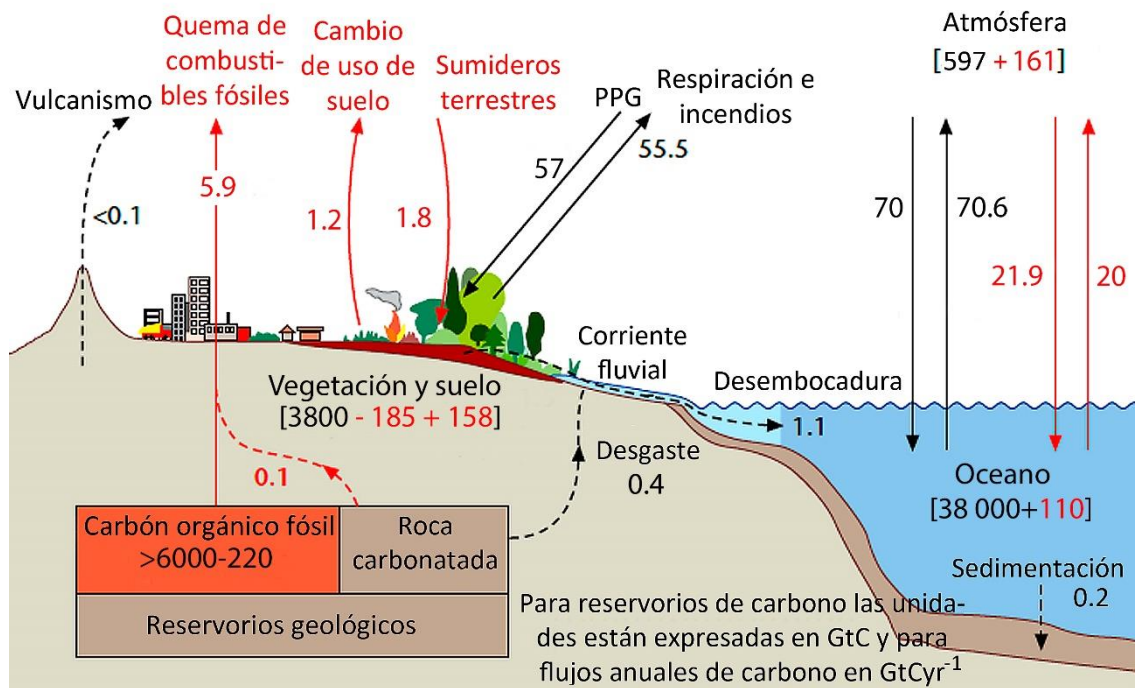


**Imagen 3.** Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Se observa el incremento desde 1975 con escenarios al 2020. Fuente: NOAA (2018b)

<sup>3</sup> Se entiende por forzamiento radiativo, aquel cambio en el balance entre la radiación infrarroja que sale de la Tierra (se expresa en Watts por metro cuadrado,  $\text{WM}^{-2}$ ), debido por ejemplo a una alteración en la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera o a cambios en la energía solar que incide en el planeta (Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/437/dick.html>, consultado: 7 de diciembre 2018).

### 1.5. Modificaciones al Ciclo Global del Carbono

La atmósfera, el océano y la biosfera terrestre, presentan una fuerte interconectividad. Los tres sistemas intercambian carbono e influyen en el ciclo de carbono de estos reservorios. El CO<sub>2</sub> liberado de la quema de combustibles fósiles está alterando dramáticamente el balance de carbono preindustrial. Durante las décadas de los años ochenta y noventa, se pensaba que tanto la biosfera oceánica como la terrestre tomaban cantidades comparables de CO<sub>2</sub> antropogénico de la atmósfera. Sin embargo, gran parte de la captación terrestre fue compensada por prácticas de uso de la tierra que liberan CO<sub>2</sub> de nuevo a la atmósfera (Malhi, 2002 y Sabine, 2006). (Imagen 4)



**Imagen 4.** Ciclo global del carbono. Se observan los reservorios (en Gt) y los flujos (en GtCyr<sup>-1</sup>) de carbono. Las flechas negras indican los flujos de carbono preindustriales, mientras que las flechas rojas flujos de origen antropogénico de 1980s a 1990s. PPG hace referencia a la producción primaria global. Fuente: Imagen adaptada de Sabine (2006).

Lo anterior lo confirma el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2013b), que menciona que las concentraciones de dióxido de carbono han aumentado en un

40% desde la era preindustrial, particularmente por las emisiones derivadas de los combustibles fósiles y las emisiones derivadas de cambio de uso del suelo. Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana. Sin embargo, para el 2018 la NOAA (2018b) reporta que las concentraciones de estos gases de efecto invernadero son de 405.04 ppm (CO<sub>2</sub>), 1849.7 ppb (CH<sub>4</sub>) y 329.7 ppb (N<sub>2</sub>O), valores que exceden los niveles preindustriales en aproximadamente el 45%, el 156% y el 21%, respectivamente. Estas concentraciones superan hoy considerablemente las concentraciones más altas registradas en los núcleos de hielo correspondientes a los últimos 800 000 años. Este informe señala que existe un nivel de confianza alto respecto a las tasas promedio de aumento de las concentraciones atmosféricas durante el siglo pasado que no han tenido precedentes en los últimos 22 000 años.

## **1.6. México en el mundo ante el Cambio Climático**

A nivel internacional México ha participado activamente en las negociaciones internacionales sobre cambio climático, ya que fue uno de los primeros países en firmar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en 1992, misma que ratificó en 1993.

Esta Convención busca estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Este nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar la producción alimentaria y permitir el desarrollo económico de manera sostenible (Naciones Unidas, 1992).

En lo que se refiere al Protocolo de Kioto de la CMNUCC, México firmó este instrumento el 9 de junio de 1998 y lo ratificó el 29 de abril del año 2000 por voto unánime en el Senado de la República, sin embargo, dado que México es un país

No Anexo I, no tiene obligaciones cuantitativas de reducción de emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI).

México se ha caracterizado por ser un país proactivo en la atención del cambio climático, al ser el único país No Anexo I que ha presentado 5 Comunicaciones Nacionales ante la CMNUCC; asimismo ha desarrollado diferentes instrumentos y políticas nacionales en materia de cambio climático.

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND, 2013), en la sección de desarrollo sustentable, se muestra el compromiso del gobierno mexicano de desarrollar acciones para combatir el cambio climático. Por ejemplo, en la estrategia 4.4.3 se establece: fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono. Dicha estrategia cuenta con varias líneas de acción para su realización, destacando la siguiente: realizar investigación científica y tecnológica, generar información y desarrollar sistemas de información para diseñar políticas ambientales, de mitigación y adaptación al cambio climático (*Ibid*).

La Ley General de Cambio Climático (LGCC), mandata al Gobierno Federal a elaborar una estrategia para conservar y usar sustentablemente el capital natural, aprovechar el potencial para desarrollar energías limpias, corregir ineficiencias energéticas, generar empleos con una economía verde, incrementar competitividad y mejorar servicios de salud y calidad de vida de la población mexicana (DOF, 2012).

Esta LGCC alinea la normatividad del país con los avances en las negociaciones y acuerdos internacionales con base en los tratados y protocolos de los cuales México es parte. Define un nuevo marco institucional, al establecer la transversalidad del cambio climático en los tres órdenes de gobierno, a través del Sistema Nacional de Cambio Climático (SNCC). México se compromete a reducir 30% sus emisiones hacia 2020; así como 50% hacia 2050 en relación con las emisiones de 2000, por lo que el reto es grande y requerirá transformaciones en el modelo del desarrollo del país (CICC, 2013). De acuerdo con la Estrategia Nacional de Cambio Climático,



más allá del desafío que representa el cambio climático, México tiene una gran oportunidad para conservar y hacer uso de manera sustentable del capital natural, aprovechar el potencial enorme para desarrollar energías limpias, corregir ineficiencias en el uso de la energía, promover el desarrollo territorial sustentable, mejorar la calidad de vida de la población, entre otros (*ibid*).

### **1.7. México y el Acuerdo de París.**

El Acuerdo de París es un nuevo tratado internacional adoptado durante la COP21 de la CMNUCC y que constituye un esfuerzo global para enfrentarse al cambio climático y establece un desafío pues invita a los países a alinear la trayectoria de sus políticas económicas, sociales y de desarrollo a la luz del cambio climático. Ya que compromete a los países a descarbonizar sus economías durante la segunda mitad del siglo y a aumentar su resiliencia.

Con la adopción del Acuerdo de París, el mundo en desarrollo aceptó que la lucha contra el cambio climático, si bien debe llevarse a cabo bajo el principio de las responsabilidades comunes, pero diferenciadas, y tomando en consideración las capacidades respectivas, implica que todos los países deben reducir emisiones (PINCC UNAM, 2016).

El Acuerdo de París contempla, como objetivo principal, una meta de largo plazo: “Mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5°C”. Dicho acuerdo se sostiene en cuatro pilares fundamentales: 1) mitigación (reducción de los GEI para promover un desarrollo con bajas emisiones); 2) adaptación (aumento de la capacidad adaptativa de sociedades y naciones a los efectos adversos del cambio climático y resiliencia al clima); 3) financiamiento (movilización de recursos financieros a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de GEI); y 4) diferenciación (equidad, principio de las responsabilidades

comunes pero diferenciadas, y consideración de las capacidades respectivas a la luz de las diversas circunstancias nacionales) (UNFCC, 2016).

Sobre el Acuerdo de París uno de los compromisos de México con respecto a emisiones es reducir con recursos propios 25% de sus emisiones de GEI para el año 2030, y hasta un 40% contaminantes climáticos de vida corta (como carbono negro) siempre y cuando se establezcan convenios internacionales que aborden temas como el precio internacional del carbono, la cooperación técnica, el acceso a recursos financieros de bajo costo y la transferencia de tecnología (Gobierno de la República, 2016).

En este sentido la participación del sector forestal resulta de gran interés para la reducción de emisiones, tomando en cuenta que una de las metas del gobierno en esta materia es llegar a una tasa de deforestación cero para el año 2030.

En la Sexta Comunicación Nacional y Segundo Reporte Bienal de Actualización que México presentó a la CMNUCC en 2018, se muestra la actualización de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para México, donde se analizan los siguientes sectores: energía, procesos industriales y uso de productos, agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, y residuos. Dentro de las actualizaciones más relevantes, destaca el cálculo de las absorciones de las tierras que permanecen en el mismo uso de suelo, donde destacan las tierras forestales. Dichas absorciones son del orden de -167 MtCO<sub>2</sub>e para el año 2015. Las emisiones totales del inventario sin considerar estas absorciones son de 683 MtCO<sub>2</sub>e, pero al considerar las absorciones las emisiones netas quedan en 535 MtCO<sub>2</sub>e. Además de estos datos, también se contemplan aquellas emisiones provenientes de cambios de uso de suelo e incendios forestales, así como de la degradación; estas emisiones contribuyen con 20 MtCO<sub>2</sub>e (INECC-SEMARNAT, 2018). Lo anterior nos deja ver la relevancia de la conservación de los bosques y su impacto como sumideros de CO<sub>2</sub>.

## 1.8. REDD+

Antes del Protocolo de Kioto la problemática forestal tenía poco peso en las negociaciones internacionales. Fue en la COP 13, realizada en Bali en el año 2007 en donde se reconoció la importancia del tema y se tomó la iniciativa de establecer un esquema para evitar su degradación (CONAFOR, 2010). En México las principales causas de degradación y deforestación tienen relación con diversos problemas estructurales en las diferentes regiones del país, como los cambios de uso de suelo forestal, que han ocurrido en favor de uso agropecuarios y posteriormente hacia usos urbanos e industriales, esto en gran parte propiciados por las difíciles condiciones económicas en zonas rurales, la desventaja de los productos forestales en el mercado, entre muchas otras condiciones en nuestro país.

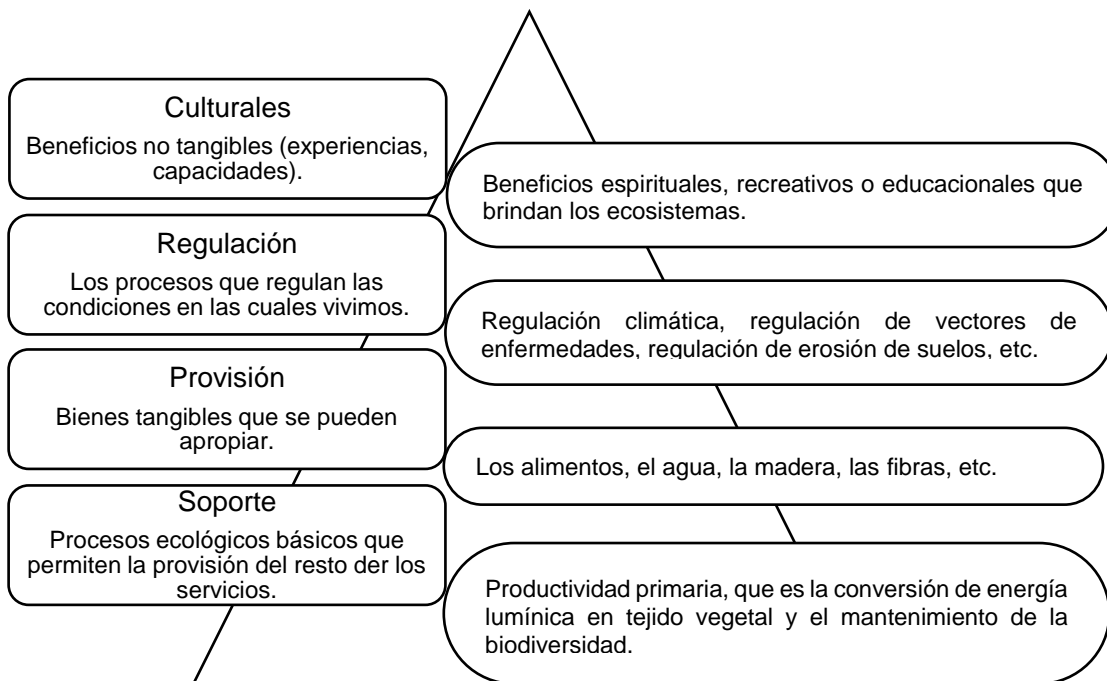
REDD+ quiere decir “Reducción de las Emisiones (CO<sub>2</sub>) producto de la Deforestación y la Degradación de bosques”. Es una herramienta que ayuda a aquellos países que estén dispuestos y puedan reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación/degradación y puedan ser compensados financieramente por ello. El principal objetivo de esta estrategia es reducir las emisiones, para lo que actualmente se incorporó el papel de la conservación, el manejo sustentable de los bosques y el mejoramiento de inventarios de carbono que es representado con el signo “+”, dando lugar al término REDD+ (REDD/CCAD-GIZ, 2013).

Como parte de las medidas para mitigación y adaptación al cambio climático, a nivel mundial se buscan programas REDD+. En este contexto, México ha ofrecido un modelo basado en la devolución de los derechos de uso de los bosques y todos sus productos a las comunidades locales, el establecimiento de sólidos esquemas democráticos de gobierno local y la implementación de una combinación de programas gubernamentales de apoyo a la propia iniciativa de las comunidades (Barry *et al.*, 2010). A lo largo de las últimas décadas, en nuestro país, se ha avanzado en el diseño y consolidación de diversos instrumentos jurídicos y de

política pública en materia forestal (CONAFOR, 2010), también se conoce la relación entre la deforestación y las emisiones de carbono, se reconoce la problemática y se aborda con propuestas para construir un mecanismo global para financiar las iniciativas REDD+. Estos modelos proponen elevar el valor de los bosques con base en su capacidad para almacenar y capturar carbono.

### 1.9. Servicios ecosistémicos

Los seres humanos obtenemos numerosos beneficios de los sistemas naturales que nos rodean, así como de la biodiversidad que estos albergan. Los servicios ecosistémicos se pueden definir como los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas (Balvanera y Cotler, 2009; CONANP, 2015). En la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* (2005) los servicios ecosistémicos se clasificaron en cuatro grupos:



**Imagen 5.** Servicios Ecosistémicos. Diagrama tomado y modificado de Balvanera en CONANP (2015).

El valor de los servicios ecosistémicos se ha mantenido prácticamente invisible en las inversiones o en la implementación de la política pública. La importancia de la valoración económica de estos servicios es que nos permite visibilizar los valores, para los tomadores de decisiones. Los ejercicios de valoración económica nos permiten demostrar los aportes de la naturaleza a la economía y desarrollo, además de constituir un potente aliado para la conservación (Reid, 2015).

Los bosques desempeñan un papel importante en la regulación de los flujos hídricos, albergan un porcentaje importante de la biodiversidad del mundo y almacenan enormes cantidades de carbono (Pagiola *et al.*, 2003). Se reconoce que los bosques son considerados sumideros de carbono, debido a su gran capacidad de captura y almacenamiento del carbono (Maser, 1996; Ordóñez, 1998; IPCC, 2003, IPCC, 2006).

Considerando lo anterior, se establecieron Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), como resultados del Protocolo de Kioto, a fin de que países en desarrollo, como México, puedan percibir incentivos por la venta de bonos de captura de carbono derivados de la certificación en la reducción de sus emisiones y del establecimiento de proyectos de captura de carbono (Ordoñez y Maser, 2001).

Un ejemplo de lo anterior es el caso de la organización no gubernamental mexicana de Servicios Ambientales de Oaxaca. (SAO), la cual en 2008 fue pionera en la apertura del mercado voluntario de carbono en México, vendiendo créditos o bonos de carbono de 10 comunidades rurales a corporaciones y otros compradores en México (CONAFOR, 2011).

En este tenor, con la intención de contribuir a los objetivos de mitigación del cambio climático mediante estrategias de conservación y reducción de la deforestación de bosques, se desarrolló el presente estudio.

## **2. Objetivos**

Estimar el contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea y valoración económica en el área natural protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, México.

### **2.1. Objetivos particulares**

- Estimar el contenido de carbono en biomasa aérea por hectárea (tC/ha).
- Estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea por cobertura vegetal y uso de suelo (tC).
- Calcular la captura de carbono expresada en CO<sub>2</sub> equivalente para cada tipo de cobertura vegetal y uso de suelo.
- Realizar una comparación del precio por tonelada de carbono para los tipos de cobertura vegetal y uso de suelo.

### 3. Área de estudio

Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, México.



**Imagen 6.** Lago en la cuenca hídrica de Infiernillo. Foto cortesía de Guillermo Castañeda.

#### 3.1. Localización

La Reserva de la Biosfera de Zicuirán-Infiernillo se ubica entre las coordenadas extremas  $102^{\circ}14'12''$  y  $101^{\circ}29'21''$  de longitud Oeste y  $19^{\circ}01'00''$  y  $18^{\circ}11'43''$  de latitud Norte, en la porción sureste del Estado de Michoacán de Ocampo, dentro de los municipios de Arteaga, Churumuco, La Huacana y Tumbiscatío (Imagen 7). Presenta una extensión de 265 117 hectáreas, de las cuales 22 699 hectáreas corresponden a áreas núcleo y 242 418 hectáreas a zonas de amortiguamiento, conforme a su zonificación, encontrándose en un gran valle que fluctúa entre los 200 metros y 1 600 metros sobre el nivel del mar (CIDEM, 2007 y CONANP, 2014).

### 3.2. Decreto

En el año de 2005 el Gobierno del Estado de Michoacán y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas anunciaron el interés en la conservación del Bajo Balsas, que definía sitios de conservación de interés. Para el año de 2006, se inició la consulta con la publicación del Estudio Previo Justificativo en el Diario Oficial de la Federación. Finalmente, el 30 de noviembre de 2007, por decreto presidencial, fue establecida la Reserva de la Biósfera Zicuirán-Infiernillo, que se ubica en los municipios de Arteaga, Churumuco, La Huacana y Tumbiscatío en el estado de Michoacán, comprendiendo una superficie de 265 117 hectáreas, con ecosistemas representativos de las selvas bajas caducifolias y subcaducifolias, así como diversas especies de mamíferos. (DOF, 2007; CONANP, 2012; y CONANP, 2014).

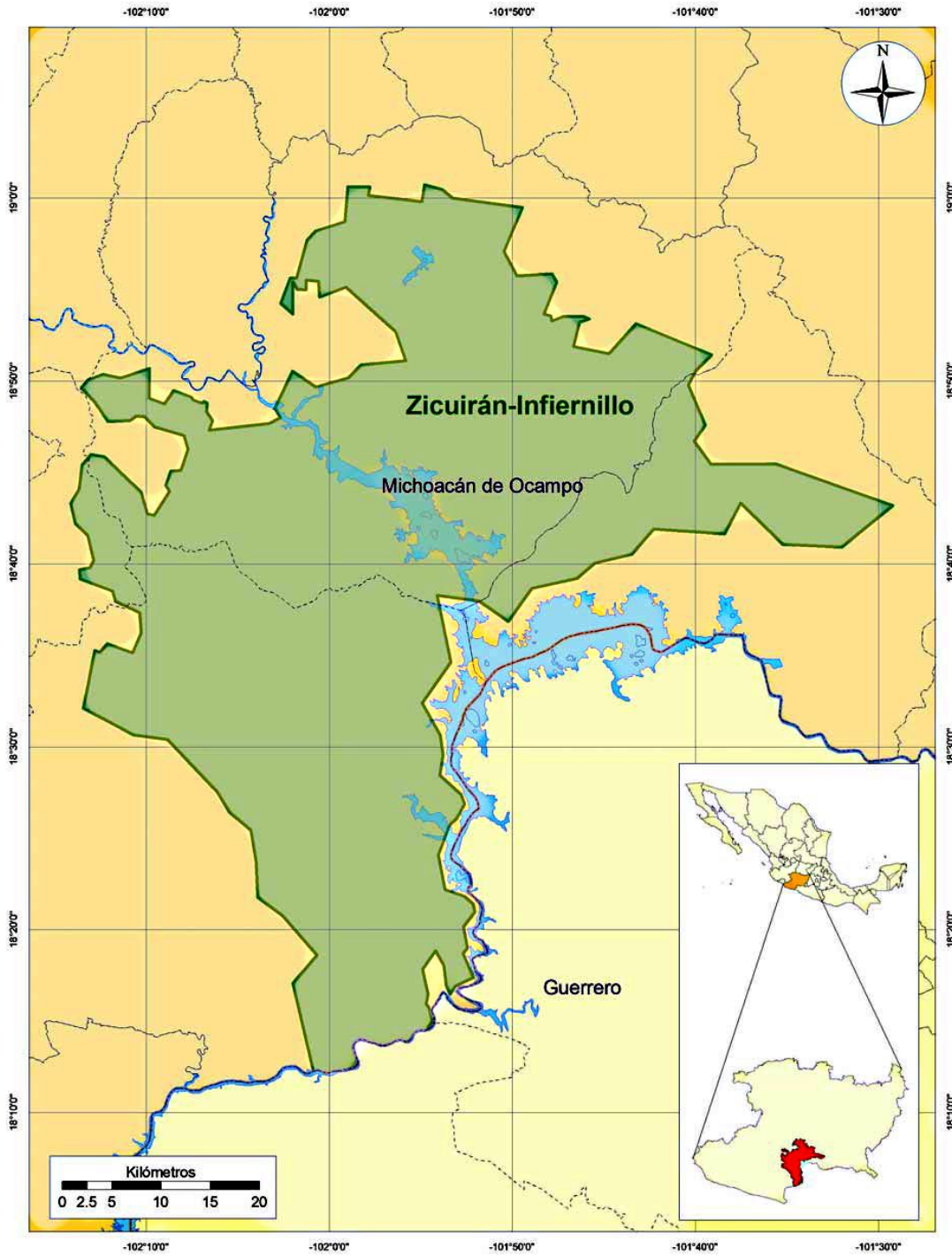
### 3.3. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (2014), en la región se presentan los tipos de climas cálido subhúmedo (A(w)), semiseco cálido (BS1(h´)), seco cálido (BS(h´)) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano (ACw) (Imagen 8). La precipitación promedio anual fluctúa entre los 600 y los 900 mm en la mayor parte de Bajo Balsas, sin embargo, la zona más seca corresponde al área más baja en la región de Infiernillo, con 500 milímetros de precipitación anual (Tabla 2). La temperatura promedio mensual oscila en los 28°C, misma que disminuye en la parte alta de la sierra y menos cálida, que corresponde a una fracción de Arteaga (García, 2004; INEGI, 2009; y CONANP 2014).

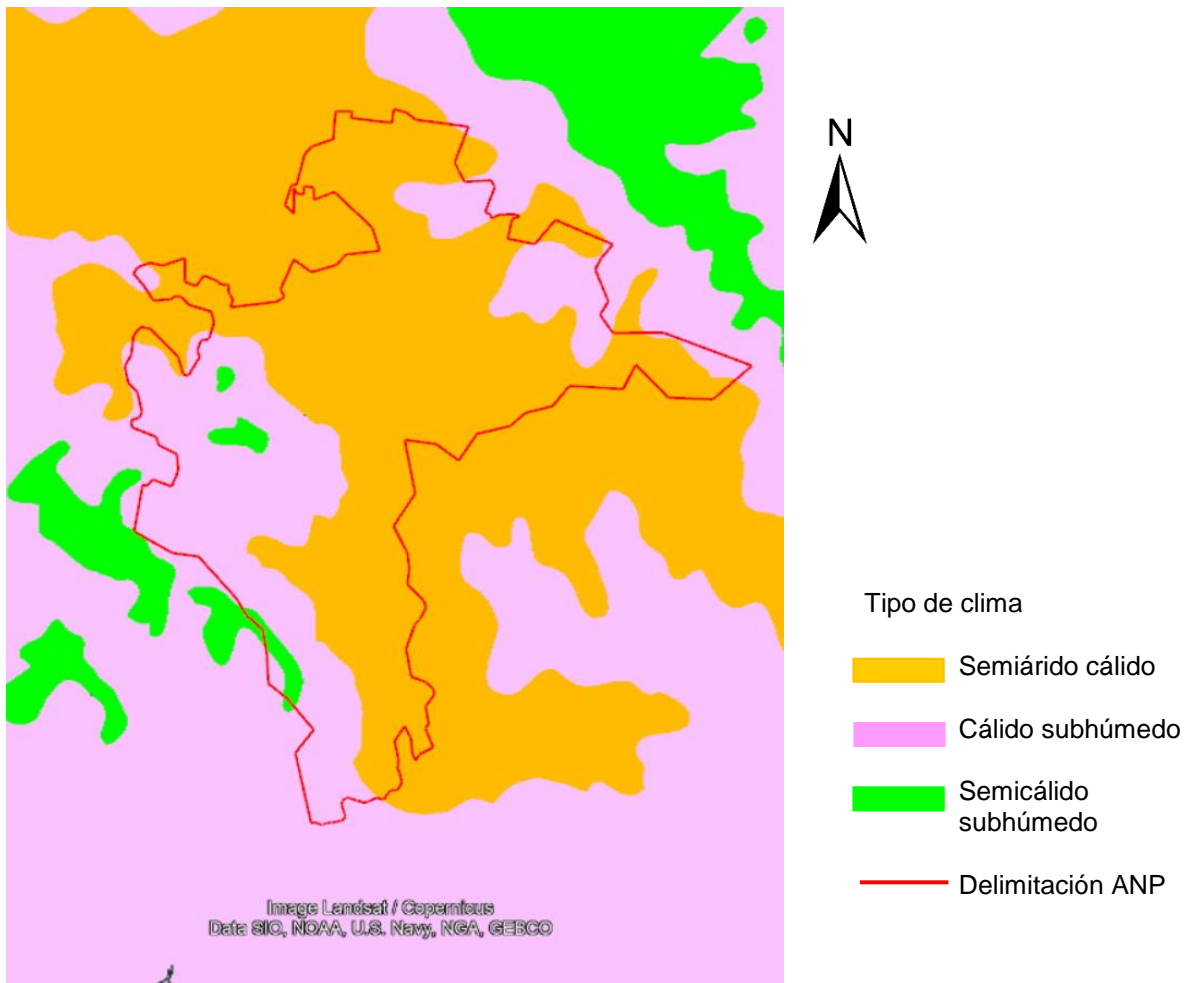
Localidad	Rango de Temperatura	Rango de Precipitación
Arteaga	18-30°C	400-1200 mm
Churumuco	20-30°C	400-1000 mm
La Huacana	20-30°C	400-1000 mm
Tumbiscatío	16-28°C	700-1300 mm

**Tabla 2.** Rangos de temperatura y precipitación en la Reserva de la Biosfera de Zicuirán-Infiernillo.





**Imagen 7.** Ubicación y delimitación del Polígono de la Reserva de la Biósfera de Zicuirán-Infiernillo, en el Estado de Michoacán. (Mesomaya-CONANP, 2010)

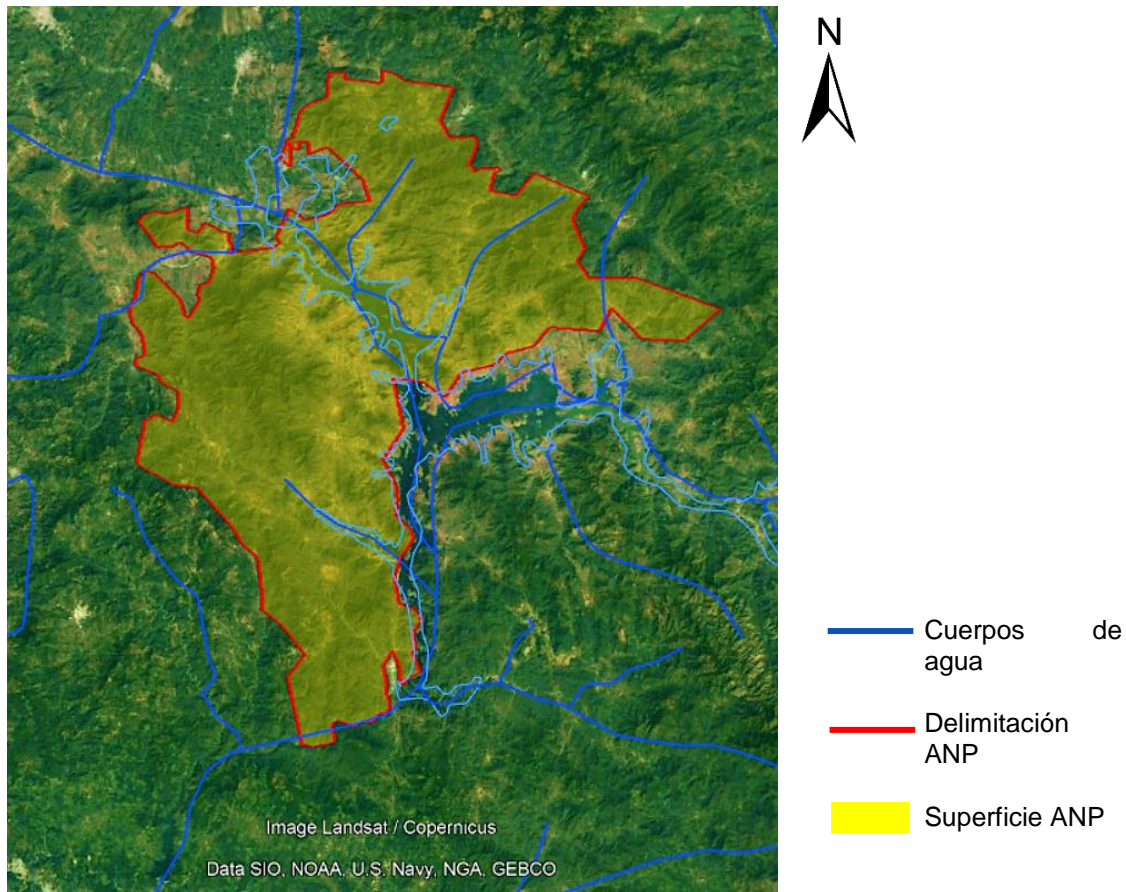


**Imagen 8.** Climas en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán. Fuente: Imagen desarrollada con base en el catálogo de metadatos geográficos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1998).

### 3.4. Hidrografía

La Reserva de la Biosfera de Zicuirán-Infiernillo se encuentra en la región hidrológica No. 18 Balsas (CONAGUA, 2014), dentro de la cuenca del Balsas, precisamente en las subcuencas Tepalcatepec-Infiernillo y Balsas-Infiernillo. La subcuenca del Río Tepalcatepec-Infiernillo abarca un área de 7 647.17 kilómetros cuadrados, con un patrón de drenaje de tipo dentrítico, siendo el punto de reunión

de tres de los afluentes más importantes que depositan sus aguas a la Presa Lic. Adolfo López Mateos (Infiernillo), en donde el principal es el Río Tepalcatepec, que drena desde el noreste. Por su parte, la subcuenca Balsas-Infiernillo abarca un área de 4 281.44 kilómetros cuadrados, siendo el Río Balsas el que alimenta a la Presa Lic. Adolfo López Mateos (Infiernillo), que ocupa una superficie de 400 kilómetros cuadrados (CONANP, 2014). (Imagen 9)



**Imagen 9.** Hidrografía en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán. Fuente: Imagen desarrollada con base en el catálogo de metadatos geográficos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO-INIFAP, 1990).

### 3.5. Geología

La Reserva de la Biósfera se encuentra situada fisiográficamente dentro de las provincias de la Sierra Madre del Sur y del Eje Neovolcánico (Raisz, 1964).

Respecto de la primera provincia, está representada por la Presa de Infiernillo y la Rivera del Río Balsas, mientras que la segunda, por la depresión del Balsas y Tierra Caliente (Serrato e Israde, 1989). El Área Natural Protegida se localiza en rocas que datan de las eras Cenozoica y Mesozoica, con predominancia de estas últimas.

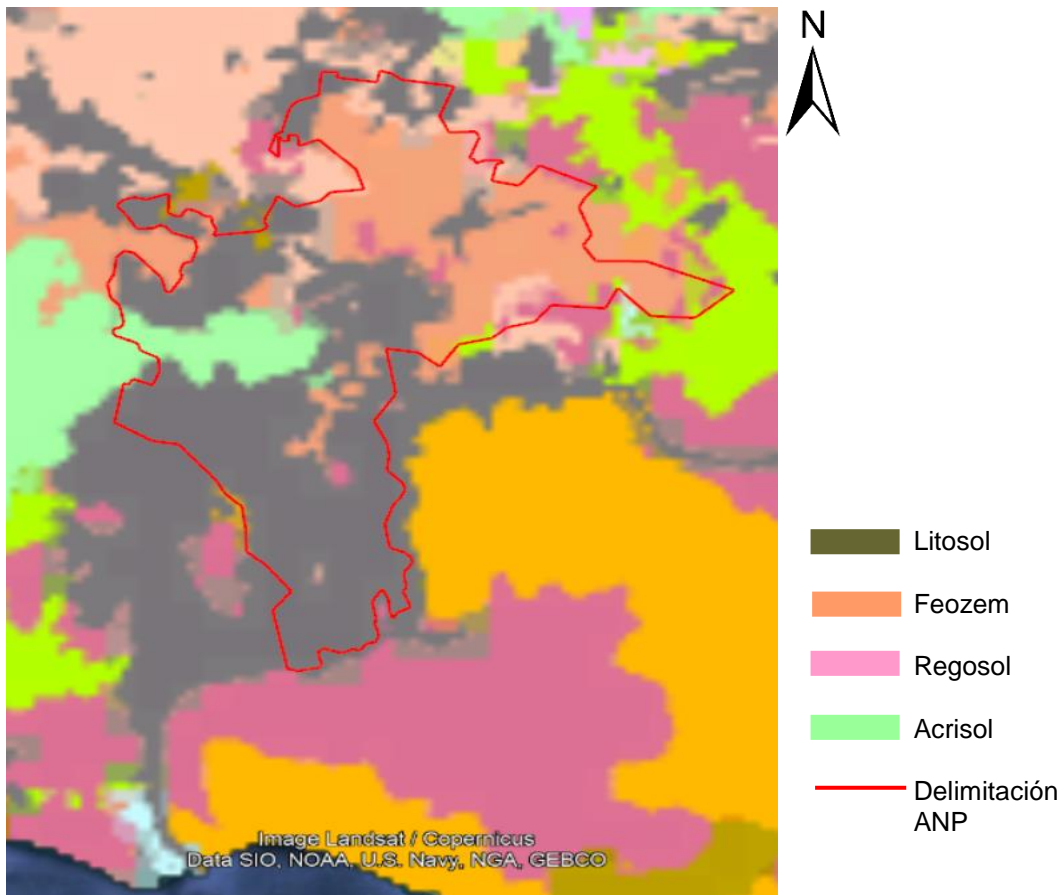
Por su origen, existen cuatro clases de rocas: las volcánicas extrusivas e intrusivas, las sedimentarias y los suelos residuales. (CONANP, 2014).

### 3.6. Edafología

El Área Natural Protegida presenta 10 tipos diferentes de suelos, siendo los de tipo Litosol y Feozem háplico los más abundantes, distribuidos de sur a norte en la reserva respectivamente (CONANP, 2014). (Imagen 10)

Tipo de suelo	Porcentaje
Rendzina	0.4
Vertisol crómico	1.4
Vertisol pélico	2.0
Luvisol crómico	0.4
Acrisol órtico	6.8
Regosol eútrico	4.6
Regosol calcárico	0.2
Litosol	51.7
Feozem háplico	32.4
Cambisol eútrico	0.1

**Tabla 3.** Tipos de suelo y porcentajes en el Área Natural Protegida de Zicuirán Infiernillo, Michoacán.



**Imagen 10.** Edafología en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán. Fuente: Imagen desarrollada con base en el catálogo de metadatos geográficos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO-INIFAP, 1995).

### 3.7. Vegetación

De acuerdo con el Inventario Nacional Forestal (2012), el Estudio Previo Justificativo de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo (CONANP, 2006), Burgos *et al.* (2010) y el Programa de Manejo (2014), como se observa en la imagen 11, la reserva se encuentra representada por al menos ocho tipos de vegetación, siendo los siguientes:

**Bosque de pino.** Bosque de coníferas (género *Pinus*). Las especies más comunes en la reserva son el ocote trompillo (*Pinus oocarpa*) y el pino blanco (*P. Devoniana*).

**Bosque de encino.** Bosques formados por especies del género *Quercus*. Las especies más comunes en la Reserva son *Quercus conspersa*, *Quercus glaucooides*, *Quercus macrophylla*, *Quercus magnoliifolia* y *Quercus obtusata*.

**Bosque de pino-encino.** Bosque mixto de pinos (*Pinus*) y encinos (*Quercus*). En la Reserva existen pequeños manchones en las partes más altas, por arriba de los 1 700 metros sobre el nivel del mar.

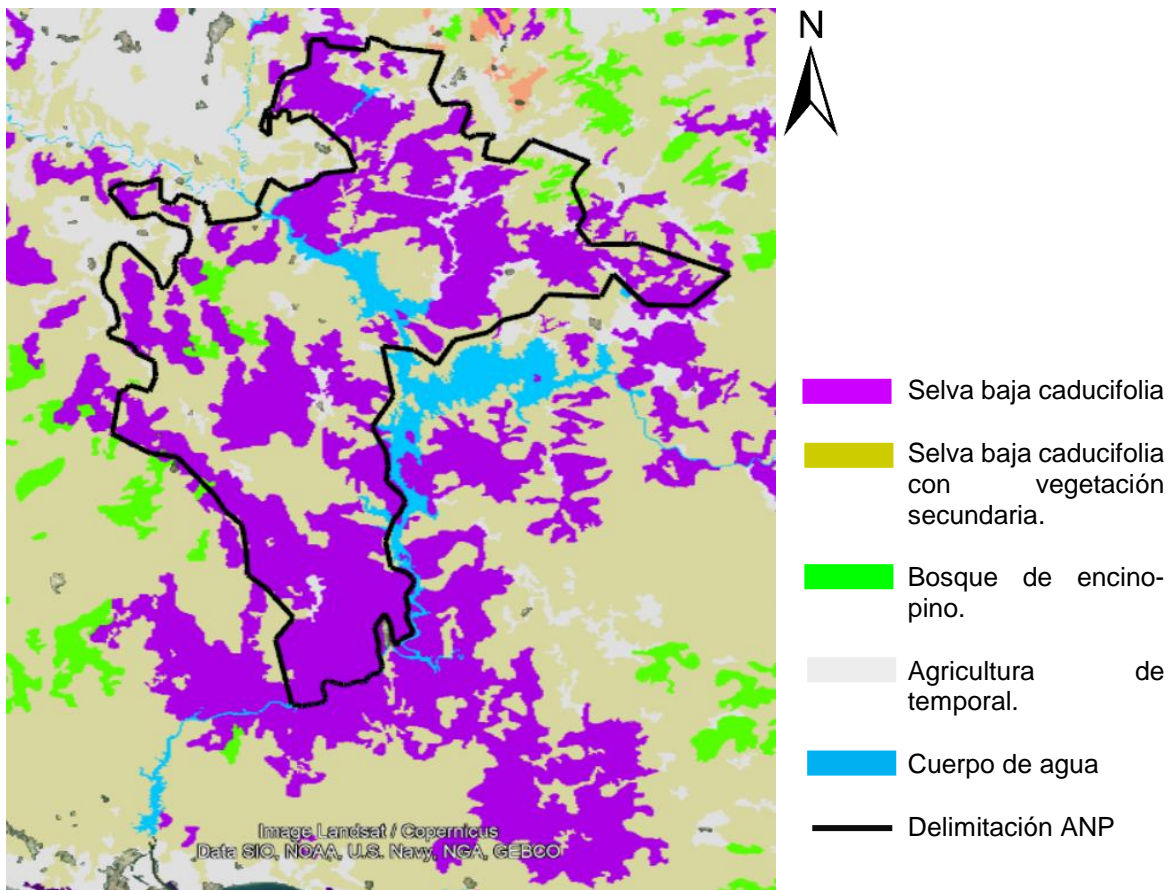
**Selva mediana subperennifolia.** Comunidad vegetal arbórea de 20 a 30 metros de altura, que se desarrolla en climas cálido-húmedos y subhúmedos con temperaturas típicas entre 20 y 28°C. Entre los géneros dominantes se encuentran *Lysiloma*, *Brosimum* y *Bursera*, entre otros. Las epifitas más comunes son algunos helechos y musgos, abundantes orquídeas y bromeliáceas y aráceas.

**Selva baja caducifolia.** Vegetación arbórea de entre 8 y 15 metros de altura, en clima cálido-semiseco. Entre los géneros más frecuentes de este tipo de vegetación están *Bursera*, *Copallifera*, *Ceiba*, *Euphoria*, *Haematoxylon*, *Ipomea* y *Tabebuia*, y los cactus de formas columnares, como *Backebergia* y *Pilosocereus chysacanthus*. En la Reserva es el tipo de vegetación que representa la mayor superficie.

**Selva baja subcaducifolia.** Vegetación arbórea de entre 8 y 15 metros de altura. Entre los géneros que la componen se encuentran: *Lysiloma*, *Astronium*, *Cordia*, *Tabebuia*, *Ficus*, *Agave*, *Bursera*, *Bromelia* y *Desmodium* entre otras. En la Reserva representa pequeños parches muy poco estudiados en cuanto a su composición florística.

**Selva baja espinosa.** Comunidad vegetal con dominancia de árboles espinoso, de 4 a 15 metros de altura. En su mayoría está compuesta de árboles espinosos de los géneros *Pithecellobium*, *Prosopis*, *Acacia*, *Cercidium*, *Manihot*, *Opuntia* y *Pachycerus*. Los suelos en los que por lo regular crece son más o menos arcillosos, con abundante materia orgánica.

**Palmar.** Vegetación formada por palmas; en esta región la dominante es *Sabal pumos*. Los palmares dentro de la Reserva son utilizados en muchos casos como zonas ganaderas, donde se cultivan o se inducen los pastos. Los frutos y semillas de algunas especies son comestibles; otras se explotan para la industria de grasas y jabones. Los troncos se emplean en la construcción de casas, pero el beneficio mayor lo obtienen de las hojas, las cuales sirven para el techado de viviendas y el tejido de sombreros, bolsas, petates, juguetes y otros objetos artesanales.



**Imagen 11.** Principales tipos de vegetación en el Área Natural Protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán. Fuente: Imagen desarrollada con base en el catálogo de metadatos geográficos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2008).

### 3.8. Uso de suelo

Con base en Burgos (2010) y el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Zicuirán-Infiernillo (2014), los tipos de cobertura vegetal analizados en la Reserva, homologados de acuerdo con la cartografía generada por INEGI serie II y al Inventario Nacional Forestal de 2012, corresponden a las siguientes categorías:

**Agricultura de riego (incluye riego eventual).** Tipo de cultivos que reciben agua mediante algún sistema de riego durante parte o todo su ciclo agrícola. Pertenece al uso de suelo “agricultura de riego y humedad”, que a su vez pertenece a la formación “cultivos”. En la Reserva esta categoría se expresa en el distrito de riego vinculado a la Presa Zicuirán, abarcando las adyacencias de las localidades en el Chauz y Zicuirán, en las que se cultivan principalmente maíz y sorgo, así como huertos de mango, limón o papaya.

**Agricultura de temporal (incluye humedad).** Tipo de cultivo en el que los cultivos reciben agua de lluvia únicamente, que puede ser en forma de lluvia, rocío y niebla. La agricultura de temporal de temporal en la Reserva presenta varios problemas, principalmente en la parte sur, debido a las bajas precipitaciones, con lo cual se tiene bajas cosechas.

**Asentamientos humanos.** Áreas ocupadas por zonas edificadas, urbanas, suburbanas e industriales, principalmente. En el área los principales asentamientos son las localidades de La Huacana, Churumucho, Zicuiran e Infiernillo.

**Bosques de pino-encino.** Tipo de bosque mixto (*Pinus –Quercus o Quercus - Pinus*) de entre 5 y 20 metros. En el área el pino aparece por encima de los 1 100 metros sobre el nivel del mar.

**Bosque de encino.** Tipo de bosque de estructuras variadas con alturas entre 2 y 30 metros, dominados por especies del género *Quercus*. En la Reserva se expresa entre los 900 y 1 100 metros sobre el nivel del mar.



**Selva baja caducifolia y subcaducifolia.** Tipo de comunidad con vegetación arbórea de entre 10 y 12 metros de altura en esta región. En el área esta selva se ubica en laderas y superficies cumbreles por debajo de los 900 metros sobre el nivel del mar hasta los 350.

**Selva mediana caducifolia y subcaducifolia.** Tipo de comunidad que se expresa en barrancas y líneas de drenaje, con una estructura de hasta 25 metros de altura.

**Selva baja espinosa.** Tipo de vegetación que consiste en árboles espinosos de 1.5 a 4 metros de altura, principalmente en terrenos planos. En el Área se encuentra en las riberas de la Presa de Infiernillo, principalmente en la parte Noroeste-Suroeste del cuerpo de agua.

**Palmar.** Tipo de vegetación resistentes al calor, al frío y al viento, dominada por palmas que se desarrollan generalmente en zonas tropicales. En la Reserva el palmar está representado por la palma redonda (*Sabal pumos*), conocida localmente como palma real, y se encuentra asociada a las mesetas cercanas al Volcán Jorullo, en el municipio de la Huacana, en altitudes de entre 600 y 700 metros sobre el nivel del mar.

**Pastizal inducido.** Comunidad vegetal dominada por gramíneas (pastos o zacates). Tipo de vegetación determinada por la influencia humana, secundaria a la eliminación de la vegetación original.

**Cuerpos de agua.** Dentro de la Reserva, esta categoría está representada por el embalse de la Presa Infiernillo, en los municipios de la Huacana, Churumuco y Arteaga, así como la Presa Zicuirán, en el municipio de la Huacana.

### 3.9. Fauna

La fauna se encuentra poco estudiada dentro de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, Michoacán; sin embargo, el Estudio Previo Justificativo (2006), refiere una enorme riqueza faunística en la zona, enlistadas a continuación:

**Moluscos.** *Phylum* que se encuentra representado por 29 especies, con 18 géneros y 12 familias, cuatro órdenes y dos clases. Cabe mencionar que, de las especies identificadas de este *Phylum*, la especie *Polimesoda caroliniana* se encuentra EN estatus de Sujeta a Protección Especial (Pr).

**Anélidos.** Se encuentra representados por 14 especies, con 11 géneros y 7 familias, tres órdenes y una clase.

**Arácnidos e insectos.** En la Reserva se tienen identificados 7 órdenes y 32 especies de arácnidos; asimismo, 15 órdenes y 110 familias de insectos; que suma un total de 141 familias de arácnidos e insectos.

**Peces.** Se encuentran representados dentro de la Reserva por 58 especies, con 42 géneros y 22 familias. Cabe señalar que se ha identificado que 13 especies son introducidas, mientras que el resto son nativas. La Norma Oficial Mexicana NOM-059 SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo (DOF, 2010), identifica a las especies *Allotoca catarinae* en peligro de extinción, mientras que *Poecilia butleri* y *Onchorynchus mykiss* en protección especial.

**Anfibios y reptiles.** Se tienen registradas un total de 69 especies de anfibios y reptiles. Respecto a los anfibios se tiene identificadas 15 especies en 9 géneros, 4 familias y un orden; mientras que, de reptiles, se tienen registradas 54 especies, en 35 géneros, 15 familias y 2 órdenes. Lo anterior representa que en la Reserva se encuentran más de 37 por ciento de las especies presentes en Michoacán. No se omite mencionar que 33 especies, de las identificadas en la Reserva, se encuentran

en algún estatus dentro de la Norma Oficial Mexicana Nom-059-Semarnat-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, en alguna categoría de riesgo.

**Aves.** Se encuentra representados por 253 especies en 51 familias, que representa más de 46% de la riqueza de especies del estado. Cabe mencionar que la Reserva funge como hogar de 101 especies, del total registrado, que son migratorias. Con base en la Norma Oficial Mexicana Nom-059-Semarnat-2010, las especies *Streptoprocne rutila* y *Deltarhynchus flammulatus* se encuentran sujetas a protección especial y *Megascops seductus* está catalogado como especie amenazada.

**Mamíferos.** La Reserva alberga 86 especies de mamíferos silvestres de 8 órdenes y 24 familias. Cabe mencionar que en la zona se encuentra aproximadamente el 53% del total de las especies identificadas a nivel estatal. De las especies identificadas, 14 se encuentran en alguna categoría de riesgo dentro de la Norma Oficial Mexicana Nom-059-Semarnat-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

### **3.10. Actividades productivas**

De acuerdo con el Programa de Manejo (2014) dentro de la Reserva de la Biosfera Zicuirán Infiernillo, Michoacán, se encuentran documentadas actividades primarias, como la ganadería, la pesca, la agricultura y la cacería; asimismo, de las actividades secundarias incluyen a minería, la electricidad, la construcción y el agua. Respecto al sector terciario, se presenta por el gobierno, el transporte, el comercio y otros servicios (Tabla 4).

<b>Municipios en el ANP</b>	<b>Actividad primaria</b>	<b>Actividad secundaria</b>	<b>Actividad terciaria</b>
<b>Arteaga</b>	42.01%	15.51%	40.14%
<b>La Huacana</b>	42.66%	19.27%	36.60%
<b>Churumuco</b>	46.41%	17.94%	32.95%
<b>Tumbiscatío</b>	61.34%	14.31%	24.16

**Tabla 4.** Representación porcentual de las actividades primarias, secundarias y terciarias en los municipios que comprenden el ANP de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.

Dentro de la Reserva de la Biosfera de Zicuirán-infiernillo, se tiene una predominancia por las actividades primarias, siendo la agricultura y la pesca las más importantes.

### **3.11. Servicios ecosistémicos**

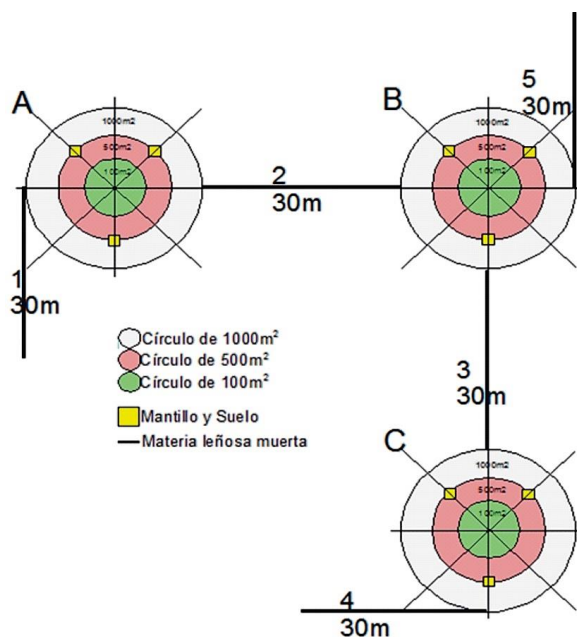
La CONANP (2014), mediante el Programa de Manejo, refiere que la Reserva de la Biosfera de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, provee y resguarda significativos servicios y bienes ambientales; sin embargo, se encuentra sujeta a costosas perturbaciones antropogénicas y naturales. Los ecosistemas que conforman la Reserva, por ejemplo, son importantes reservorios de agua y significativos fijadores de CO<sub>2</sub>; no obstante, la destrucción de estos, mediante el método de roza, tumba y quema, ha liberado grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que contribuye al cambio climático.

Esta reserva es una generadora importante de servicios ecosistémicos, que más allá de que permite la permanencia de asentamientos humanos, resulta relevante para la evolución ecosistémica.

#### 4. Materiales y métodos

La captura de carbono muestra variables que son difíciles de estimar. Dicha captura, se refiere a la cantidad de carbono fijada en la biomasa de la vegetación que se obtiene año con año, es decir, su crecimiento (Ordoñez, 2008).

Para los muestreos desarrollados en campo, se realizó un tipo de método anidado (n=3), jerárquico, estratificado, con distribución sistemática (imagen 12), propuesto por Ordoñez (2008a; Ordoñez, 2008b; Ordoñez *et al.*, 2008 y 2016), que ha sido usado con el objetivo de realizar la determinación de biomasa en diferentes almacenes, inventarios forestales y análisis del cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo e integrarla con el contenido de carbono en biomasa aérea, mantillo y suelo (Torres *et al.*, 2010).

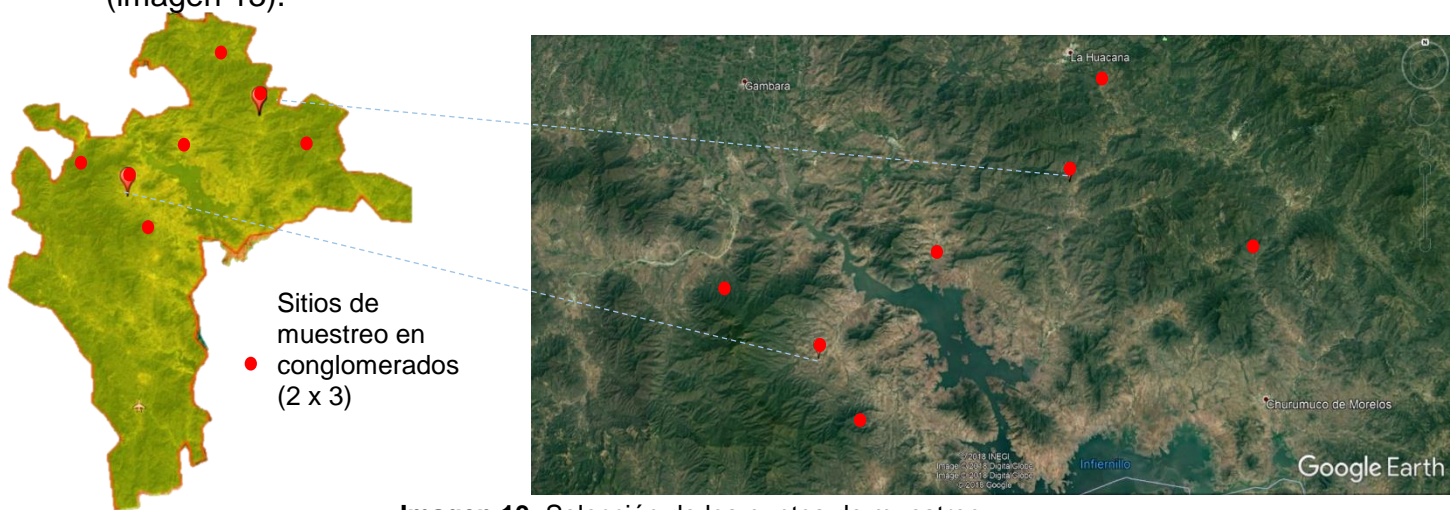


**Imagen 12.** Diseño de muestreo anidado, jerárquico, estratificado, con distribución sistemática propuesto por Ordoñez (2008a; Ordoñez, 2008b; Ordoñez *et al.*, 2008 y 2016).

#### 4.1. Selección de puntos de muestreo.

Para la elaboración del presente trabajo, el material básico utilizado consistió en la consulta y revisión de los mapas de uso de suelo y vegetación elaborados por Mesomaya-CONANP (2010), desarrollados durante el proyecto denominado *“Iniciativa de México para la protección del clima en el corredor ecológico Sierra Madre Oriental y en las lagunas costeras de Laguna Madre y Marismas Nacionales”*.

Con base en los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo, se analizó la distribución de los diferentes tipos de vegetación en el área de estudio y, con ayuda del personal de la ANP, se establecieron los diferentes puntos de muestreo (se representan en conglomerados cada sitio tiene 3 unidades y su réplica) de cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo alrededor del embalse “Infiernillo” (imagen 13).



**Imagen 13.** Selección de los puntos de muestreo.

Los sitios seleccionados fueron preferentemente de fácil acceso, dado que, en los mismos, se establecerían “líneas base” en la captura de carbono y serían monitoreados, como propuesta, continuamente por personal de la ANP. Asimismo, los sitios propuestos fueron revisados en conjunto con los directivos de la ANP, a efecto de asegurar que las condiciones de la vegetación estuvieran en concordancia con las condiciones generales observadas durante los recorridos a los puntos de muestreo.

#### 4.2. Parámetros estimados

Identificada la cobertura vegetal en cada una de las áreas propuestas, se estimaron los siguientes parámetros:

1. Área basal. Estimada a partir de los datos obtenidos de diámetro normal (DN) a una altura de 1.30 m.

$$AB = \pi \left( \frac{DN^2}{4} \right)$$

Donde:

AB= área basal

$\pi=3.1416$

DN= diámetro normal (m)

2. Altura. Estimada con base en las propuestas por Torres et al. (2010), en función del diámetro registrado.

$$h = 3.498 (\ln DN) + 2.1803$$

$h$ = altura (m)

$\ln$ = logaritmo natural del diámetro normalizado

DN= diámetro normal (m)

3. Volumen. Estimado con base en el cálculo a partir del área basal.

$$V = (AB)(h)(0.7)$$

Donde:

V=volumen (m<sup>3</sup>)

AB= área basal

h= altura (m)

0.7= coeficiente mórfico<sup>4</sup>

3. Biomasa aérea<sup>5</sup>. Calculada multiplicando el volumen de cada árbol por un factor de densidad (0.63) de la madera reportado para las especies registradas.

$$B = (V)(\delta)$$

Donde:

B= biomasa (kg)

$\delta$ = densidad de la madera (kg/m<sup>3</sup>) 0.63

V=volumen (m<sup>3</sup>)

#### 4.3. Estimación del contenido y captura potencial de Carbono

Calculada la biomasa e identificada la cobertura, se determina el contenido de carbono y su potencial de captura en la hectárea tipo de acuerdo con la siguiente ecuación (Ordoñez, 2008):

---

<sup>4</sup> El coeficiente mórfico es la relación entre el volumen del tronco y el producto de su altura por el área bisimétrica. (S.E.C.F., 2005)

<sup>5</sup> La biomasa aérea es la materia orgánica seca contenida en el tronco, hojas y partes reproductivas de los árboles.



$$C_{AER} = (E.R.)(\delta)(CC)$$

Donde:

$C_{AER}$  = Carbono almacenado por especie y por tipo de cobertura vegetal expresado en tC/ha

$E.R.$  = Existencias reales  $m^3/ha$

$\delta$  = Densidad de la madera para cada especie expresada en  $t/m^3$  (0.63)

$CC$  = Contenido de carbono (valor por defecto IPCC, 2003) 0.45

Estimado el valor almacenado por especie, por cobertura vegetal y uso de suelo ( $C_{AER}$ ), se suman los valores obtenidos de las especies contenidas en la cobertura vegetal y uso de suelo y el resultado es el carbono almacenado por cobertura vegetal ( $C_{AER}$ ) que se expresa en tC/ha.

Para conocer la cantidad de carbono que se encuentra almacenado en cada cobertura vegetal, se multiplicó la superficie de cobertura vegetal por el  $C_{AER}$ , y se obtuvo toneladas de carbono por tipo de cobertura vegetal (Ordoñez, 2008).

Para conocer la captura de carbono expresada en  $tCO_2$  equivalente, Rodríguez y Lawrence (1998) proponen multiplicar el contenido de carbono de cada sitio, por la relación del peso molecular del C, es decir 44/12.

#### 4.4. Estimación del potencial de captura de carbono

Se estima a partir del incremento corriente anual por especie, estimado para cada hectárea muestreada:

$$Pcc = (I.C.A.)(\delta)(CC)$$

Donde:

$P_{cc}$  = Potencial de captura de carbono tC/ha/año

$I.C.A.$  = Incremento corriente anual  $m^3/ha/año$

$\delta$  = Densidad de la madera para cada especie expresada en  $t/m^3$

$CC$  = Contenido de carbono (valor por defecto IPCC, 2003) 0.45

El cálculo de las variables registradas en campo (diámetro normalizado, altura, especie, localización con sus coordenadas geográficas, tipo de vegetación, entre otras) se procesaron y analizaron utilizando el programa de cálculo: Microsoft-Excel, a efecto de calcular cuánto carbono se encuentra almacenado en la biomasa por unidad de área, cuánto carbono puede calcular dicha biomasa por unidad de área tal como se describe en los párrafos anteriores.

#### 4.5. Estimación de captura de $CO_2e$

La captura de carbono expresada en dióxido de carbono equivalente ( $CO_2e$ ), se obtuvo multiplicando el contenido de carbono de cada sitio (considerando la suma del crecimiento por especies presentes en cada sitio) por la relación del peso molecular del dióxido de carbono ( $CO_2$  44) dividido entre el peso molecular del carbono (IPCC, 2006):

$$\left[ C(12) \left( \frac{44}{12} \right) \right]$$

#### **4.6. Estimación de costos**

Se comparó el costo potencial de la captura de carbono por la superficie estimada de cada tipo de cobertura vegetal y uso de suelo (tCO<sub>2</sub>e/año), se multiplicó por el valor de mercado voluntario de carbono en México tasado en 10 USD (*Forest trends*, 2018a) por tCO<sub>2</sub>e, vigente desde el año 2008. Con base en el valor presente neto (VPN) de 19.94 pesos mexicanos por un dólar (tipo de cambio al 2 de noviembre de 2018<sup>6</sup>), se compararon los costos en el mercado nacional e internacional del servicio ambiental captura de carbono.

En el mercado internacional se tomó como precio base 0.87 dólares (USD), mientras que para el mercado europeo se tomó como precio base 6.15 dólares (USD) y para el mercado americano se consideró un precio base promedio de 4.74 dólares (USD).

---

<sup>6</sup> Fuente: Reuters a noviembre de 2018.

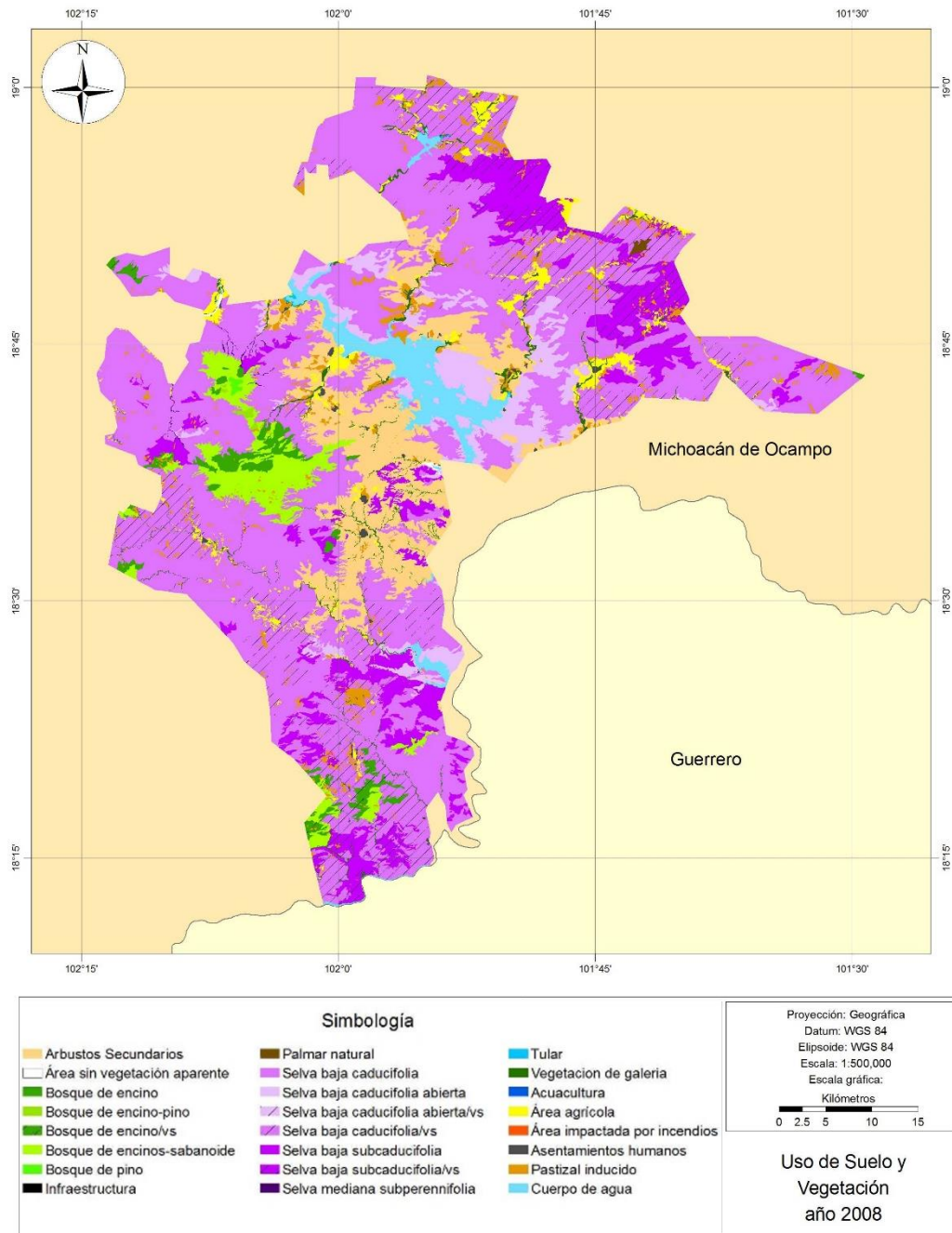
## **5. Resultados**

A continuación, se describen los resultados obtenidos en: uso de suelo y vegetación del ANP; contenido y captura de carbono potencial; y costos estimados para el ANP Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, México.

### **5.1 Uso de suelo y vegetación**

Con base en el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo proporcionado por Mesomaya-CONANP (2010-2018), se realizó el cotejo de la distribución espacial de las coberturas e identificamos 14 tipos, siendo las siguientes: arbustos secundarios, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de encino con vegetación secundaria, bosque de encino-sabanoide, bosque de pino, palmar natural, pastizal inducido, selva baja caducifolia, selva baja caducifolia abierta, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, selva baja subcaducifolia, selva baja subcaducifolia con vegetación secundaria y selva mediana subperennifolia. Asimismo, se señalan las áreas de uso de suelo no forestal, en el que no se estimó el carbono almacenado ni potencial de captura, toda vez que, para efectos de este trabajo, no se consideró como coberturas vegetales propiamente (Imagen 14).

Al respecto la selva baja caducifolia presenta la mayor cobertura con el 38.82% de la superficie total, seguida de la selva baja caducifolia con vegetación secundaria con el 17.34% y, finalmente, arbustos secundarios con 10.9%. (Tabla 5)



**Imagen 14.** Polígono de cobertura vegetal en la Reserva de la Biósfera Zicuirán-Infiernillo (Mesomaya-CONANP, 2010-2018).

**Tabla 5.** Uso de suelo y vegetación en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.

Uso de suelo y vegetación	2008	
	Ha	%
<b>Forestal</b>		
Selva baja caducifolia	102,369.11	38.82
Selva baja caducifolia/vs	45,741.12	17.34
Arbustos secundarios	28,758.60	10.90
Selva baja subcaducifolia	17,175.91	6.51
Selva baja caducifolia abierta	15,317.78	5.81
Selva baja subcaducifolia/vs	11,511.34	4.36
Bosque de encino-sabanoide	9,659.84	3.66
Pastizal inducido	7,965.04	3.02
Bosque de encino	3,935.29	1.49
Vegetación de galería	2,868.56	1.09
Bosque de encino/vs <sup>7</sup>	922.30	0.35
Bosque de encino-pino	226.16	0.09
Palmar natural	201.36	0.08
Selva mediana subperennifolia	197.88	0.08
Bosque de pino	164.24	0.06
Tular	85.50	0.03
<b>Subtotal</b>	<b>247,100.03</b>	<b>93.69</b>
<b>No forestal</b>		
Acuacultura	4.68	0.00
Área agrícola	6,876.03	2.61
Área impactada por incendios	55.09	0.02
Área sin vegetación aparente	208.74	0.08
Asentamientos humanos	694.18	0.26
Infraestructura	17.16	0.01
<b>Subtotal</b>	<b>7855.88</b>	<b>2.98</b>
<b>Otros</b>		
Cuerpos de agua	8,767.03	3.32
<b>Subtotal</b>	<b>8,767.03</b>	<b>3.32</b>
<b>Total</b>	<b>263,722.93</b>	<b>100</b>

<sup>7</sup> Vegetación secundaria

## 5.2 Contenido y captura potencial de Carbono.

El método utilizado permitió estimar el contenido de carbono en la hectárea tipo para cada tipo de cobertura vegetal y uso de suelo (CV y US) analizado.

La tabla 6 muestra la estimación de carbono almacenado y potencial de captura para los tipos de CV y US identificados en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo (ANPZ-I). Se observa que el carbono almacenado por hectárea, expresado en toneladas<sup>8</sup> de carbono por hectárea (tC/ha), presentó su mayor almacén en el bosque de encino, estimado en el orden de los 207.97 tC/ha; en contra parte, el menor almacén se observa en el pastizal inducido, estimado en el orden de los 7 tC/ha. Con base en los resultados observados en la tabla, los tipos de CV y US que tienen mayor carbono almacenado por hectárea, en orden decreciente, son: el bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de encino con vegetación secundaria y la selva mediana subperennifolia, respectivamente. Los demás tipos de CV y US presentaron almacenes de carbono entre los 52.86 tC/ha y 7 tC/ha.

Con relación al potencial de captura de carbono, expresado en toneladas de carbono por hectárea al año (tCO<sub>2</sub>e/ha/año), el bosque de encino también presentó el mayor potencial de captura de carbono con una estimación de 3.85 tCO<sub>2</sub>e/ha/año; en contra parte, el menor potencial de captura se observa en el pastizal inducido, con una estimación de 0.09 tCO<sub>2</sub>e/ha/año. Respecto al potencial de captura de carbono equivalente por hectárea, expresado en tCO<sub>2</sub>e/ha/año, presentó la mayor estimación en el bosque de encino con 14.11 tCO<sub>2</sub>e/ha/año; por el contrario, la menor estimación se observó en el pastizal inducido con 0.33 tCO<sub>2</sub>e/ha/año. Derivado de los resultados observados en la tabla, los tipos de CV y US que presentan el mayor potencial de captura de carbono por hectárea, en orden decreciente, son: bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de encino con

---

<sup>8</sup> Con base en el Sistema Internacional de Unidades (SI) una tonelada equivale lo mismo que un megagramo.

vegetación secundaria y la selva mediana subperennifolia, respectivamente. Los demás tipos de CV y US presentaron potenciales de captura de carbono entre los 0.98 tCO<sub>2</sub>e/ha/año y 0.09 tCO<sub>2</sub>e/ha/año y potenciales de captura de dióxido de carbono equivalente entre los 3.58 tCO<sub>2</sub>e/ha/año y 0.33 tCO<sub>2</sub>e/ha/año.

**Tabla 6.** Captura potencial de carbono para los diferentes tipos de cobertura vegetal y uso de suelo en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán.

Cobertura Vegetal/ Uso de suelo CV y US	Superficie (ha)	Porcent aje %	Carbono almacena do por hectárea (tC/ha)	Potencial de captura de carbono por hectárea (tCO <sub>2</sub> /ha/a ño)	Potencial de captura de carbono equivalent e por hectárea (tCO <sub>2</sub> e/ha/ año)	Captura potencial de carbono equivalent e por cobertura vegetal (tCO <sub>2</sub> e/año )
Selva Baja Caducifolia	102,369.11	38.82	52.86	0.98	3.58	366,481.43
Selva Baja Caducifolia/vs	45,741.12	17.34	28.13	0.52	1.90	86,908.12
Bosque de Encino	3,935.29	1.49	207.97	3.85	14.11	55,532.18
Selva Baja Subcaducifolia	17,175.91	6.51	25.00	0.43	1.56	26,794.41
Selva Baja Subcaducifolia/vs	11,511.34	4.36	37.00	0.63	2.31	26,591.19
Bosque de Encinos- Sabanoide	9,659.84	3.66	35.00	0.70	2.57	24,825.80
Arbustos Secundarios	28,758.60	10.90	13.00	0.22	0.81	23,294.47
Selva Baja Caducifolia Abierta	15,317.78	5.81	14.73	0.27	0.99	15,164.60
Bosque de Encino/vs	922.30	0.35	130.24	2.45	8.98	8,282.24
Pastizal Inducido	7,965.04	3.02	7	0.09	0.33	2,628.46
Bosque de Encino-Pino	226.16	0.09	152.04	2.92	10.69	2,417.59
Selva Mediana Subperennifolia	197.88	0.08	120.00	2.40	8.80	1,741.31
Palmar Natural	201.36	0.08	42.75	0.80	2.94	591.99
Bosque de Pino	164.24	0.06	42.00	0.84	3.08	505.85
Uso de Suelo No Forestal	7,855.88	2.98	na	Na	na	na
Cuerpo de Agua	8,767.03	3.32	na	Na	na	na
Tular	85.50	0.03	na	Na	na	na
Vegetación de Galería	2,868.56	1.09	na	Na	na	na
<b>Total</b>	<b>263,722.93</b>	<b>100</b>	<b>907.73</b>	<b>17.09</b>	<b>62.65</b>	<b>641,759.66</b>

Abreviaturas:

vs: vegetación secundaria

na: no aplica. No se estimó el carbono contenido

np: no presente

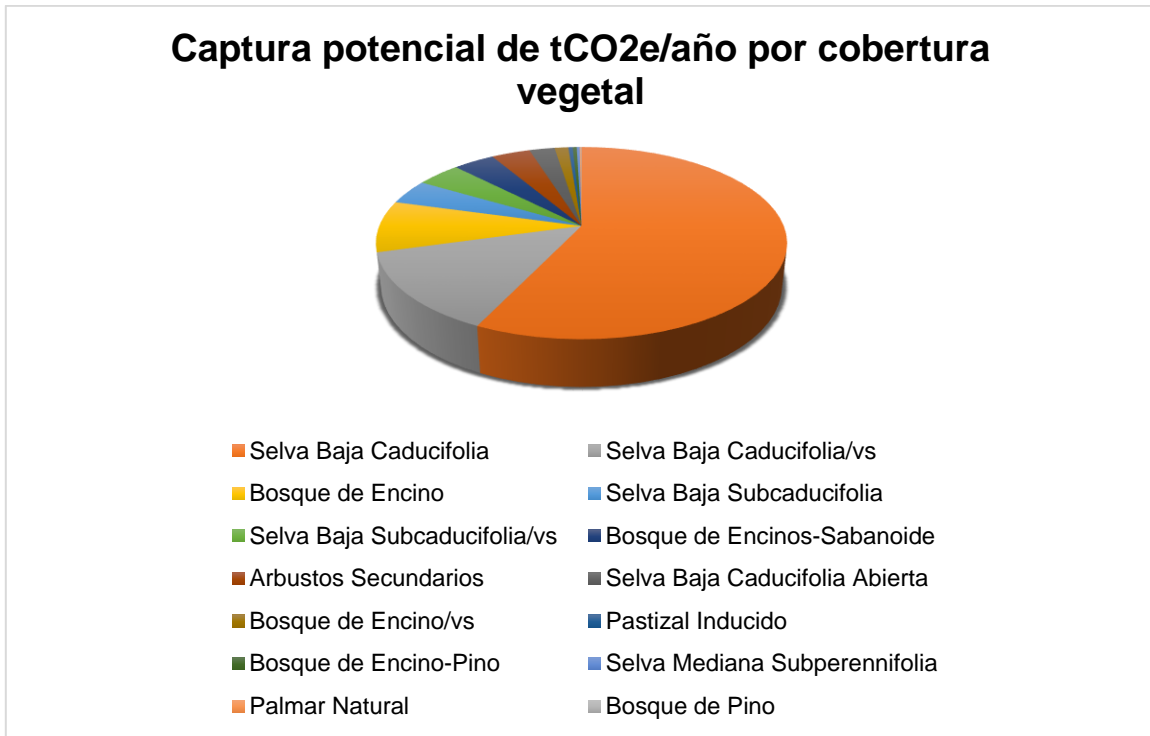
Valores en color azul tomados y cotejados en campo de Ordóñez *et al.*, 2008 y Ordóñez *et al.*, 2016.



Finalmente, la captura potencial de carbono equivalente al año, expresada en  $tCO_2e/año$ , muestra que la selva baja caducifolia representó la mayor estimación, en el orden de 366,481.43  $tCO_2e/año$ , respecto de las demás clases de CV y US, resultado que se encuentra íntimamente relacionado con su amplia distribución dentro de la ANPZ-I; asimismo, los tipos de CV y US que presentan el mayor potencial de carbono equivalente al año en orden decreciente, después de la selva baja caducifolia, son: selva baja caducifolia con vegetación secundaria, bosque de encino, selva baja subcaducifolia, selva baja subcaducifolia con vegetación secundaria, bosque de encinos-sabanoide y arbustos secundarios, respectivamente (Imagen 15).

Los demás tipos de CV y US presentaron potencial de carbono equivalente anual entre los 15 164.60  $tCO_2e/año$  y 505.85  $tCO_2e/año$ .

Con base en la superficie total de las CV y US del ANPZ-I, misma que suma 263 722.93 ha, se tiene que el carbono almacenado total es de 907.73 tC/ha, con un potencial de captura de carbono de 17.09 tC/ha/año, que representa un potencial de captura de dióxido de carbono equivalente de 62.65  $tCO_2e/ha/año$  y, finalmente, una captura potencial de dióxido de carbono equivalente por cobertura vegetal de 641 759.66  $tCO_2e/año$ . Cabe mencionar que los inventarios forestales realizados, toman el volumen presente de madera en  $m^3$ , independientemente de las especies presentes y por ello no se realiza un análisis por especie en cada sitio, ya que fueron sitios multiespecíficos y multietaneos (muchas especies de diferentes edades).



**Imagen 15.** Gráfica que muestra la captura potencial por tipo de cobertura vegetal. La selva baja caducifolia es el tipo de CV y US que representa la mayor estimación en el orden las 366, 481.43 tCO<sub>2</sub>e, seguida de la selva baja caducifolia con vegetación secundaria, bosque de encino y selva baja subcaducifolia, respectivamente.

### 5.3 Costos

La tabla 7 muestra los costos para cada una de las CV y US para el ANPZ-I, así mismo se presentan los resultados del análisis comparativo de los costos potenciales de captura en toneladas de dióxido de carbono al año (tCO<sub>2e</sub>/año).

Para el mercado nacional, considerando un precio base de 10 USD por cada tCO<sub>2e</sub>, se obtuvo que la selva baja caducifolia reportó un valor económico de 3, 664, 814.27/anual USD, seguida de la selva baja caducifolia con vegetación secundaria que representó un valor económico de 869, 081.22/anual USD. En este tenor, en orden decreciente, los cinco principales tipos de CV y US del ANPZ-I que representan el mayor valor económico son: selva baja caducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, bosque de encino, selva baja subcaducifolia y selva baja subcaducifolia con vegetación secundaria, respectivamente. En contraste, el bosque de pino presentó el techo mínimo de valor económico con 5 058.51/anual USD. En suma, todos los tipos de CV y US del ANPZ-I en el mercado nacional representan un valor económico de 6, 417, 596.55/anual USD.

Respecto al mercado internacional, considerando un precio base de 0.87 USD por cada tCO<sub>2e</sub>, se obtuvo que la selva baja caducifolia reportó el techo máximo de valor económico en 318, 838.84 USD, seguida de la selva baja caducifolia con vegetación secundaria que presentó un valor económico de 75, 610.07 USD. De esta manera, en orden decreciente, los cinco principales tipos de CV y US del ANPZ-I que representan el mayor valor económico son: selva baja caducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, bosque de encino, selva baja subcaducifolia y selva baja subcaducifolia con vegetación secundaria, respectivamente. Por el contrario, el bosque de pino representó el techo mínimo con relación al valor económico en 440.09 USD. En total, todos los tipos de CV y US del ANPZ-I representan un valor económico de 558, 330.90 USD en el mercado internacional.

Con relación al mercado europeo, teniendo en cuenta un precio base de 6.15 USD por cada tCO<sub>2e</sub>, se obtuvo que la selva baja caducifolia alcanzó el mayor valor

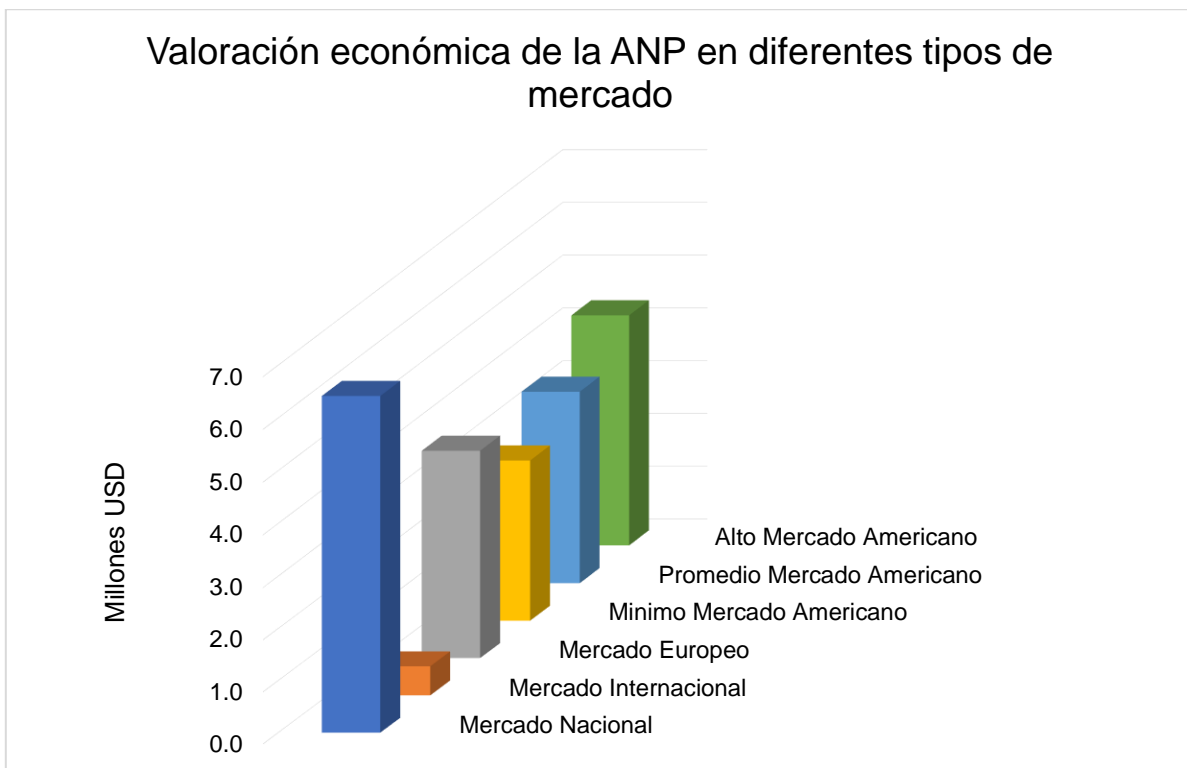
económico en 2, 252, 861.28 USD, seguida de la selva baja caducifolia con vegetación secundaria que representó un valor económico de 534, 247.93 USD. En este contexto, en orden decreciente, los cinco principales tipos de CV y US del ANPZ-I que representan el mayor valor económico son: selva baja caducifolia, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, bosque de encino, selva baja subcaducifolia y selva baja subcaducifolia con vegetación secundaria, respectivamente. En contraste, el bosque de pino representó el menor valor económico con 3, 109.60 USD. En suma, todos los tipos de CV y US del ANPZ-I en el mercado europeo representan un valor económico de 3, 945, 071.63 USD. (Imagen 16)

Finalmente, en el mercado americano se consideró un precio alto de 6.8 USD por cada tCO<sub>2e</sub>, un precio mínimo de 4.74 USD por cada tCO<sub>2e</sub> y un precio promedio de 5.66 USD por cada tCO<sub>2e</sub>. Respecto al precio alto, el tipo de CV y US en el ANPZ-I que representó el mayor valor económico fue la selva baja caducifolia con 2, 490, 741.04 USD; por el contrario, el bosque de pino obtuvo el menor valor económico con 3, 437.94 USD. En suma, todos los tipos de CV y US del ANPZ-I, respecto al precio alto, representan un valor económico de 4, 361, 631.98 USD.

Con relación al precio mínimo, el tipo de CV y US en el ANPZ-I que representó el mayor valor económico fue la selva baja caducifolia con 1, 737, 121.96 USD; por el contrario, el bosque de pino obtuvo el menor valor económico con 2, 397.73 USD. En suma, todos los tipos de CV y US del ANPZ-I, respecto al precio mínimo, representan un valor económico de 3, 041, 940 USD.

Por último, respecto al precio promedio, el tipo de CV y US en el ANPZ-I que representó el mayor valor económico fue la selva baja caducifolia con 2, 072, 952.22 USD; en contraste, el bosque de pino obtuvo el menor valor económico con 2, 861.27 USD. En total, todos los tipos de CV y US del ANPZ-I, respecto al precio promedio, representan un valor económico de 3, 630, 025.98 USD.

Con base en lo anterior, resulta relevante mencionar que, para el año que corre (2018), en México se tienen reportados cinco proyectos de captura de carbono forestal de acuerdo con Forest Trends (2018b); asimismo, los proyectos locales que reciben un pago por el servicio ambiental captura de carbono, están ubicados en el mercado voluntario, ya que, es el que mejor oferta los bonos o certificados de carbono.



**Imagen 16.** Comparativo de la valoración económica en diferentes tipos de mercado del Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo donde se aprecia que en el mercado nacional se estimó su mayor valor económico.

Cobertura Vegetal/Usos de suelo CV y US	Captura potencial de tCO <sub>2</sub> e/año por cobertura vegetal	Precio Mercado Nacional 10 USD por tCO <sub>2</sub> e	Precio Mercado Internacional 0.87 USD por tCO <sub>2</sub> e	Precio Mercado Europeo 6.15 USD por tCO <sub>2</sub> e	Precio Mínimo Mercado Americano 4.74 USD por tCO <sub>2</sub> e	Precio Promedio Mercado Americano 5.66 USD por tCO <sub>2</sub> e	Precio Alto Mercado Americano 6.8 USD por tCO <sub>2</sub> e
Selva Baja Caducifolia	366,481.43	\$3,664,814.27	\$318,838.84	\$2,252,861.28	\$1,737,121.96	\$2,072,952.22	\$2,490,741.04
Selva Baja Caducifolia/vs	86,908.12	\$869,081.22	\$75,610.07	\$534,247.93	\$411,944.50	\$491,583.94	\$590,659.20
Bosque de Encino	55,532.18	\$555,321.82	\$48,313.00	\$341,371.47	\$263,222.54	\$314,110.22	\$377,416.91
Selva Baja Subcaducifolia	26,794.41	\$267,944.13	\$23,311.14	\$164,712.56	\$127,005.52	\$151,558.94	\$182,104.57
Selva Baja Subcaducifolia/vs	26,591.19	\$265,911.90	\$23,134.34	\$163,463.30	\$126,042.24	\$150,409.44	\$180,723.40
Bosque de Encinos-Sabanoide	24,825.80	\$248,258.00	\$21,598.45	\$152,610.96	\$117,674.29	\$140,423.75	\$168,725.16
Arbustos Secundarios	23,294.47	\$232,944.67	\$20,266.19	\$143,197.44	\$110,415.78	\$131,761.98	\$158,317.67
Selva Baja Caducifolia Abierta	15,164.60	\$151,646.02	\$13,193.20	\$93,220.94	\$71,880.21	\$85,776.50	\$103,064.15
Bosque de Encino/vs	8,282.24	\$82,822.40	\$7,205.55	\$50,913.19	\$39,257.82	\$46,847.36	\$56,289.11
Pastizal Inducido	2,628.46	\$26,284.63	\$2,286.76	\$16,157.88	\$12,458.91	\$14,867.54	\$17,863.99
Bosque de Encino-Pino	2,417.59	\$24,175.92	\$2,103.31	\$14,861.60	\$11,459.39	\$13,674.78	\$16,430.84
Selva Mediana Subperennifolia	1,741.31	\$17,413.14	\$1,514.94	\$10,704.33	\$8,253.83	\$9,849.51	\$11,834.60
Palmar Natural	591.99	\$5,919.93	\$515.03	\$3,639.14	\$2,806.05	\$3,348.53	\$4,023.40
Bosque de Pino	505.85	\$5,058.51	\$440.09	\$3,109.60	\$2,397.73	\$2,861.27	\$3,437.94
<b>Comparativo del valor económico del servicio ambiental captura de carbono en el ANPZ-I</b>		<b>\$6,417,596.55</b>	<b>\$558,330.90</b>	<b>\$3,945,071.63</b>	<b>\$3,041,940.77</b>	<b>\$3,630,025.98</b>	<b>\$4,361,631.98</b>
Abreviaturas vs: vegetación secundaria na: no aplica np: no presente	Cantidades expresadas en USD (Dólares Americanos) del tipo de cambio al 2 de noviembre de 2018						
Fuente: Reuters a noviembre de 2018. Tipo de cambio peso dólar al 2 de noviembre de 2018: 19.94 pesos por dólar.	Mercado Europeo por tonelada de carbono						
	Mercado Americano Euros por tonelada de carbono						

**Tabla 7.** Comparativo en diferentes tipos de mercado a nivel internacional de la captura potencial de carbono de los tipos de cobertura vegetal y uso de suelo en el ANPZ-I.

## 6. Discusiones

El mapa de los tipos de vegetación en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo en escala 1:500,000 generado por Mesomaya-CONANP (2010-2018), empleado en este estudio, permitió desarrollar una descripción adecuada de las clases de cobertura vegetal y uso de suelo; sin embargo, la escala utilizada enmascara estados reales y cambios finos que guarda cada clase de cobertura vegetal y uso de suelo, relacionados con cambios en la composición, su estructura, la densidad de la biomasa y los procesos biológicos internos que no se logran describir y distinguir a esta escala, parámetros que pueden pasar desapercibidos en clasificaciones de imágenes satelitales, que son orientativas pero no precisas. Lo anterior, sugiere la elaboración y desarrollo de cartografía fina, que permita una descripción aún más detallada en este tipo de estudios.

La estimación del contenido y captura potencial de carbono, que se adecue a una valoración económica acorde con el estado de conservación de las clases de cobertura vegetal y uso de suelo, requiere del desarrollo de cartografía actualizada y precisa, misma que clasifique los tipos de vegetación lo más exacto posible, en escala *bis a bis*, con un cotejo que pueda ser corroborado en campo.

La verificación de los tipos de vegetación reportada, misma que fue comparada con la bibliografía existente en la zona de estudio (CONANP, 2014) y con bases de datos en sistemas de información de las coberturas vegetales (CONABIO, 2008) e imágenes satelitales (Google Earth, 2018), demostró inconsistencias en campo al momento de establecer los sitios de muestreo, toda vez que algunos tipos de cobertura vegetal no correspondían a las señaladas en la cartografía existente, situación que sugirió redirigir los sitios de muestreo hacia áreas no degradadas o alteradas, que correspondieran al tipo de vegetación a clasificar y donde se pudieran establecer líneas base.

Rzedowski (2006) refiere que el conocimiento del estado actual sobre los tipos de cobertura vegetal a nivel nacional es deficiente, situación que no permite una

apreciación comparativa a gran detalle y el presente estudio, coincide con lo antes mencionado pues la escala de cada unidad de muestreo es de 1,000m<sup>2</sup> y no se pudo detallar bien la frecuencia, dominancia e índices de la diversidad, toda vez que el enfoque fue estimar el volumen que ocupa la vegetación.

El método utilizado de tipo anidado, jerárquico, estratificado, con distribución sistemática, deriva de la compilación y reproducibilidad de la estimación del contenido y captura potencial de carbono, utilizado por Velasco *et al.*, 2002; Ordóñez, 2008; Galeana, 2008; Santiago, 2010; Rojas, 2010; Torres *et al.*, 2010; Ordóñez, 2012; Balam de la Vega, 2013; y Carmona, 2017. Este método permitió estimar el contenido de carbono por hectárea tipo para clases de cobertura vegetal y uso de suelo y, así, poder analizar diferencias entre el carbono almacenado y su potencial de captura, por clase de cobertura vegetal y uso de suelo. Al respecto, una variable determinante en el potencial de captura de carbono es la distribución que ocupa el tipo de cobertura vegetal o uso de suelo, ya que, en el presente caso, aunque la selva baja caducifolia no es el tipo de cobertura vegetal que presenta el mayor potencial de captura de carbono por hectárea, sí es la que presenta la mayor distribución en el área de estudio, impactando directamente en su captura potencial anual, y, por ende, la clase de cobertura vegetal y uso de suelo que representa la mayor valoración económica.

Se apreciaron diferencias en las estimaciones del contenido y los potenciales de captura de carbono para mismas clases de cobertura vegetal, pero en diferentes zonas de distribución, situación que atiende a las variaciones en la composición, estructura y densidades de la biomasa, características muy específicas que solo pudieron ser corroboradas en campo.

Las estimaciones del carbono contenido por cada clase de cobertura vegetal y uso de suelo, presenta particularidades que están asociadas a factores como el clima, edafología, orografía y el uso de suelo, sujeto a la ocupación de comunidades que habitan dentro del Área Natural Protegida. Al respecto, Burstein *et al.* (2002), refiere que aproximadamente el 80% de los bosques están sujetos a presiones sociales,



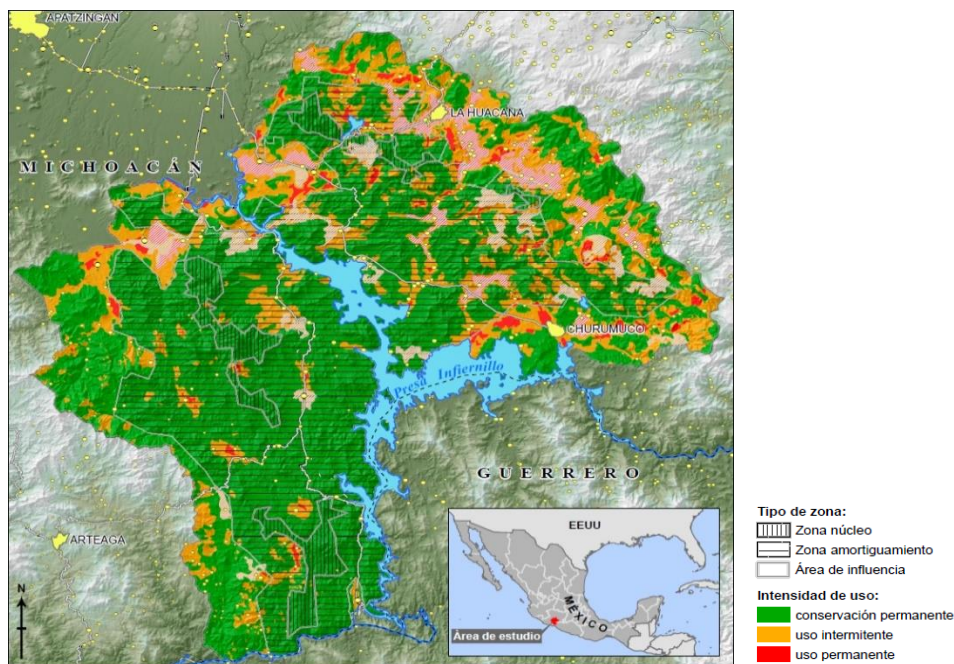
situación que ha generado cambios de uso de suelo forestal, en favor de usos agropecuarios y, posteriormente, hacia usos urbanos e industriales, propiciado por las complejas condiciones económicas en diversas zonas rurales y la desventaja de los productos forestales en el mercado, entre muchas otras. Actividades como la agricultura y ganadería dentro del Área Natural Protegida, representa la ausencia de una sinergia positiva que permita hacer rentables los suelos forestales y la conservación de estos.

En este tenor, se identificaron algunos sitios de selva baja caducifolia perturbados por la cercanía a zonas agrícolas y por las excretas en el suelo con presencia de pastoreo, algunos árboles cortados para tomar ramas que sirven de leña, con vegetación secundaria de tipo arbustiva, condición derivada de la extracción de madera realizada en algún momento, que dio paso a la formación de estratos arbustivos bien desarrollados, en comparación con otros sitios conservados bien representados por el tipo de vegetación, donde los diámetros registrados de árboles presentes fueron mayores que en los sitios con vegetación secundaria de manejo relativamente reciente.

Al respecto Ihl *et al.* (2017), refiere que el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, aún se encuentra bien conservada en el área núcleo; sin embargo, existen zonas que se encuentran en uso de tipo intermitente y que representan el 3.33% del área, lo que requiere de una conversión y permita su conservación permanente. Respecto de la zona de amortiguamiento, ésta se encuentra en uso intermitente con 18.52% de degradación dentro de la zona, sin embargo, de continuar con este uso, este se podría extender hasta en un tercio. Por último, la zona de influencia presenta una superficie aproximada del 33.26% que está en uso. (Imagen 17)

El programa REDD+, como una herramienta que pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, de manera simultánea fomenta la conservación, el manejo sustentable de los bosques y el mejoramiento de inventarios de carbono, basado en la devolución de los derechos del uso de los bosques y todo de lo que

de ellos se obtiene, iniciativas gubernamentales que favorecen apoyos a las comunidades que los habitan.



**Imagen 17.** Degradación en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán. Tomado de Ihl *et al.* (2017).

Este estudio, pionero en la estimación del contenido y captura potencial de carbono en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, así como su valoración económica en mercados internacionales, permitió reducir algunas incertidumbres generadas por la aplicación y sustitución de estudios de casos muy puntuales o demasiado generales (P. ej. las estimaciones nacionales), por lo que de éste, se desprende la importancia de aplicar criterios sobre la selección de índices de carbono, para otras clases de cobertura vegetal y uso de suelo, y con ello, precisar y establecer líneas base. Asimismo, permitió una conciliación entre las comunidades que habitan y hacen uso de los recursos en el área, representantes del gobierno

que gestionan el ANP (CONANP) y actores de ONG's, interesados en conocer los reservorios de carbono en la zona de estudio.

Bezaury (2009) refiere que el bosque de encino almacena 105 tC/ha, mientras que la selva tropical caducifolia, subcaducifolia y bosque espinoso almacenan 54 tC/ha; sin embargo, en el estudio de caso se reportaron almacenes de 207.97 tC/ha y 52.86 tC/ha, respectivamente, lo que sugiere que el resultado de las estimaciones están asociadas a la técnica y métodos utilizados en campo, que al utilizar únicamente percepción remota sin validación *in situ*, reportan valores de almacenes muy altos que al extrapolarlos genera una sobreestimación (Galeana, 2008). No obstante, las estimaciones altas del potencial de captura de carbono, sugieren que se trata de zonas con coberturas vegetales mayormente conservadas. Al respecto, resulta primordial que en las estimaciones de contenido y captura potencial de carbono se utilicen métodos confiables, que se adecuen a los requerimientos y estándares que exige el IPCC (2003).

La conservación de esta Área Natural Protegida representa un importante abastecedor de servicios ecosistémicos, particularmente en el contenido y captura de carbono, situación que la sitúa en mercados internacionales con un alto valor económico.

## 7. Conclusiones

- I. Se obtuvieron estimaciones para 14 tipos de cobertura vegetal y uso de suelo en el Área Natural Protegida de Zicuirán Infierno, Michoacán, siendo éstas: arbustos secundarios, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de encino con vegetación secundaria, bosque de encinos-sabanoide, bosque de pino, palmar natural, pastizal inducido, selva baja caducifolia, selva baja caducifolia abierta, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, selva baja subcaducifolia, selva baja subcaducifolia con vegetación secundaria y selva mediana subperennifolia.
- II. La selva baja caducifolia presentó la mayor superficie dentro del Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, con una cobertura total de 102 369.11 ha, que representa el 38.82%. En contraste, el bosque de pino presentó la menor superficie, con una cobertura total de 164.24 ha, que representa el 0.06%.
- III. La selva baja caducifolia en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, representó una estimación en el orden de las 366,481.43 tCO<sub>2</sub>e de captura potencial de carbono al año, que independientemente del tipo de mercado, el valor económico que pueda representar está íntimamente relacionado con su estado de conservación, lo que igualmente supone para los otros 13 tipos de cobertura vegetal y uso de suelo.
- IV. A pesar de que el potencial de captura por hectárea de la selva baja caducifolia se encuentra por debajo del potencial de captura del bosque de encino (3.56 tCO<sub>2</sub>e/ha/año respecto de 14.11 tCO<sub>2</sub>e/ha/año), la gran distribución de la selva baja caducifolia dentro del Área Natural Protegida de Zicuirán-Infierno, que representa el 38.82%, contribuye con el mayor potencial de captura al año que resulta en la mayor valoración económica por tipo de cobertura vegetal y uso de suelo.

V. Resulta importante resaltar que el mercado nacional representa la mayor y mejor valoración económica para la captura potencial de carbono al año, en el orden de los 10 USD por tCO<sub>2e</sub>, que valora las 14 coberturas vegetales y uso de suelo analizadas en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, en **6 417 596.55 USD**.

VI. El tipo de muestreo empleado en el presente estudio proporcionó las herramientas técnicas para estimar el carbono almacenado y potencial de captura de carbono para los tipos de cobertura vegetal y uso de suelo analizados en el Área Natural Protegida de Zicuirán-Infiernillo, Michoacán. Lo anterior, convierte al tipo de muestreo en replicable, que permite calcular estimaciones con miras a la conservación.

## **8. Recomendaciones**

Como se observó en este estudio, en el mercado nacional de carbono se estimaron valores de más de 6 millones de dólares, por lo que se recomienda impulsar este tipo de mercados que permitan crear fondos financieros para la reinversión de estos en proyectos como:

- Manejo forestal sustentable
- Restauración de ecosistemas degradados
- Ecoturismo
- Proyectos productivos-sustentables
- Estudios que estimen el valor de los recursos naturales

Asimismo, los proyectos deben permitir a las comunidades que habitan y hacen uso de los recursos naturales, obtener fuentes de ingresos al tiempo que se promueva la conservación.

Este tipo de estudios de valoración económica, permiten demostrar los aportes de la naturaleza a la economía y desarrollo, además de constituir un potente aliado para la conservación y como mecanismo de mitigación al cambio climático.

## 9. Referencias

- Aznar, P., Climent, M.D., Domingo, R., Fernández, I., Flores, J., Galán, S., Gallo, L., Goberna, A. L., Marques, A., Meseguer, M.C., Pedro, J., Perles, M.M., Quílez, J., & Raga, J.L. (1992). La Atmósfera. En *Conocer la Química del Medio Ambiente* (28-32). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Balvanera, P. & Cotler, H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. (185-245 pp.) México: CONABIO.
- Balam de la Vega, L.M. (2013). Valoración económica del servicio ambiental: captura de carbono, en la reserva forestal Xilitla, San Luis Potosí, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 65 p.
- Barry, R. G & Chorley, R. J. (1999). *Atmósfera, tiempo y clima*. España: Ediciones Omega.
- Barry D., Bray, D., Madrid, S., Merino L. & Zuñiga I. (2010). El Manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático. Las comunidades nos muestran el camino. (21p.). México: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS).
- Bezaury, C. J. (2009). El Valor de los Bienes y Servicios que las Áreas Naturales Protegidas Proveen a los Mexicanos. (34p.). México: The Nature Conservancy Programa México - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Brasseur, P. G. & Solomon, S. (2005). *Aeronomy of the Middle Atmosphere: Chemistry and Physics of the Stratosphere and Mesosphere*. (646 p). Netherland: Atmospheric and Oceanographic Sciences Library. Springer.

- Burgos, A., Carlón, T. Cuevas, G., Pérez Cortez, S., Ramírez V., Solorio G. & Tinoco, A. (2010). Determinación de cambios de uso del suelo como base del ordenamiento territorial de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo. (76 p.). México: GTZ-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Burstein, J., Chapela, G. y M., Aguilar, J. & de León E. (2002). Informe sobre la propuesta de Pago por Servicios Ambientales en México. Pago por Servicios Ambientales en las Américas. (102 p.). México: Fundaciones FORD Y PRISMA.
- Caballero M., Lozano, S. & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la Tierra. [Consulta: 02/20/2018] Disponible en línea: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>
- Carmona, H. J. V. (2017). Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en la reserva de la Biósfera del Abra Tanchipa, San Luis Potosí, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 65 p.
- Casas, C. C. & Alarcón-Jordan, M. (1999). Meteorología y clima. Barcelona: Ediciones UPC.
- Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán (CIDEM). (2007). Marco Geográfico. En Arteaga, monografía municipal. (13-21 pp.). México: Centro Estatal para el Desarrollo Municipal.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. [Consulta: 05/08/2018] Disponible en línea: [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06\\_otras/ENCC.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf)
- CONANP. (2006). Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, México. (176 p.).



México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONANP. (2012). Estudio Previo Justificativo para la modificación de la Declaratoria de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, en el Estado de Michoacán. (46 p.) México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONANP. (2014). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera de Zicuirán-Infiernillo. (264 p.) México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONANP. (2015). Valoración de Servicios Ecosistémicos. Un enfoque para fortalecer el manejo de las Áreas Naturales Protegidas Federales de México. (131 p.) México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONABIO-INIFAP. (1990). Hidrología. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Consulta: 26/01/2018]. Disponible en línea [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/hidro4mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xml&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/hidro4mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xml&_indent=no)

CONABIO-INIFAP. (1995). Edafología. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Consulta: 26/01/2018]. Disponible en línea: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xml&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xml&_indent=no)

CONABIO. (2008). Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Consulta: 27/06/2018]. Disponible en línea:

[http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv731mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv731mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)

CONABIO. (1998). Climas. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Consulta: 27/06/2018]. Disponible en línea: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)

CONAFOR. (2010). Visión de México sobre REDD++. Hacia una Estrategia Nacional. Primera edición. SEMARNAT- CONAFOR. México. 56 p.

CONAFOR. (2011). Servicios Ambientales y Cambio Climático. SEMARNAT. México.

CONAFOR. (2012). Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). [Consulta: 03/04/2018]. De Comisión Nacional Forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en línea: <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/infys34>. CONAFOR

CONAGUA. (2014). Atlas del agua en México 2014. (139 p). México: Gobierno de la República; Comisión Nacional del Agua; Biblioteca Mexicana del Conocimiento.

Cuadrat, J. M. & Pita, M. F. (1997). Climatología. España: Ediciones Cátedra, S.A.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2007). Decreto por el que se declara Área Natural Protegida, con la categoría de Reserva de la Biosfera, la región conocida como Zicuirán-Infiernillo, localizada en los municipios de Arteaga, Churumuco, La Huacana y Tumbiscatío, en el Estado de Michoacán. [Consulta: 14/05/2018], Disponible en línea: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5008783&fecha=30/11/2007](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5008783&fecha=30/11/2007)

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010). La Norma Oficial Mexicana NOM-059 SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. [Consulta: 12/04/2018], Disponible en línea: [https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)

Diario Oficial de la Federación. (2012). Ley General de Cambio Climático. Última Reforma DOF 13-07-2018. [Consulta: 25/01/2018] Disponible en línea: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_130718.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf)

Doney, S. C. & Schimel, D. (2015). Climate Change and Biogeochemical Impacts. In eLS, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester. [doi: 10.1002/9780470015902.a0003242.pub3]

Forest Trends. (2018a). Ecosystem Marketplace. Voluntary carbon markets insights: 2018 outlook and first-quarter trends. [Consulta: 01/11/2018]. Disponible en línea: <https://www.forest-trends.org/publications/voluntary-carbon-markets/>

Forest Trends (2018b). Ecosystem markets map. [Consulta: 01/11/2018]. Disponible en línea en: <https://www.forest-trends.org/publications/voluntary-carbon-markets/>

Galeana, M. (2008). Estimación del contenido y captura potencial de carbono, su valoración económica, en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de licenciatura. UNAM. Facultad de Filosofía y Letras, México, D.F. 83 p.

García, E. (1989). Generalidades. En Apuntes de Climatología (1-3). México, D.F.: UNAM.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (90 p.). México: Instituto de Geografía, UNAM.

Garduño, R. (2004). ¿Qué es el efecto invernadero? En Cambio climático: una visión desde México. (29-39 pp.). México: Instituto Nacional de Ecología.

Gobierno de la República. (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. [Consulta: 03/05/2018]. Disponible en línea: <http://pnd.gob.mx/>

Gobierno de la República. (2016). Intended Nationally Determined Contribution Mexico. [Consulta: 14/04/2018] Disponible en línea: <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Mexico%20First/MEXICO%20INDC%2003.30.2015.pdf>

Google Earth. (2018). Google Earth. [Consultado: 28/10/2018]. Disponible en línea: <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Houghton, S. J. (2009). Global Warming. The Complete Briefing. United Kingdom: Cambridge University Press.

Ihl, T., Bautista, B., Mendoza, M. Burgos, A. & Cuevas, G. (2017). La presión de uso de la tierra en la Reserva de la Biósfera Zicuirán-Infiernillo. [Consulta: 26/03/2018] Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/281521970\\_LA\\_PRESION\\_DE\\_USO\\_DE\\_LA\\_TIERRA\\_EN\\_LA\\_RESERVA\\_DE\\_LA\\_BIOSFERA\\_ZICUIRAN-INFIERNILLO](https://www.researchgate.net/publication/281521970_LA_PRESION_DE_USO_DE_LA_TIERRA_EN_LA_RESERVA_DE_LA_BIOSFERA_ZICUIRAN-INFIERNILLO)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1993). Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie II. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. La

Huacana, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16035. [Consulta: 27/01/2018]. Disponible en línea: [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/16/16035.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16035.pdf)

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Reporte Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/SEMARNAT, México.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1990) Climate Change: The IPCC Scientific Assessment [J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (212 pp). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1992). Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. 200 p. [Consulta: 13/11/2017]. Disponible en línea: [https://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC\\_Suppl\\_Report\\_1992\\_wg\\_I/ipcc\\_wg\\_I\\_1992\\_suppl\\_report\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC_Suppl_Report_1992_wg_I/ipcc_wg_I_1992_suppl_report_full_report.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1995). Climate Change. The Science of Climate Change. (531 p.) [Consulta: 14/11/2017]. Disponible en línea: [https://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg\\_I/ipcc\\_sar\\_wg\\_I\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). Informe de Síntesis. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). (27 p.) [Consulta: 13/11/2017]. Disponible en línea: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). Intergubernamental Panel on Climate Change. Vol. 4 Agricultura Silvicultura y Otros Usos de la

Tierra. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Climate Change 2007: The Physical Science: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013a). Climate Change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013b): Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the

impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. 2018. Comunicado de prensa. Los gobiernos aprueban el Resumen para responsables de políticas del Informe especial del IPCC sobre el calentamiento global de 1,5 °C. [En línea] Disponible en línea: [https://www.ipcc.ch/pdf/session48/pr\\_181008\\_P48\\_spm\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/session48/pr_181008_P48_spm_es.pdf) [Fecha de acceso: 2 Dic. 2018].

Malhi, Y. (2002). Carbon in the atmosphere and terrestrial biosphere in the 21st century. Royal Society Publishing. Philosophical Transactions: Mathematical, Physical Engineering, 360 (1801), 2925-2945.

Masera, O. (1996). Desforestación y degradación forestal en México. Documento de Trabajo 19. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. Pátzcuaro, Michoacán, México. 50 p.

Mesomaya A. C. – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2010). Informe final: Análisis del cambio de uso de suelo y vegetación de seis Áreas Naturales Protegidas: (Laguna Madre; Marismas Nacionales; Zicuirán-Infiernillo; Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental), como base del monitoreo biológico y captura de CO<sub>2</sub>. “Iniciativa de México para la protección del clima en el Corredor ecológico Sierra Madre Oriental y en las lagunas costeras Laguna Madre y Marismas Nacionales”. [Consulta: 17/06/2018] Disponible en línea:

[https://simec.conanp.gob.mx/TTH/LMadre\\_Marismas\\_Zicuiran\\_Atanchipa/LMadre\\_Marismas\\_Zicuiran\\_ATanchipa\\_TTH.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/TTH/LMadre_Marismas_Zicuiran_Atanchipa/LMadre_Marismas_Zicuiran_ATanchipa_TTH.pdf)

Mesomaya A. C. – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2010-2018). Mapa de cobertura y uso de suelo: Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, modificado para este estudio.

Molina, M., Sarukhán, J. & Carabias, J. (2017). El cambio climático. Causas, efectos y soluciones. México: Fondo de Cultura Económica, Secretaría de Educación Pública, Conacyt. Colección La Ciencia para Todos.

Naciones Unidas (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado el 20 de septiembre 2018, de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2018a). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide [Consulta: 02/12/2018]. Disponible en Internet: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2018b). The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). [Consulta: 02/11/2018]. Disponible en Internet: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/aggi.html>

Ordóñez, A. (1998). Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F

Ordoñez, J A B. (1999). Captura de carbono en un bosque templado: El caso de San Juan Nuevo, Michoacán. 1ª edición. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP (Hoy Semarnat). México. D.F. 68 p.



- Ordoñez, J., & Maser, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7 (1), 3-12
- Ordóñez, D. J. A. B. (2008a). Emisiones y captura de carbono derivadas de La dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la región purépecha. Capítulo I. Los ecosistemas forestales y el cambio climático en México. Tesis doctoral en Ciencias Biomédicas. Instituto de Ecología. UNAM. 140p.
- Ordóñez, J.A.B. (2008b). Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales. *Ciencias*. Número 90: 37-42 (abril-junio). Facultad de Ciencias, UNAM
- Ordóñez, J.A.B. (2012). Carbono Almacenado en los Bosques de la Región Purépecha en Michoacán, México. (135 p.). México, D.F.: Editorial Académica Española.
- Ordóñez, J.A.B., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F.L. Aviña, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez & O. Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico, *Forest Ecology and Management*. Volume 255:2074-2084, issue 7, 20 April. ISSN 0378-1127.
- Ordóñez D. J. A. B., Rivera V. R., Tapia M. M. E. & Ahedo H. L. R. 2016. Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol.6 (32): 7-1
- Pagiola St., Bishop J. & Landell-Mills N. (2003). La venta de servicios ambientales forestales, mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) Periférico sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530. México, D.F. 464 p.
- PINCC-UNAM. (2016). 21 Visiones de la Cop21 El Acuerdo De París: retos y áreas de oportunidad para su implementación en México. Universidad Nacional

Autónoma de México Programa de Investigación en Cambio Climático. México, 2016.

REDD-CCAD-GIZ. (2013). Diplomado Regional en Monitoreo de los Recursos Forestales en el contexto de REDD. Tema 1: Bases conceptuales, metodologías y uso de herramientas para el monitoreo forestal. [Consulta: 23/05/2018] Disponible en línea: [http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc\\_884971393.pdf](http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_884971393.pdf)

Raisz, E. (1964). Landforms of Mexico. United Kingdom: Cambridge, Mass.

Reid, J. (2015). Cap. El debate actual sobre la utilidad de la valoración de los servicios ecosistémicos en las políticas públicas. En: CONANP, 2015, Valoración de servicios ecosistémicos: Un enfoque para fortalecer el manejo de las Áreas Naturales Protegidas (43-56) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. (382 p.). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [Consulta: 03/04/2018]. Disponible en línea: [http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx\\_Content.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Content.pdf)

Reuters. (2018). Calculadora de Divisas. México. [Consultado: 02/11/2018]. Disponible en Internet: <https://mx.reuters.com/?srcAmt=1.00&srcCurr=USD&destAmt=&destCurr=MXN>

Rojas, B. R. (2010). Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en el área natural protegida Marismas Nacionales, Nayarit, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 57 p.

- Santiago, J. (2010). Valoración de servicios ecosistémicos de la comunidad de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca, México. Tesis de licenciatura. UNAM, México, D.F. 60 p.
- Sabine, C. L. (2006). Global Carbon Cycle. In eLS, John Wiley & Sons, Ltd (Ed.). doi:10.1038/npg.els.0003489
- Sendiña, N. I. & Pérez, M. V. (2006). Fundamentos de Meteorología. Universidad de Santiago de Compostela: Manuales Universitarios.
- Serrato, R. J. & Israde, A. I. (1989). Interpretación morfoestructural y breve análisis geológico del plano altimétrico del estado de Michoacán, elaborado en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas”, en Bol Coord Inv Cient UMSNH, (12) 10-13.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales (S.E.C.F). (2005). Diccionario Forestal. (1317 p.). España: Mundi-Prensa.
- Torres, J. F., Flores., G. A., Calvo, F., Balam, L., Sepúlveda, V.I.E., García, O. A. & Araujo, Z. (2010). Valoración Económica de Seis Áreas Naturales Protegidas como sumideros de CO<sub>2</sub>: Laguna Madre, Marismas Nacionales, Zicuirán-Infiernillo, Sierra de Abra Tanchipa, Xilitla y Sierra Madre Oriental. (137 p.) México: GTZ-CONANP.
- UNFCCC. (2007). Unidos por el clima. Guía de la convención sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. (p. 9). [Consulta: 13/11/2017]. Formato PDF. Disponible en línea: [https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate\\_spa.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf)
- UNFCCC. (2016). Conference of the Parties Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Addendum Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its

twenty-first sesion. FCCC/CP/2015/10/Add.1. [Consulta: 04/06/2018]  
Disponibile en línea: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>

Velasco, E., Moreno, F., Rodríguez, R. (2002). Comparación de siete diseños de unidades de muestreo secundarias en inventarios forestales. *Revista Ciencia Forestal en México*. 27(92):29-51.