



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional

Estimación de los almacenes de carbono en bosque templado, caso de estudio predio particular “CEBATI”, municipio de San José del Rincón, Estado de México.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

HERNÁNDEZ MARTÍNEZ OLGA EMILIA

DIRECTORAS:

MTRA. EN C. PATRICIA MÍRELES LEZAMA.

DRA. EN GEOG. MARÍA ESTELA OROZCO HERNÁNDEZ

CONACyT-SEMARNAT 107956.

OCTUBRE DE 2015





AGRADECIMIENTOS:

A DIOS:

Que me ha dado la voluntad para seguir adelante y así poder llegar hasta este punto, por la salud que me brindas para poder lograr cada uno de mis objetivos, gracias por tu infinita bondad y amor.

A LA FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL:

Que me arropo en sus aulas y me permitió conocer a excelentes profesores de los cuales me llevo conocimientos y aprendizajes. Gracias por dejarme llevar experiencias y conocer a grandes personas.

A CONACYT:

Por la beca otorgada por el proyecto “cambios de uso de suelo inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres, templados y cálidos del estado de México: impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero” CONACYT-SEMARNAT 107956.

A MIS DIRECTORAS: MTA. PATY Y DRA. ESTELA

Por su paciencia, comprensión y tiempo que me brindaron para realizar este trabajo, porque aun teniendo mucho trabajo no dejaron de apoyarme hasta el último momento, gracias por su confianza y la amistad que me han me brindado en estos años, les estaré infinitamente agradecida.

A MIS PADRES:

Que sin su apoyo no sería nada, siempre han estado en las buenas y en las malas, en cada error, en cada caída, gracias a su valentía me demuestran día a día que se puede salir adelante a pesar de todas las adversidades que se presentan en la vida.

AL DR. GUSTAVO, DRA. BELINA, TONY, ABY, CARLA, GLORIA, NORMA, ABRAHAM, GEOVANNY:

Que con su apoyo, tiempo, paciencia y esfuerzo se realizó el trabajo de campo, gracias por hacer tan divertido el muestreo, y también porque gracias a esto pude conocer a excelentes personas y hacer nuevas amistades. Un agradecimiento especial a Urani por permitir que su predio fuera el sitio para el muestreo y por las facilidades otorgadas.



DEDICATORIA:

Dios, esto es para ti, ser supremo y creador nuestro y de todo lo que nos rodea y por haberme dado inteligencia, paciencia y ser el guía en mi vida. Por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo a cada momento, por fortalecer este corazón e iluminar mi mente. Gracias por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi periodo de estudio y el tiempo invertido en este trabajo.

A ti mamá, por darme la vida, siempre me has brindado tu apoyo incondicional, paciencia, regaños, tiempo, tu infinito amor. Gracias por demostrarme que la fortaleza es parte fundamental de la vida, eso es lo que más admiro de ti, tu fuerza, tu valentía, tus ganas de seguir a pesar de los obstáculos que se presentan en la vida. Te quiero mamita.

A ti papá, mi más grande orgullo, mi ejemplo de lucha y trabajo, sin tu apoyo emocional y económico se hubiera hecho esto complicado, aquí esta papa ¡si se pudo! Esto es para ti. Papa gracias por darme una carrera para mi futuro, en parte esto te lo debo a ti.

A mis hermanos, en primera a ti hermana que aunque ya no estas con nosotros en persona lo estás en nuestros corazones, sé que te hubiera dado gusto ver a tu hermana titulándose, siempre fuiste nuestro ejemplo de lucha. A ti hermano que sirva de ejemplo para que sigas con tus estudios y para que un futuro tú también estés titulándote. A mis pequeñas gemelas, mis princesas, a ustedes que siempre son mi motivación de vida. Los amo a todos.

A mis amigos: Naye, Mony, Sara, Pepe, Vero, Chucho, Marco, que me brindaron su apoyo y su amistad incondicional, gracias por hacerme reír, enojar, llorar, por compartir los buenos y malos momentos, siempre estaré infinitamente agradecida.

El ÉXITO en la vida no se mide por lo que logras, sino por los obstáculos que SUPERAS.



Contenido

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
JUSTIFICACIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL.....	16
1.1. Cambio Climático	17
1.2. Gases de Efecto Invernadero	17
1.3. Carbono.....	20
1.3.1. Ciclo del carbono.....	20
1.4. Captura de carbono.....	21
1.4.1. Almacenes de carbono	22
1.5. Bosques y captura de carbono	23
1.5.1. Bosques templados	23
1.5.2. Potencial de captura de carbono en bosques templados.....	25
1.6. Acciones de mitigación ante el cambio climático y los gases de efecto invernadero (GEI) en base a los almacenes de carbono.....	28
1.7. Programas de manejo para bosques templados.....	31
1.8. Marco referencial.....	31
2. ÁREA DE ESTUDIO	40
2.1. Características físicas	42
2.1.1. Fisiografía y topografía.....	42
2.1.2. Geología	42
2.1.3. Edafología.....	43
2.1.4. Hidrología	43
2.1.5. Clima.....	43
2.2. Características Biológicas	43
2.2.1. Vegetación.....	43
2.2.2. Fauna Silvestre	45



2.3. Manejo Forestal del predio particular “CEBATI”	45
2.4. Sistema de Manejo Forestal Cebati.....	48
3. METODOLOGÍA.....	50
3.1. Selección de puntos de muestreo	54
3.2. Método de muestreo	56
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
4.1. Descripción física de los 4 sitios del predio particular “Cebati”.....	67
4.2. Características dasométricas de los 4 sitios muestreados.....	71
4.3. Almacenes de carbono en biomasa	72
4.4. Discusión de resultados.....	76
5. CONCLUSIONES	86
Bibliografía:	92
Anexos.....	97



INDICE DE CUADROS, FIGURAS, GRAFICAS E IMÁGENES

CUADROS.

<i>Cuadro 1. Principales gases de efecto invernadero y su origen antropogénico.</i>	19
<i>Cuadro 2. Cobertura del estrato bajo</i>	46
<i>Cuadro 3. Daños al arbolado</i>	46
<i>Cuadro 4. Plan de Cortas</i>	47
<i>Cuadro 5. Distribución del aprovechamiento forestal por especies arbóreas</i>	49
<i>Cuadro 6. Elección de rodales por predominio de especies</i>	54
<i>Cuadro 7. Factores de conversión</i>	64
<i>Cuadro 8 Densidad arbórea promedio, clases diamétricas, área basal y especie dominante de cada sitio muestreado.</i>	72
<i>Cuadro 9 Almacén total de carbono</i>	73
<i>Cuadro 10. Almacenes de carbono en A. Religiosa.</i>	76
<i>Cuadro 11. Estimaciones de carbono en diferentes especies.</i>	77

FIGURAS.

<i>Figura 1. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal</i>	23
<i>Figura 2. Crecimiento de un bosque degradado o deforestado a través de implementación de actividades de restauración y su relación con el carbono almacenado.</i>	29
<i>Figura 3. Mapa de localización predio particular CEBATI</i>	41
<i>Figura 4. Metodología</i>	53
<i>Figura 5. Predio de Cebati.</i>	55
<i>Figura 6. Delimitación de cuadrantes</i>	57
<i>Figura 7. Recolección de muestras de herbácea y mantillo</i>	59
<i>Figura 8 Claves para muestras en campo</i>	61
<i>Figura 9. Almacenes de Carbono en el predio Cebati</i>	78
<i>Figura 10. Relación de los almacenes de carbono: biomasa aérea-suelo.</i>	81

GRAFICAS.

<i>Graficas 1. Densidad arbórea en los 4 sitios del predio.</i>	71
<i>Grafica 2 Almacén de carbono en biomasa aérea dentro del predio particular “Cebati”</i>	73
<i>Grafica 3 Almacenes de carbono</i>	74

IMÁGENES.

<i>Imagen 1. Muestreo jerárquico-anidado</i>	56
<i>Imagen 2. Medición de árboles</i>	58
<i>Imagen 3. Individuos muestreados</i>	58
<i>Imagen 4. Recolección de muestras de herbáceas</i>	60
<i>Imagen 5. Recolección de muestras de mantillo</i>	60
<i>Imagen 6. Muestras dentro de las estufas</i>	62



<i>Imagen 7 Pesado de muestras secas</i>	62
<i>Imagen 8 Bolsas de papel que contienen muestras secas</i>	62
<i>Imagen 9 Vegetación dominante</i>	67
<i>Imagen 10 Bosque de Abies religiosa</i>	67
<i>Imagen 11 Bosque de Cupressus</i>	68
<i>Imagen 12 Equipo de trabajo</i>	68
<i>Imagen 13 Especie de encino</i>	69
<i>Imagen 14 Individuos maduros</i>	69
<i>Imagen 15 Sitio BA4</i>	70
<i>Imagen 16 Inventario de árboles</i>	70



RESUMEN

En esta investigación se llevó a cabo la estimación de los almacenes de carbono de la biomasa aérea del bosque templado en cuatro sitios ubicados dentro del predio particular Cebatí bajo manejo forestal ubicado en San José del Rincón, Estado de México.

La selección de estos puntos de muestreo se dio a partir de la dominancia de especies. De acuerdo a Quiroz (2013) se identificaron cuatro: Bosque de *Abies*, bosque de *Quercus*, bosque de *Pinus* y Bosque de *Cupressuss*. Mediante un muestreo jerárquico–anidado se estimaron los almacenes de carbono en biomasa aérea, esto comprende los siguientes estratos: arbóreo, herbáceo- arbustivo y mantillo. Se delimitaron cuadrantes en cada sitio y estos se dividieron en subcuadrantes. Se midió con cinta métrica el diámetro a la altura del pecho (DAP, 1.3 m) de todos los árboles vivos y muertos con DAP >5 cm que se encontraban dentro de cada subcuadrante. Posteriormente para las herbáceas y mantillo se tomaron muestras que se llevaron al laboratorio, ahí se pesaron y posteriormente se metieron a estufa a 80°C por 72 horas para sacar el porcentaje de humedad. Con ayuda de fórmulas alométricas se obtuvieron los resultados de los almacenes de carbono de cada estrato.

El almacén de carbono más alto en biomasa aérea dentro del predio se dio en el sitio BA4 con predominio de Pino con 163.09 Mg C. ha⁻¹, del cual, el estrato arbóreo aportó 115.31 Mg C. ha⁻¹, el estrato herbáceo-arbustivo 0.71 Mg C. ha⁻¹, el mantillo con 18.24 Mg C. ha⁻¹ y las raíces 28.83 Mg C. ha⁻¹. El sitio BA2 con predominio de cedro, fue el que almaceno menor cantidad de carbono. Los resultados muestran que el carbono almacenado en el suelo del sitio BA3 (Bosque de *Quercus*) fue de 196.367 Mg C. ha⁻¹ que sumado al obtenido en la biomasa aérea (155.71 Mg C. ha⁻¹) significa que este sitio de acuerdo a sus características físico-biológicas tiene una alta capacidad para almacenar carbono a comparación de los demás.



INTRODUCCIÓN

México es Parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) desde que ésta se firmó, hace cerca de 20 años, y ha asumido con gran seriedad y responsabilidad sus compromisos en este foro multilateral. Queda esto de manifiesto con el fortalecimiento de su capacidad para hacer frente al cambio climático con acciones concretas cada vez más decididas, tanto para la adaptación a sus impactos como para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Y es por esto que nuestro país tuvo como objetivo preparar y presentar su Quinta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, que ilustra el gran compromiso de México para enfrentar el cambio climático. Esto deriva del reconocimiento al principio de “responsabilidades comunes pero diferenciadas”, y al interés nacional por encontrar soluciones al problema global, convencido además de que puede promover su desarrollo y la preservación de su medio ambiente.

El cambio climático se da a partir del aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) derivados a partir de actividades antropogénicas, cambios en el uso del suelo, pérdida de cobertura forestal, quema de combustibles fósiles, por mencionar algunos. Es un tema que desde hace ya varios años forma parte de investigaciones científicas. Se sabe que entre los principales GEI se encuentra el dióxido de carbono (CO_2), siendo este el más importante por las cantidades en las que se emite.

Una manera de mitigar de alguna forma los GEI es a través de los sumideros de carbono. Los bosques juegan un papel importante en la regulación del clima y son los sumideros terrestres de carbono más importantes. Las plantas y árboles toman el CO_2 de la atmósfera y se lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis. Los árboles capturan y almacenan el carbono en su tronco, ramas, hojas y en otros tejidos. Hasta su muerte, cuando empiezan a descomponerse, los árboles liberan ese carbono ya sea a la atmósfera o integrándolo al suelo como materia orgánica. En otros casos el carbono permanece almacenado hasta que la madera del árbol es utilizada para muebles u otros usos. También se libera el carbono cuando se



somete al proceso de combustión. Una forma de que los árboles almacenen por mayor tiempo el carbono y no lo emitan de forma rápida es a través de prácticas de manejo adecuadas para su conservación.

Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático es imprescindible, por un lado, conocer la dinámica del C en los ecosistemas forestales y, por otra, las modificaciones a los flujos de C derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo. Un primer paso indispensable para lograr este objetivo, es contar con información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes almacenes del ecosistema. (Ordóñez, 1998)

Por ello, el presente documento realiza la estimación de los almacenes de carbono de cuatro sitios cada uno con vegetación dominante de un bosque templado dentro del predio particular “Cebati” bajo manejo desde hace 85 años.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Algunas referencias precisan que buena parte de los bosques mexicanos son importantes sumideros de carbono y los árboles realizan la función de almacenar este gas en su estructura y tejidos pero también constituyen fuentes netas de emisión de GEI como consecuencia de la deforestación y degradación de los ecosistemas (Ordóñez y Masera (2001) y que los usos y abusos que de los ecosistemas de bosque templado en el país se ha hecho a lo largo del siglo XX, explica el estado de deterioro que presentan, se estima que se ha perdido entre 50% y 67% de la superficie original (Challenger, 2004).

La problemática también es inherente a las zonas forestales del Estado de México, que adquiere matices regionales que perfilan el patrón histórico de la deforestación y el cambio de uso del suelo a través de la preeminencia de la agricultura extensiva, la distribución del pastizal y la vegetación secundaria, lo cual determina el patrón de degradación-fragmentación-deforestación en los bosques y selvas del alto río Balsas, la degradación-fragmentación del bosque templado en el alto río Lerma, y la fragmentación-deforestación en los bosques y los matorrales suscitada por las actividades agropecuarias y la urbanización en la sub cuenca del río Tula (Orozco et al, 2012:119).

En estas condiciones, un tema que forma parte medular de la agenda ambiental global (IPCC, 1990), y ha sido adoptada en México y en el Estado de México, es la captura de carbono, la que se considera una estrategia de mitigación ante el cambio climático y una estrategia para impulsar el pago por servicios ambientales y la conservación de los bosques.

El interés de esta investigación se centra en la estimación de los almacenes de carbono en la comunidad vegetal de bosque templado en el predio particular CEBATI, municipio de San José del Rincón. La vegetación dominante dentro del predio en estudio está compuesta por *Abies religiosa* (Oyamel), *Pinus pseudostrobus* (pino), *Cupressuss lindleyi* (Cedro blanco) y *Quercus rugosa* (encino).



El sistema de manejo de la unidad de aprovechamiento está referido como Método Mexicano de la Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y se encuentra bajo el régimen de propiedad privada, cubre una superficie de 149.47 hectáreas y está registrada ante la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE)

La importancia de los proyectos de manejo forestal, radica en su potencial para incrementar la captura de carbono en los ecosistemas forestales conocidos como sumideros. En efecto, los contingentes como el suelo o la biomasa forestal tienden a capturar y liberar a la atmósfera determinadas cantidades de carbono y cuando se establece un sistema de manejo para el reservorio, es posible incrementar el contenido de dicho elemento, es decir, secuestrar parte del carbono contenido en la atmósfera.

Los pocos estudios que hay sobre la captura de carbono dentro del Estado de México representan un problema y una limitante para generar posibles alternativas de solución a las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente el dióxido de carbono, es decir, si se realizaran más estudios detallados se tendría la información actual y con ello permitiría a las instituciones, a los pueblos y a los mismos propietarios de terrenos forestales generar programas o adoptar medidas para conservar los bosques y la posibilidad de obtener apoyos.

El riesgo que tienen estos tipos de propiedad es que en los años que no hay permiso de corte y venta de los productos maderables, ¿Los propietarios de donde obtienen dinero para dar mantenimiento como brechas cortafuegos, aclareo, desbrace, control de plagas, reforestación, protección, limpieza del predio y pago de vigilancia los 365 días del año? Y por consiguiente al no haber este tipo de inversión en el predio se corre el riesgo de que disminuyan las actividades de mantenimiento y se deje de dar el manejo adecuado afectando al bosque, su productividad y sobre todo a las funciones naturales que hacen que los ecosistemas forestales nos brinden servicios ambientales como la captura y el almacenamiento de carbono.



PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque templado, que se encuentra bajo manejo forestal?

OBJETIVO GENERAL

Estimar los almacenes de carbono de un bosque templado, caso de estudio predio particular “CEBATI”, municipio de San José del Rincón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las características biofísicas del predio particular en estudio.
2. Describir el sistema de manejo forestal que se lleva a cabo en el predio particular en estudio.
3. Describir las características físicas de los cuatro sitios dentro del predio particular en estudio
4. Estimar el contenido de carbono almacenado en los cuatro sitios dentro del predio particular en estudio



JUSTIFICACIÓN

La investigación responde a los planteamientos de la política forestal estatal y los requerimientos establecidos en el proyecto de investigación **“Cambios de uso del suelo, inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México: impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero (CONACYT-SEMARNAT), Clave 107956.**

A través del Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025, el gobierno estatal define las líneas de atención que interesan al presente trabajo. A saber son: Fomento forestal y Servicios ambientales, nos interesan las estrategias de las plantaciones forestales comerciales y la captura de carbono (GEM, 2006: 75 y 78).

Las múltiples finalidades de las plantaciones comerciales, resaltan la reducción de la presión sobre los bosques naturales y la captura de carbono, la estrategia estatal plantea evaluar el potencial de captura de carbono de las reforestaciones y plantaciones forestales, como base para el desarrollo de proyectos de pago servicio ambiental de captura de carbono. Y el proyecto general establece en uno de los objetivos específicos, estimar la captura de carbono en la biomasa y en los suelos.

Ambas finalidades son congruentes con el objetivo general de la investigación que se desarrolló, cuyo objetivo general fue estimar los almacenes de carbono del bosque templado en la unidad de aprovechamiento forestal CEBATI, municipio de San José del Rincón, con la finalidad, en primer lugar, de contribuir con información a nivel predio y así fortalecer y complementar el estudio que anteriormente se elaboró para estimar los almacenes de carbono pero en el suelo. Y en segunda, con estos datos generar posibles proyectos que permitan incrementar estos almacenes naturales en diferentes predios particulares ya que en la actualidad existen muy pocos estudios relacionados con la captura de carbono en bosques bajo aprovechamiento forestal maderable. Estos datos



también pueden prestarse para implementar alternativas importantes para gestionar el mercado de bonos de carbono y así generar ingresos monetarios a los propietarios y oportunidades de empleo a los habitantes que viven cerca o dentro de estas propiedades e indirectamente se establezca un equilibrio entre lo ambiental-social-económico y de alguna manera más general contribuyan en la mitigación de los gases de efecto invernadero.



1. MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL





1.1. Cambio Climático

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), [el término como tal] denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos.

El fenómeno de cambio climático representa un conflicto en el planeta Tierra ya que afecta los ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad, la temperatura, los ecosistemas y por ende a la especie humana. El cambio climático en los últimos años es uno de los temas más importantes que preocupa a la comunidad internacional en materia ambiental. La concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha ido en aumento, generando desde el siglo pasado evidencias científicas que argumentan que si el incremento de los GEI continua, los efectos cada vez serán significantes para el cambio del clima, y como consecuencia para un desequilibrio en el sistema (IPCC 2007). Entre los efectos que ocasiona este fenómeno en nuestro país se estima que 50% de la superficie con vegetación del país es susceptible a los efectos del cambio climático. Las áreas mayormente afectadas corresponden a los bosques de clima templado, la pérdida de estos ecosistemas conlleva a una gran pérdida de biodiversidad mundial (CONAFOR).

1.2. Gases de Efecto Invernadero

Por medio de las actividades que desarrollan los humanos: industriales, comerciales, el uso de los combustibles fósiles y de procesos que se derivan del



cambio de uso de suelo o de la agricultura se generan mayores cantidades de gases de efecto invernadero tales como dióxido de carbono (CO_2), siendo este el más importante por las cantidades en las que se emite, el metano (CH_4), los clorofluorocarbonos (CFS), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el monóxido de carbono (CO), entre los principales.

-Dióxido de carbono (CO_2): Masera (2001) afirma que el dióxido de carbono es uno de los GEI más importantes y que su emisión a la atmósfera por el cambio de uso de suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial con una fuerte contribución en las zonas tropicales. El dióxido de carbono, también conocido como bióxido de carbono, óxido de carbono y anhídrido carbónico, es uno de los gases más abundantes en la atmósfera. Y juega un papel importante en los procesos vitales de plantas, animales y, en definitiva, para el ser humano, como en la fotosíntesis, la respiración o en diversas actividades internas del cuerpo humano. El físico y químico escocés Joseph Black descubrió el CO_2 alrededor de 1750 (Eroski Consumer, 2005). A temperatura ambiente, el CO_2 es un gas inodoro e incoloro, ligeramente ácido y no inflamable. Cuando alcanza los $-78\text{ }^\circ\text{C}$ se vuelve sólido y se hace líquido cuando se disuelve en agua, aunque si la presión desciende intentará escapar al aire, dejando una masa de burbujas. En su página, la revista Eroski (2005) nos menciona que el CO_2 , en cantidades adecuadas, es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, ya que impide la salida de calor de la atmósfera. Y es que sin CO_2 , la Tierra sería un bloque de hielo.

Los científicos han detectado que los niveles actuales de CO_2 en la atmósfera son los más altos desde que se tiene constancia, produciéndose un aumento sustancial y acelerado durante los últimos 160 años, es decir, desde el inicio de la revolución industrial. Además, los científicos han estudiado que el CO_2 se escapa del suelo cada vez más rápido, lo que acelera aún más el calentamiento global. (Eroski Consumer, 2005)



El CO₂ se origina debido a la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural o sus derivados); procesos industriales (como la producción de cemento, sosa, amoniaco, carburos de silicio o de calcio, acero y aluminio), la deforestación (que provoca la descomposición de la materia orgánica) y quema de la biomasa vegetal. En 2010, las emisiones en unidades de bióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.) fueron 748,252.2 Gg, lo cual indica un incremento de 33.4% con respecto a 1990, con una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 1.5%. (Quinto Comunicado)

En el cuadro siguiente se describen en general los gases de efecto invernadero que junto con el CO₂ son los más importantes y los que mayor daño causan al incrementarse dentro del planeta:

Cuadro 1. Principales gases de efecto invernadero y su origen antropogénico.

Nombre	Formula	Características	Origen
Metano	CH ₄	Es el hidrocarburo más abundante de la atmosfera y un producto de desecho de la actividad biológica de cierto tipo de bacterias. Aunque solo comprende 1.5 partes por millón de la atmósfera, su concentración se ha doblado a lo largo de los últimos siglos.	Proviene de la agricultura (por ejemplo, cultivo de arroz), el uso del gas natural, la descomposición de los residuos en los rellenos sanitarios, y del hato ganadero.
Óxido nitroso	N ₂ O	Es 270 veces más eficaz a la hora de retener el calor que el CO ₂ , y aunque es mucho más escaso que el metano, dura 150 años en la atmósfera.	Se genera en la producción de ácido nítrico y ácido adípico, el uso de fertilizantes, en incineración de residuos y en la quema de combustibles en el sector transporte.
Perfluorcarbonos e Hidrofluorcarbono	PFCs HFCs	Son moléculas muy estables y dos de las más ampliamente usadas hasta la fecha, el CFC-11 y el CFC-12, no parece que reaccionen con ninguna sustancia de la troposfera. Puesto que son muy estables desde el punto de vista químico, no son ni venenosos ni inflamables. La radiación ultravioleta del Sol que llega allí asciende las moléculas de CFCs y libera, entre otras sustancias, átomos de cloro muy reactivos que destruyen el ozono.	En la producción del aluminio, espuma de poliuretano, ciertos solventes de limpieza especializados, aerosoles y compuestos empleados en extintores. Por fugas o mal uso de los gases refrigerantes contenidos en equipos de refrigeración en general.

Fuente: Elaboración propia basado en CONAFOR (2012).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (1995) estimo que las emisiones en México contribuyen con el 1.45% de las emisiones totales de carbono que se dan en nuestro planeta. México se encuentra entre los 20 países



con mayores emisiones de GEI y también es una de las regiones más vulnerables a los impactos asociados a los cambios climáticos debido a su condiciones bioclimáticas y socioeconómicas.

La actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) para 1990-2010, se realizó con base en las metodologías 1996 y 2006 del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y sus Guías de Buenas Prácticas en la estimación de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero (GEI) enunciados en el anexo A del Protocolo de Kioto.

1.3. Carbono

El carbono es un componente esencial de todos los seres vivos. Existe en su mayor parte como dióxido de carbono en la atmosfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón, petróleo y otros hidrocarburos). (Dixon, 1995). Al combinarlo con el oxígeno abre paso a un compuesto: el dióxido de carbono (CO_2).

1.3.1. Ciclo del carbono

Para Ordoñez (1999), este ciclo gira especialmente alrededor del bióxido de carbono, ya que constituye la especie química predominante en la atmósfera. El dióxido de carbono atmosférico es absorbido por los árboles mediante la fotosíntesis, y es almacenado en forma materia orgánica (biomasa-madera). El CO_2 regresa a la atmósfera mediante la respiración de los árboles y las plantas, y por descomposición de la materia orgánica muerta en los suelos (oxidación). La deforestación puede afectar este equilibrio dinámico de intercambio de gases, por lo que es muy importante conocer cuáles son los mecanismos que lo controlan.

Cada especie de planta asignará más o menos C para producir biomasa en la parte aérea o en la parte subterránea. Por ejemplo, la biomasa subterránea en la selva estacional representa entre 40 y 50 % de la biomasa total, mientras que en el bosque templado y la selva húmeda, la biomasa subterránea representa menos



del 15%. Castellanos y Col. (1991), afirman que el carbono fijado por las plantas se transforma en moléculas móviles, que se asignan a las diferentes estructuras de la planta para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales. Esta asignación determina las rutas por las cuales se dará posteriormente el flujo de C al suelo. Y es que aunque varios autores concluyan que el ciclo de carbono es un proceso natural que sirve como regulador del dióxido de carbono, también divergen en que es un proceso que se está alterando y que necesita regenerarse.

1.4. Captura de carbono

Los árboles utilizan la radiación solar incidente para sintetizar compuestos orgánicos a partir del CO₂ atmosférico, agua y nutrientes del suelo mediante el proceso de la fotosíntesis. Estos compuestos una vez sintetizados se utilizan para mantener los propios tejidos de la planta, para mantener las reservas de carbohidratos o para formar nuevos tejidos y crecer. Plantas, humanos y animales, son formas de vida basadas en el carbono. Estas formas de vida utilizan energía solar para obtener el carbono que es necesario en la química de las células. Los árboles absorben CO₂ a través de los poros en sus hojas. Y particularmente por la noche, los árboles emiten más CO₂ del que absorben a través de sus hojas.

Masera (2001) menciona que la captura de carbono ocurre únicamente durante el desarrollo de los árboles, y se detiene cuando los árboles llegan eventualmente a un punto de saturación a partir del cual la captura de carbono resulta imposible. El punto de saturación se presenta cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo. Cuando los árboles llegan a esta etapa, absorben (capturan) únicamente pequeñas cantidades de CO₂ necesarias para su respiración y la de los suelos. Un árbol maduro no tiene la misma capacidad de capturar carbono que uno más joven ya que sus funciones disminuyen y con ello la captura de este gas. Este CO₂ participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer, éste incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en su



conjunto conforman la copa) así como su altura y el grosor de su tronco (Maser, 2001). La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a que las copas de los árboles compitan por esta energía. Esto origina, a su vez, un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable, éste, a su vez, aporta nuevamente CO_2 al entorno. Simultáneamente, los troncos al ir aumentando su diámetro y altura alcanzarán un tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer madera para producir tablas, tablonés y polines, que darán origen a subproductos elaborados, como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando CO_2 al suelo y/o a la atmósfera.

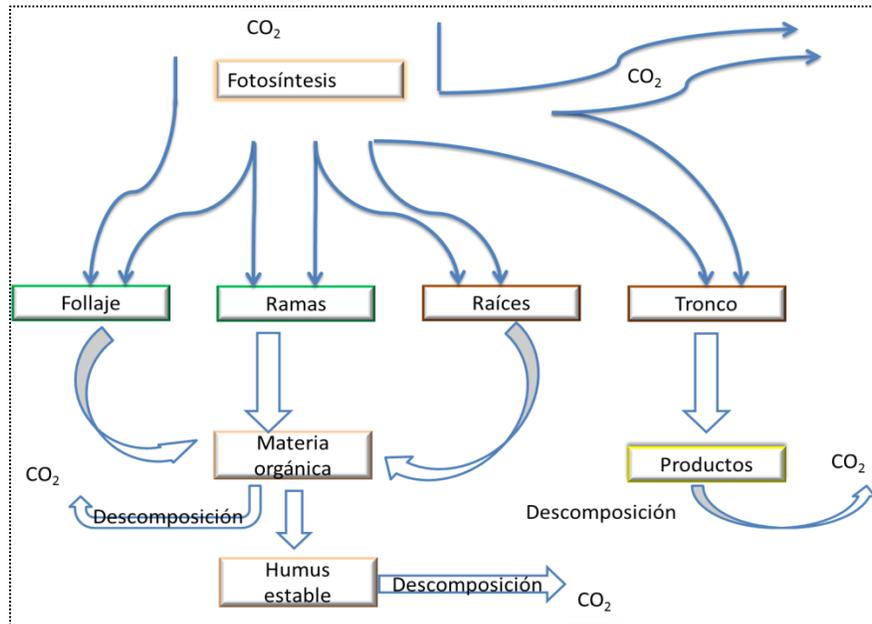
Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en el cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. Cuando hablamos de la captura de carbono (CC) nos referimos a uno de los muchos valores de uso indirecto del ecosistema, también conocidas como funciones ecológicas. Los mecanismos para la CC que son viables actualmente se enfocan sólo en un subproceso del ciclo de carbono en la naturaleza: la captura terrestre, y específicamente en la CC por parte de ecosistemas boscosos.

1.4.1. Almacenes de carbono

La captura y el almacenamiento de dióxido de carbono (CO_2) tienen el potencial de reducir considerablemente la cantidad de CO_2 liberada a la atmósfera. Un árbol almacena carbono a la largo de todo su periodo de vida y ese carbono almacenado es liberado solo cuando el árbol es utilizado para actividades antrópicas, por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa. Maser (2001) afirma que los árboles, al convertir el CO_2 en madera, almacenan muy lentamente sólo una pequeña parte del CO_2 que producimos en grandes cantidades por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, etc.) para el transporte y la generación de energía eléctrica en las actividades humanas que diariamente contaminan el medio ambiente. En la siguiente figura se

representan los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de carbono, que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal.

Figura 1. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal



Elaboración propia en base a Ordoñez (1998)

Durante el tiempo en que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono. (Ordoñez, A. 1998).

1.5. Bosques y captura de carbono

1.5.1. Bosques templados

México se ubica en el 3^{er} lugar en biodiversidad en el mundo, esto se da gracias a los diferentes tipos de climas que existen por medio de otros factores. Esta diversidad de climas ocasiona que haya una categorización de ecosistemas y en



ellos habitan especies diferentes. Los ecosistemas forestales sobre todo albergan a la mayor cantidad de especies tanto de flora como de fauna (CONABIO). Se estima que en nuestro país existen de 3 mil a 5 mil especies forestales leñosas, 5 a 10 veces más que los Estados Unidos y Canadá juntos, en donde se conocen alrededor de 650 especies leñosas.

Los bosques templados se encuentran a una altura de mil 200 a 3 mil metros sobre el nivel del mar por lo que se distribuyen en grandes cadenas montañosas, como la Sierra Madre Oriental y la Occidental, el Eje Neo volcánico y las sierras del sur en Oaxaca y Chiapas. Los bosques más cerrados y sólidos, compuestos por encinos y pinos, están a lo largo de la Sierra Madre Occidental, desde Chihuahua y Durango hasta el Eje Neo volcánico en el centro del país. La altura de los bosques es variable. En la mayor parte de los casos, oscila entre los 8 y 25 metros pero puede llegar a alcanzar los 40 metros.

Los bosques mexicanos incluyen varios tipos de vegetación, pero predominan los bosques de pino y de encino o una mezcla de ambos. Se calcula que en nuestro país existen alrededor de 50 especies diferentes de pinos y cerca de 150 especies de encinos. Por ello, México es el país más rico en estas especies en el mundo, gracias a la gran variedad de climas presentes en estas regiones de bosque, a las que también se les denominan zonas templadas. En el caso particular de los pinos, se conoce que alrededor de la mitad de las especies existentes en el mundo (aproximadamente 100 especies) son nativas de México, y la mayoría de ellas endémicas o exclusivas de esta región del planeta (Anon., 2005). En México también hay pinos enanos que viven en ciertas zonas aisladas y sujetas a fuertes vientos.

Por desarrollarse en climas sub-húmedos, los bosques templados incluyen otras especies muy importantes de coníferas, como los oyameles, los juníperos y los cipreses. Son importantes productores de suelo, ya que a través del proceso de interacción y desarrollo de especies generan deshechos que al ser



descompuestos por bacterias, forman el suelo. Este suelo, que se conoce en forma de tierra, es el sustrato sobre el cual crecen la gran mayoría de las plantas y sin el serían imposibles los procesos de crecimiento y desarrollo de los bosques y, por lo tanto, de los servicios ambientales que nos proveen.

En México la cobertura forestal se ha reducido notablemente en las últimas décadas, sin embargo, de acuerdo a los reportes presentados ante la FAO (2010) se observa una reducción en la tasa de pérdida en el último periodo, la deforestación de bosques y selvas pasó de 354 mil hectáreas por año en el periodo 1990-2000 a 155 mil hectáreas por año en el periodo 2005-2010. Además de la deforestación, se estima que se degradan entre 250 y 300 mil hectáreas por año (Conafor, 2010). Esta disminución en las tasas de deforestación no representa la heterogeneidad en la que se presenta el fenómeno a nivel regional ya que existen zonas en el país, donde las tasas de deforestación son significativamente más altas.

1.5.2. Potencial de captura de carbono en bosques templados.

Tanto en mitigación como en adaptación los bosques juegan un papel de gran importancia. Los bosques son por un lado, reservorios importantes de gases de efecto invernadero, cuya destrucción y degradación constituye una de las fuentes más importantes de emisiones de GEI a nivel global pero que al mismo tiempo, su conservación y manejo sustentable puede contribuir a aumentar la cantidad de carbono almacenado en ellos. Por otro lado, los bosques generan diversos bienes y servicios ambientales que contribuyen a los esfuerzos de adaptación.

Si se considera todo el carbono almacenado en los bosques (biomasa forestal, estrato herbáceo y arbustivo, la madera muerta, la hojarasca y el suelo), la cantidad de carbono es mayor que todo el carbono presente en la atmósfera. Por esta razón es evidente que cualquier perturbación en estos ecosistemas puede resultar en un cambio significativo en el ciclo del carbono (CONAFOR). En su crecimiento, los árboles absorben el dióxido de carbono de la atmósfera y lo convierten en carbono que se almacena en su tronco, raíces y hojas.



Adicionalmente queda carbono almacenado en el suelo, en la materia orgánica a ras del suelo (hojarasca) y en los árboles muertos.

La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato da cada comunidad vegetal (Schulze et al., 2000), el componente arbóreo del estrato aéreo es uno de los principales almacenes de biomasa y por lo tanto de carbono. La información sobre la biomasa, es fundamental, ya que responde a muchas preguntas sobre el papel que juegan los bosques en el cambio climático global y en la concentración de los gases de efecto invernadero. El conocer la cantidad de biomasa de las especies arbóreas es necesario para estimar la cantidad de carbono que captura un bosque, este proceso de captura de carbono actualmente puede considerarse como un servicio ambiental y por lo tanto puede constituirse como una alternativa de manejo de los recursos naturales encaminado al desarrollo sustentable y para la obtención de algún bien para los poseedores del recurso (Avendaño, 2009). La cantidad de CO_2 que el árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono.

Este proceso en el que los bosques capturan carbono de la atmósfera contribuye a la mitigación del cambio climático. Un bosque que crece está catalogado como un sumidero de carbono. Cuando los bosques se degradan o son destruidos, el carbono que alguna vez fue almacenado se libera hacia la atmósfera contribuyendo a agravar el problema del cambio climático. El IPCC estimaba en su segundo informe de evaluación, que entre 60 y 87 GtC (gigatoneladas) podrían conservarse o captarse en los bosques para el año 2050, y que otras 23 a 44 GtC podrían obtenerse de suelos agrícolas. Actualmente se considera que las opciones de mitigación biológica son del orden de 100 GtC (acumuladas) para el año 2050, lo que representa entre el 10% y el 20% de las emisiones proyectadas de los combustibles de origen fósil durante ese período (IPCC 2001b). Estos



mecanismos también consideran a los bosques como ecosistemas y no como árboles aislados, reconociendo el hecho de que el suelo del bosque contiene alrededor de dos tercios del carbono en los ecosistemas forestales (Dixon et al. 1994).

En el aspecto de investigación en esquemas de captura de carbono por sistemas naturales, encontramos que se relaciona con el estudio del valor de las funciones ecológicas de los ecosistemas naturales, ya que no representa el mismo potencial de captura de carbono que tiene un bosque templado que un bosque tropical. De acuerdo a la estructura y características que contienen cada uno de estos sistemas dependerá su potencial. Fue hasta 1976 que la idea de los bosques como "almacenadores" de las emisiones de combustibles fósiles fue propuesto por primera vez (WRI 2001).

El renovado interés en esta función ecológica de los ecosistemas terrestres aparece cuando investigadores y administradores públicos empiezan a entender el valor total de la naturaleza (VTN) y se enfocan a desarrollar esquemas para conservar y restaurar dicho valor. El VTN se considera como la suma del valor de uso directo e indirecto, opción y existencia de la naturaleza. (Department for Transport, Local Government and the Regions, 2002).

Como México está en proceso de desarrollo no elabora específicamente políticas o proyectos para revertir o disminuir en gran medida el aumento de los GEI y al contrario solo genera en el proceso de producción y cambios de uso de suelo (Milenio , 2001). Por lo anterior, los bosques juegan un papel importante en las acciones que México está tomando para mitigar el cambio climático. A su vez, mitigar las emisiones de gases efecto invernadero provenientes de la degradación y la deforestación puede generar importantes beneficios ambientales y mejorar la calidad de vida de los habitantes de los bosques. De hecho, la conservación y el manejo sustentable de los bosques son objetivos de la política nacional y han sido promovidos de manera efectiva en las últimas décadas. (SEMARNAT)



En resumen, los sumideros terrestres de carbono se refieren al carbono contenido en los ecosistemas forestales (vegetación viva, materia orgánica en descomposición y suelo) y sus productos (maderables y no maderables, combustibles fósiles no usados, etc.) De manera análoga, los flujos o emisiones de carbono se relacionan con la degradación tanto de los ecosistemas forestales como de sus productos. (Vargas, A y Yáñez, A.,

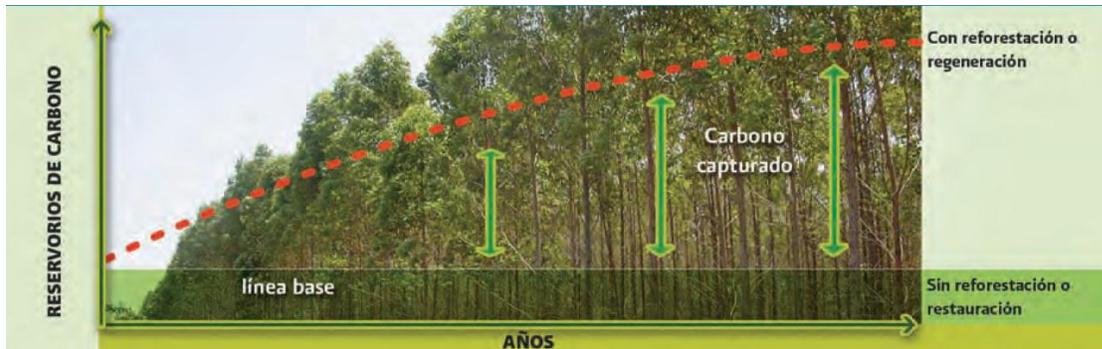
1.6. Acciones de mitigación ante el cambio climático y los gases de efecto invernadero (GEI) en base a los almacenes de carbono

La mitigación al cambio climático es el proceso de aplicación de acciones dirigidas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que provienen de actividades industriales, energéticas, forestales y agrícolas, y de potenciar y mejorar los sumideros (CONAFOR).

El sector forestal es muy importante en las acciones que México está tomando para mitigar el cambio climático ya que el mal aprovechamiento de los bosques ha provocado pérdida de la superficie forestal. Las estrategias de mitigación en el sector forestal están centradas en impulsar el manejo sustentable de los bosques como principal herramienta para combatir las causas del cambio climático, las actividades de mitigación consisten en: a) disminuir la deforestación y la degradación, y b) aumentar los acervos de carbono a través de actividades de restauración, reforestación y aforestación (CONAFOR, 2012). La conservación y el manejo sustentable de los bosques son objetivos de la política nacional y han sido promovidos de manera efectiva en las últimas décadas.

México está preparándose para desarrollar una Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques (ENAREDD+) que busca desacelerar, frenar y revertir la pérdida de cubierta forestal, de carbono y de servicios ecosistémicos a partir del impulso de actividades como manejo sustentable del bosque, incremento de los acervos de carbono, reducción de las emisiones por deforestación y degradación (Figura 2) (CONAFOR, 2012).

Figura 2. Crecimiento de un bosque degradado o deforestado a través de implementación de actividades de restauración y su relación con el carbono almacenado.



Fuente: CONAFOR, 2012

México da gran importancia a las acciones que contribuyen a la mitigación de emisiones de GEI. Con la publicación, en junio de 2012, de la Ley General de Cambio Climático, que se destaca por ser pionera a nivel internacional, se eleva incluso a nivel de obligatoriedad jurídica la política de cambio climático, incluyendo metas en materia de mitigación, como la reducción del 30% de emisiones al año en 2020 con respecto a una línea base, y 50% en 2050 con relación al año 2000.

En el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (PECC), se propusieron una serie de acciones en los sectores de generación y uso de energía; agricultura; bosques y otros usos del suelo; y desechos, con la finalidad de reducir anualmente 51 MtCO₂ eq. en relación con la línea base al final del período. De 2008 al tercer trimestre de 2012, se logró una reducción acumulada de emisiones de 129 Mt CO₂ eq. De acuerdo a las evaluaciones de avance, se espera que para finales de 2012 se supere incluso la meta anual de mitigación del PECC en 4% (52.76 MtCO₂ eq. /Año). A partir del análisis anterior y de estudios de costo-efectividad, de contexto, de prioridades y de barreras sectoriales para cada una de las acciones identificadas, se ha identificado una cartera de más de 150 proyectos con un potencial de abatimiento total estimado en 130 MtCO₂ eq. anuales al 2020, y que representan la mitad del compromiso adquirido por México para ese año. Más de 100 de esos proyectos están en ejecución, y representan un potencial de



mitigación de 70 MtCO₂ eq. al 2020. Esta cartera comprende iniciativas de diferentes tipos: normativas y regulatorias, de desarrollo y sustitución tecnológica, programas sociales, mejores prácticas, desarrollo de capacidades, etc. Los proyectos se encuentran en diferentes etapas de diseño y ejecución.

Para aprovechar las oportunidades que ofrece el sector forestal a la mitigación de las emisiones de carbono, es prioritario reorientar la política forestal y la política de desarrollo rural, para lograr acciones eficaces que revierta la tendencia de disminución de los almacenes de carbono en los ecosistemas forestales e incrementen su capacidad de captura. En el territorio mexiquense se ha avanzado en la gestión de los permisos de aprovechamiento. En septiembre de 2000 se acordó con la SEMARNAT la participación de PROBOSQUE en la revisión de campo y gabinete de las solicitudes de aprovechamiento forestal para emitir opinión técnica previa a su autorización. En julio de 2000 se asumió la función de autorizar los permisos por parte del Gobierno del Estado de México, siendo el primer y único caso en el país. En agosto de 2001 se formalizó esta acción con la firma del Acuerdo para la Dictaminación, El objetivo de la revisión y dictaminación previa a la autorización es verificar, en campo y gabinete, que los programas de manejo forestal incluyan las actividades de protección, conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos forestales, que se respete la capacidad productiva de los bosques sin afectar su recuperación, a fin de garantizar su aprovechamiento sustentable.

Actualmente se tiene instrumentado un Sistema de Gestión de Calidad para este servicio, mismo que fue certificado en julio de 2004 bajo los criterios de la Norma ISO 9001-2000 y el 29 de octubre de 2005 se aprobó mantener el certificado de gestión de calidad. Los aprovechamientos de madera de 1995 a 2005 se basan en 79 Estudios de Manejo Forestal autorizados, por la SEMARNAT y por PROBOSQUE, con una superficie a intervenir de 106,824 hectáreas.



1.7. Programas de manejo para bosques templados

El manejo forestal debe ser tomado en un contexto integral, refiriéndose a los elementos que componen los bosques y las selvas, las relaciones funcionales entre ellos y no únicamente a la producción de madera. Si se considera que además proporcionan leñas, fibras, resina, ceras, alimentos, forrajes y plantas medicinales, así como los diversos beneficios ambientales que se obtienen de ellos.

1.8. Marco referencial.

El tema “cambio climático y gases de efecto invernadero” es abordado siempre desde la perspectiva global, los proyectos y programas que se llevan a cabo siempre van dirigidos a los países más contaminantes, atacando sus modos de producción y su estilo de vida, pero ¿Es en realidad que también las acciones de mitigación siempre deben de verse desde esa perspectiva?. El estado de los ecosistemas forestales también se diferencian y los programas que se ejecuten en nuestro país no funcionarían si se ejecutan en Estados Unidos o cualquier otro país desarrollado. Es por eso que para comprender aún más estos temas se presentan estudios que se realizaron en México y algunos del Estado de México relacionados al tema de tesis. Con base a los estudios que se han realizado en México se han implementado diversos proyectos y se han realizado investigaciones amplias en torno a la captura de carbono en áreas forestales. México es uno de los países en desarrollo que mostró gran interés en el concepto de proyectos de implementación conjunta entre países cuando esta opción fue planteada en la primera conferencia internacional sobre cambio climático. Desde entonces ha habido numerosos esfuerzos al respecto, tanto en lo que se refiere a investigación, como en el diseño e implementación de los proyectos.

Entre los estudios que se han realizado en nuestro país se pueden mencionar los siguientes:



-De Jong et al. (1999).

Quienes determinaron el contenido de carbono en un intervalo de 147 a 504 Mg C ha-1 en ecosistemas forestales de clima templado, incluyendo zonas de pastizal y de cultivo.

-Masera (1995)

Propuso una ecuación para estimar la captura unitaria de carbono (en Mg ha-1 año-1) en un ecosistema forestal con manejo:

$$C_t = f \frac{(C_v + C_d + C_s + C_p)}{T + S C_f}$$

Dónde: C_t representa la captura unitaria de carbono; C_v es el carbono contenido en la vegetación; C_d es el contenido de carbono en la materia orgánica en descomposición; C_s es el contenido de carbono en el suelo; C_p es el contenido de carbono en productos forestales; C_f es igual al carbono ahorrado por no utilizar combustibles fósiles y T representa el tiempo.

-Acosta et al. (2001)

Desarrollaron una metodología para calcular el carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca. Los sistemas con mayor contenido de carbono en ese componente, según estos autores, son los bosques de liquidámbar de la región Mazateca, los bosques de encino en la región Cuicateca y un acahual de 10 años en la región Mixe con 103, 52 y 33 Mg ha-1. En el caso de las estimaciones preliminares hechas por Acosta et al. (2001) para esos sistemas forestales dominantes en la Sierra Norte de Oaxaca, no se midió la concentración de carbono de los árboles, ni de los componentes principales.

Los autores emplearon el supuesto que 50% de la biomasa, cifra propuesta por el IPCC (2001), es carbono. Se analizó la estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *Ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. Mediante un sistema de



muestreo dirigido en parcelas temporales de muestreo (PTM) con superficie de 1000 m², se evaluaron dos tipos de rodales, uno con predominancia de *Pinus maximinoi* y otro con predominancia de *Pinus oocarpa*, en ambos casos asociadas con *Quercus sp.* Se realizó la cuantificación directa de la biomasa en componentes (fuste, ramas y follaje) de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* y *Quercus sp.* De cada especie se obtuvieron muestras de madera para determinar la densidad básica de la madera y por su intermedio la biomasa a través del volumen. A partir de los resultados obtenidos de biomasa total y por componentes se generaron modelos alométricos en función de variables como el diámetro normal, altura total en pie, altura al inicio de la copa y diámetro de copa. Para cada una de las especies se presentan varios modelos. Los coeficientes de determinación R² obtenidos para los distintos modelos estuvieron entre 0.95 a 0.99. Los Criterios de Información de Acaike (AIC) y Criterio Bayesiano de Swart (BIC) también fueron usados para la selección de los mejores modelos. Los rodales con predominancia de *Pinus maximinoi* almacenaron 161.97 Mg/ha de biomasa y 81 Mg/ha de carbono. Los rodales con predominancia de *Pinus oocarpa* fijaron 142.23 Mg/ha de biomasa y 71 Mg/ha de carbono (González, M. 2008).

-Avendaño, et. al (2009)

En su estudio generaron dos ecuaciones para determinar biomasa y carbono en *Abies religiosa*. A cada árbol se le determinó la biomasa de sus componentes (fuste, ramas y follaje); de ese material se seleccionaron algunas submuestras de cada componente y todas se analizaron para determinar su concentración de carbono. La mayor concentración de carbono fue en el fuste con 46.6% y la concentración promedio de carbono por árbol fue de 46.5%. El mayor porcentaje de biomasa (84.5%) se encontró en el fuste incluido el tocón.

-Ordoñez, et al.

Utilizaron un modelo dinámico CO₂Fix para Windows para obtener la captura potencial de carbono en la comunidad de Nuevo San Juan (NSJ). El carbono total estimado en el largo plazo (250 años) fue de 217 tC/ha; la biomasa (aérea y



subterránea) con 74 tC/ha, los productos con 49 tC/ha y el suelo con 94 tC/ha. Se estimó que en el mismo plazo se tiene un potencial de captura de carbono en el bosque de la comunidad de 1.9 Mt C. en sus 8,870 ha. Así mismo se realizaron análisis de sensibilidad de tres parámetros, para identificar la diferencia potencial en la captura de carbono (tiempo de vida de los productos, tasas de humificación y descomposición $\pm 30\%$ del valor original). Por último, se describe la importancia del uso del modelo CO₂Fix como una herramienta en el manejo forestal, especialmente para las plantaciones forestales. La simulación se basó, en lo posible, en datos disponibles localmente: (a) superficie del área de estudio; (b) manejo forestal: ciclos de aclareos, corta de regeneración y corta de liberación; existencias reales (E.R.), y volumen de madera extraído; (c) crecimiento del árbol: incremento corriente anual (ICA), diámetro, altura, edad e incremento medio anual (IMA); y (d) productos derivados como: papel, cajas de empaque, madera para construcción, madera para muebles, madera para energía y madera muerta.

-Álvarez G. et al. (2013)

Realizaron un estudio en el que su objetivo principal fue evaluar el contenido de C en los almacenes aéreos y subterráneos para cinco comunidades de bosque montano de niebla en la Sierra Norte de Oaxaca, situadas entre 1500 y 2500 m de altitud. El diseño fue de muestreo jerárquico anidado y las variables fueron C en la biomasa arbórea, estrato herbáceo y arbustivo, material leñoso muerto, mantillo, raíces finas y suelo mineral para cada comunidad vegetal. La suma de los distintos almacenes indicó que el C acumulado fue mayor a 1500 y 2500 m (440 y 420 Mg ha⁻¹), y entre 1950 y 2400 m fue 354 Mg ha⁻¹. En promedio, la reserva de carbono en biomasa y suelo para los bosques montanos de niebla fue 384.16 ± 40.13 Mg ha⁻¹. La conformación de estos almacenes está regulada por las variaciones biofísicas dentro del intervalo altitudinal, traducidas en cambios florísticos y estructurales de la vegetación, en la producción y preservación de residuos orgánicos poco transformados en la superficie del suelo, así como por la capacidad de éste último para formar asociaciones órgano minerales que estabilicen el carbono orgánico en el suelo.



Entre otras referencias sobre los almacenes de carbono en bosque templado se encuentran:

-Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. (Rodríguez, 2009).

El estudio tuvo como objetivo estimar y conocer la distribución del C almacenado en un bosque de pino-encino que se encuentra resguardado dentro de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Para ello, se midieron en los árboles la altura total, diámetro normal, altura al inicio de copa, y con estos datos se calculó el volumen, estimándose la biomasa con el modelo de la forma $\beta = a_0 \cdot Da^1$ dicho valor se multiplicó por el porcentaje de C obtenido con el equipo Solids TOC Analyzer para cada especie obteniendo la cantidad de C almacenado por árbol, hojarasca y necromasa. Con el modelo se obtuvo para cada especie un coeficiente de determinación (R^2) superior al 0.95. Sin embargo, se estimaron 219.3 t ha⁻¹ de biomasa. Así mismo, se estimó un total de 110 t C ha⁻¹ almacenada de la forma siguiente: en fustes, ramas y hojas se encuentra el 75.3%, en raíces el 15%, en hojarasca el 9% y en los renuevos y la necromasa se encuentra el 0.4 y 0.3% respectivamente. De esta manera el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biosfera El Cielo contribuye a mitigar el calentamiento global.

-Estimación de captura de carbono en bosque de *Abies religiosa* del municipio de Amecameca, Estado de México. (Rovelo, 2010)

La importancia del estudio fue conocer el potencial de captura de carbono en bosques comunales alterados por la tala y conocer la cantidad de carbono que actualmente capturan los bosques y plantaciones que realicen los comuneros de Amecameca, y así fortalecer la solicitud de pago por servicios ambientales. A través del incremento corriente anual en muestras troncales de *Abies religiosa* en la región, se determinó la densidad de la población, la distribución diamétrica, la estructura de edades del arbolado, la relación edad-DAP y la ecuación de crecimiento; así finalmente se calculó el contenido total de carbono. Con base a lo



anterior, se determinó que estos bosques presentan una captura de carbono que oscila entre 3.92 hasta 88.5 tC ha⁻¹.

-Estimación del contenido de carbono y captura potencial de carbono del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. y *Abies Religiosa* (H. B. K.) Schl. Et Cham en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. (García, 2011).

Se realizó la estimación del contenido de carbono de los bosques de *Abies Religiosa* y *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT). Tomando como base los datos registrados en los últimos 7 años por el investigador Sergi Franco Maass, las variables utilizadas, fueron la altura y el diámetro normal (1.30) de los árboles en 106 sitios muestreados en las diferentes coberturas forestales. Se clasificó a los bosques de *Abies Religiosa* y *Pinus hartwegii* en 9 comunidades vegetales. El contenido de carbono se calculó por medio de la biomasa, usando un factor de expansión del 1.3 y un factor de contenido de carbono de 0.45. Se encontró que el *Abies Religiosa* es la especie que predomina en el PNNT por la alta densidad de individuos. En general los bosques de *Abies Religiosa* obtuvieron el mayor contenido de carbono en la vegetación, con 4.999 Mg C/ha, aunque en promedio el bosque con el mayor fue el de *Abies Religiosa-Pinus hartwegii* con 188 Mg C/ha. En cuanto a la captura potencial de carbono de la comunidad con el valor más alto correspondió al bosque de *Abies Religiosa* con 78.97 Mg C/ha.

-Estimación de captura de carbono en bosques comunales de *Pinus hartwegii* LINDL. en la zona de Amecameca, Estado de México. (Moreno, 2010)

Los ejidatarios de Amecameca desea conocer la cantidad de carbono que capturan sus bosques, y sin adecuados para generar servicios ambientales por el concepto captura de carbono y recibir un beneficio económico de ello. De modo que la importancia de este estudio es conocer el potencial de captura de carbono en bosques comunales y conocer la cantidad de carbono que capturan los bosques y así fortalecer la solicitud el pago por servicios ambientales.



La estimación de carbono capturado se realizó en los bosques de *Pinus hartwegii* localizando sitios en diferentes niveles de conservación, dos sitios de bosques conservados, dos sitios de bosques plagados y un sitio con repoblación. Se determinó la densidad de población, la distribución diamétrica y la relación DAP-contenido de carbono. La captura de carbono en los bosques de *Pinus hartwegii* varía entre los 17.23 MgC ha⁻¹ hasta los 191.33 MgC ha⁻¹. El mayor contenido de carbono se encuentra en los bosques conservados, obteniendo la mayor concentración en el fuste, seguido del follaje y raíz, en tanto el menor contenido de carbono se encuentra en el sitio con repoblación.

-Almacén de carbono (C) total en bosques de *Pinus patula* Schl. et Cham., EN TLAXCO, TLAXCALA. (Acosta, M., et al.)

Se determinaron los almacenes de carbono (C) en rodales de diferente composición, en los estratos aéreo y subterráneo en la región de Tlaxco, Tlaxcala. El C de la parte aérea se obtuvo midiendo la biomasa de cada componente. La biomasa de los árboles se obtuvo mediante ecuaciones alométricas y ésta se multiplicó por 0.5 para obtener el C de cada árbol, para el caso de *Abies religiosa* el factor utilizado fue de 0.46. Para obtener la biomasa de las hierbas+arbustos, se colectó todo el material encontrado en 1 m², este material se secó y se pesó, el resultado se multiplicó por 0.5 para obtener la cantidad de C. Para determinar la biomasa del mantillo, se colectó el material encontrado en un cuadro de 0.25 m², este material se secó y pesó, se obtuvieron submuestras a las que se les determinó el porcentaje de C, mismo que se utilizó para obtener el C total de cada muestra. Para determinar el C de la parte subterránea, se obtuvieron muestras de suelo a dos profundidades 0-20 cm y 20-40 cm. A una porción de las muestras de suelo se determinó el porcentaje de C en el laboratorio, mismo que se utilizó para obtener el C total.

El rodal que presentó mayor contenido de C es el de Pino-Oyamel (Po), con 300.9 ton/ha, en el que influyó la cantidad de C que tuvo el suelo ya que se obtuvieron más de 212 ton/ha en sus dos profundidades. El que presentó menor contenido de



C es el rodal de Pino (P) con 183.2 ton/ha, en la que cada uno de sus componentes es relativamente bajo en comparación con los demás rodales, excepto en el mantillo, pues es en donde se encontró mayor cantidad de C (29.6 ton/ha). En todos los rodales, se encontró que la mayor cantidad de C se concentra en la parte subterránea, excepto en el de Pino-Encino-Hojosas. En los primeros 20 cm de profundidad del suelo se concentra la mayor cantidad de C y conforme aumenta la profundidad disminuye la cantidad de éste. Los árboles aportan la mayor cantidad de C al estrato aéreo, y su cantidad se relaciona directamente con el área basal.

-QUINTA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO

Los esfuerzos que México está llevando a cabo para insertar proyectos y programas al problema de cambio climático se manifiestan en que nuestro país realizó su QUINTA COMUNICACIÓN NACIONAL ANTE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO en donde se resalta lo siguiente:

- La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), coordina las actividades de las dependencias de la Administración Pública Federal, en materia de cambio climático.
- En 2007, el Presidente de la República dio a conocer públicamente la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), en la que se identifican oportunidades de mitigación y de adaptación.
- Se elaboró el Programa Especial de Cambio Climático (PECC) para el periodo 2009–2012, que concreta y desarrolla las orientaciones contenidas en la ENACC. El PECC es un instrumento de política transversal del Gobierno Federal, elaborado de manera voluntaria que busca la mitigación y adaptación al cambio climático, sin afectar el crecimiento económico. Compromete a las dependencias del Gobierno Federal con 105 objetivos y



294 metas de mitigación y adaptación para el periodo 2009-2012. En las dependencias de la APF se han realizado avances importantes en los arreglos institucionales para atender el tema de cambio climático.

- En cuanto a las Comunicaciones Nacionales, es la Coordinación del Programa de Cambio Climático (CPCC) del Instituto Nacional de Ecología (INE) de la SEMARNAT, la que coordina su elaboración. La integración de las mismas se realiza con la participación de las diferentes dependencias de los gobiernos federal, estatal y municipal; centros de investigación e instituciones de educación superior, públicos y privados, y organizaciones de la sociedad civil y del sector privado.

-A nivel regional se cuenta con la Comisión Regional de Cambio Climático de la Península de Yucatán, integrada por los tres estados de la misma.

Las Entidades Federativas, en el ámbito de sus competencias, establecen Comisiones Intersecretariales de Cambio Climático u oficinas, que se encargan de coordinar las políticas públicas en la materia, o para diseñar o modificar sus leyes para incluir el tema de cambio climático, en congruencia con las del Gobierno Federal. También avanzan en la elaboración de su respectivo Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC)

-Otro de los mecanismos que se están creando para mitigar el cambio climático dentro del sector forestal, consiste en que nuestro país México está preparándose para acceder a un mecanismo internacional denominado REDD+ que busca desacelerar, frenar y revertir la pérdida de cubierta forestal y de carbono con el fin de reducir emisiones de GEI. (SEMARNAT)

En este estudio se busca estimar los almacenes de carbono en la biomasa aérea de los bosques naturales en este tipo de ecosistemas que contribuyen a la mitigación del cambio climático.

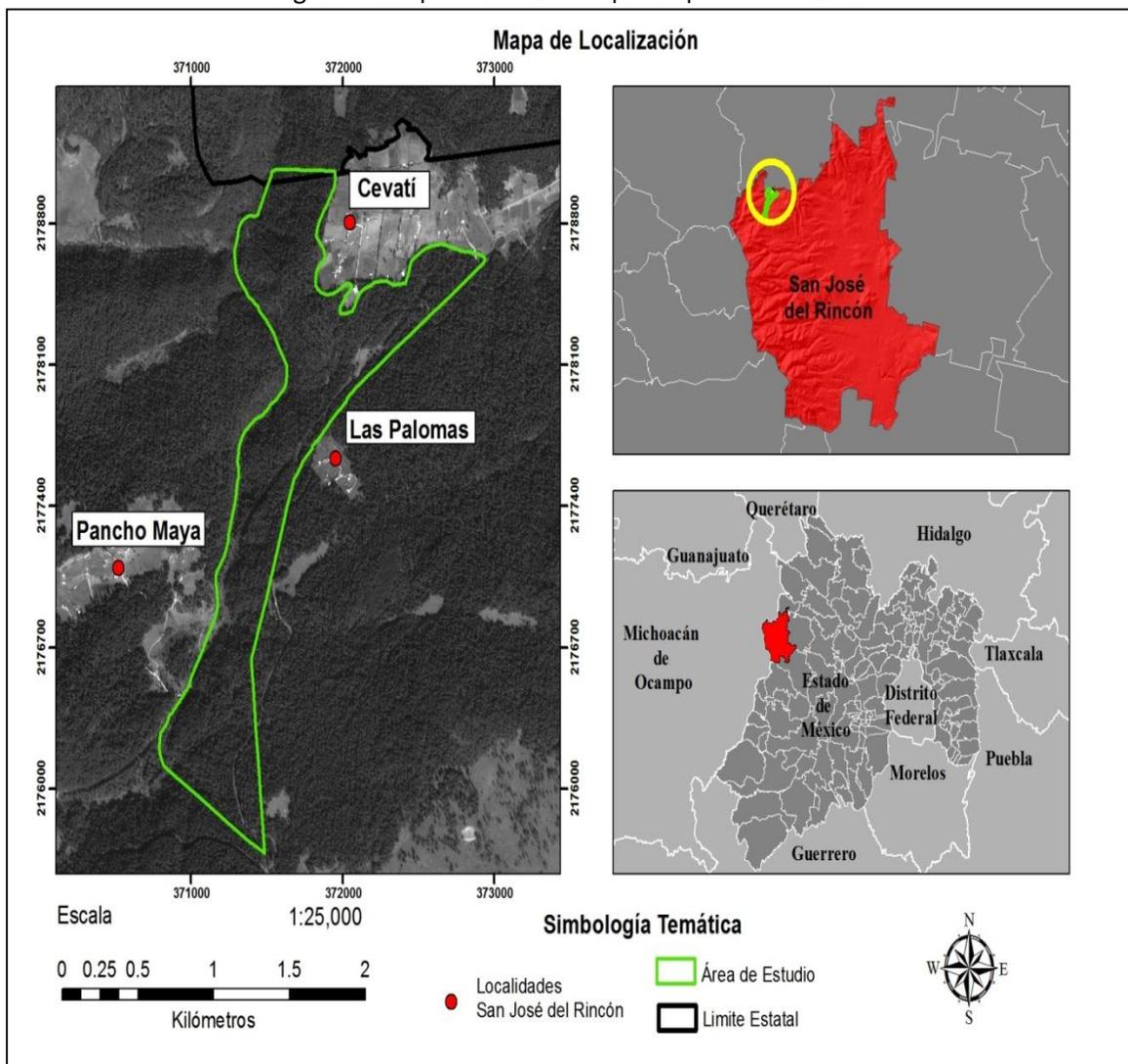


2. ÁREA DE ESTUDIO



El presente trabajo se desarrolló en el predio particular “CEBATI” que se ubica en el municipio de San José del Rincón, Estado de México. El predio limita al norte con el predio San Rafael, al sur con el Rancho Chocua, al este el Rancho Palomas y el predio Quintana, y al Oeste con el Racho Maya y el Ejido San J. Corrales y San J. Morelos (López, 2005). Una pequeña parte pertenece al área de amortiguamiento de la mariposa monarca, que se encuentra mayoritariamente en el Estado de Michoacán. (INEGI, 1976). (Ver figura 3)

Figura 3. Mapa de localización predio particular CEBATI



Fuente: (Quiroz, 2013)



2.1. Características físicas

2.1.1. Fisiografía y topografía

El predio se encuentra localizado dentro de la provincia del Sistema Volcánico transversal, dentro de la subprovincia Mil Cumbres. Esta pequeña subprovincia, lleva el nombre de su extremo oeste, sobre la ruta Morelia-Zitácuaro. La región es accidentada y complicada por la diversidad de sus geoformas, que descienden hacia el sur. Se caracteriza como una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, acumulada en innumerables y sucesivos episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás).

Abarca sierras volcánicas complejas, debido a la variedad de sus antiguos aparatos volcánicos, mesetas lávicas escalonadas, lomeríos basálticos y el valle por el cual el río Lerma se dirige hacia el norte de la presa Solís. (Quiroz, 2013)

El sistema de topofomas más importante en la entidad es el de lomeríos de colinas redondeadas de meseta de basalto, región que comprende la Zona Núcleo y parte el área de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, una altura por arriba de 3500 msnm. Sin embargo el predio de estudio se encuentra fuera del área núcleo de la reserva de la biosfera de la monarca y sólo 2.04 ha se localizan dentro del área de amortiguamiento (López, 2005).

El predio tiene pendientes de 10-30% aproximadamente y se encuentra a la altura aproximada de 2850 msnm. (Quiroz, 2013).

2.1.2. Geología

La caracterización geológica de la provincia Mil Cumbres está dada por el predominio de rocas ígneas extrusivas (andesíticas, reolíticas) de origen volcánico que datan de la era cenozoica del periodo terciario, que nacen discordantemente sobre las rocas mesozoicas. (INEGI, 2001c) Hay afloramiento de rocas cenozoicas clásicas asociadas con rocas piroplásticas (tobas).



2.1.3. Edafología

Los suelos que predominan en el área de estudio son el Andosol húmico y ortico, seguidos del Acrisol ortico, Luvisol crómico, Planosol mólico y el Leptosol entre otros. (Quiroz, 2013)

2.1.4. Hidrología

El predio de Cebatí se encuentra en la región hidrológica número 12 del Río Lerma, de la cuenca del Río Lerma-Toluca(12A), Subcuenca (12Ab) del Río Oztolotepec-Atlacomulco, subcuenca Tributaria (12Ab07) San Jerónimo Pilitas, Subcuenca específica(12Ab0701)(INEGI,1981a).El predio Cebatí, está ubicado, en cuanto superficie, el 100% en la subcuenca (12Ab0701).

2.1.5. Clima

De acuerdo a la cartografía del Estado de México (INEGI, 1981b) se determina la siguiente clasificación para la zona de estudio, el clima, específicamente C (E) (w2) (w) que corresponde a semifrío subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad, la temperatura media anual oscila entre los 8° y 12°C y la precipitación total anual entre los 1,000 y 1,200 mm. La máxima temperatura se presenta en los meses de abril y mayo, y los meses más fríos en diciembre y enero con temperaturas de entre 8 y 9° C.

2.2. Características Biológicas

2.2.1. Vegetación

De acuerdo al programa de manejo forestal (López, 2005), la vegetación que destaca dentro del predio es, *Abies religiosa* o mejor conocido como oyamel, *Pinus pseudostrobus* o comúnmente llamado pino, *Cupressus lindleyi* o cedro blanco, *Quercus rugosa* o también llamado comúnmente Encino, y hojarascas que se encuentran en muy poca proporción, aunque se tiene que hay un predominio mayor de oyamel y pino (Quiroz, 2013). A continuación se describen algunas características de las especies arbóreas predominantes en el predio según (Ciesla, 1996):



- *Abies religiosa*: son el ejemplo más majestuoso de las coníferas. Sus hojas son cortas y duras puestas en ramillas. Crece sobre todo entre los 2800 y los 3600msnm. Son arboles altos y muy apreciados para obtener celulosa.
- *Pinus pseudostrobus*: muchos especialistas afirman que los términos pino y coníferas son casi sinónimos. El pino está representado por unas 129 especies en casi todas las regiones del Hemisferio Norte. Son árboles de tamaños medianos y grandes, con la característica común de que poseen hojas en forma de agujas, agrupadas en manojos, con piñas que nacen en el mismo árbol.
- *Cupressus lindleyi*: también conocido como cedro, es un árbol de zonas cálidas a templadas, de crecimiento rápido que puede alcanzar los 20 metros de altura con un diámetro aproximado de 60cm. Sus hojas son perennes, de la familia de las *cupresáceas* y pertenecen al grupo de las gimnospermas. Su morfología es de forma piramidal de crecimiento rápido en los primeros años de vida. Las hojas son muy pequeñas de 4 a 6mm de longitud en forma de escamas alineadas en parejas opuestas y decusadas.
- *Quercus rugosa*: en México conocido como encino o roble. Prospera a un nivel más bajo que el del pino, entre los 1500 y 3000msnm. La mayor parte de estos árboles crecen en zonas templadas. Son apreciados por su dura madera. Sus hojas son lobuladas y coriáceas.

Otras especies importantes dentro del predio de Cebatí, son las arbustivas donde destacan algunas como la escobilla, jarilla blanca, vara blanca, tacote, barba de San Juan, salvia real, tepozán, salvia roja, capitaneja, jara, madroño, palo de agua, fusia, garbancillo, hierba de burro, salvia. (Quiroz, 2013)

En el estrato herbáceo se identifican las siguientes especies: cardo santo, zacate, cola de zorra, pegarropa, zacatón, tabaquillo, confitillo, árnica, helechos, calancapatle y hierba del oso, por sus nombres en común (López, 2005).



2.2.2. Fauna Silvestre

Dentro de las principales especies que se encuentran en el área de estudio se encuentra el armadillo, tlacuache, conejo, comadreja, zorrillo, tuza, ardilla, murciélagos, coyote, zorra, hay aves como el Jilguero, Colibrí, Torcaza y víbora de cascabel (Quiroz, 2013). La fauna silvestre es un término que se refiere a los animales que normalmente no están domesticados (criados por el hombre). (IHEA, 2007).

2.3. Manejo Forestal del predio particular “CEBATI”

El predio particular en estudio se encuentra bajo el régimen de propiedad privada, cubre una superficie de 149.47 hectáreas y está registrada ante la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE) bajo la razón social de persona física, este tipo de unidades productivas, obtienen la autorización de aprovechamiento con una vigencia de diez años a partir de la fecha de expedición en los casos de programas de manejo de nivel simplificado, intermedio y avanzado. En caso de simplificado para limpia de monte es variable 1 a 3 años (GEM, 2012). El sistema de planeación con el que trabaja el área de estudio esta denominado como Método Mexicano de la Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), aplicando el tratamiento de cortas de selección individual o en grupos, lo cual permite la extracción y la regeneración del bosque (López, 2005). El predio ha sido sujeto a manejo desde hace 85 años, el documento anterior incluyo un plan de corta del año de 1997 al año 2006, el mapa de rodales corresponde al mismo del actualizado por lo que la numeración no presenta cambios. La actualización del inventario de manejo fue realizado durante el mes de Diciembre de 2005. (López, 2005)

La información recabada en el programa de manejo fue la siguiente:

- Datos de control: número y nombre del predio, número de ortofoto, rodal y número de sitio, así como otra información útil para la ubicación correcta del predio.



- Tratamientos silvícolas recomendados o alternativos, así como complementarios,
- Pendiente, exposición y rasgos topográficos.
- Cobertura del estrato bajo: porcentaje de arbustos, hierbas, pastos y regeneración. (**Véase cuadro 2**)
- Datos del arbolado: especie, nombre común, diámetro normal, altura total y daños. (López, 2005)

Cuadro 2. Cobertura del estrato bajo

Estrato	Proporción (%)
Arbustos	47
Hierbas	38
Pastos	14

Fuente: (López, 2005)

Sobre la situación física que presentaba el arbolado, la proporción de daños, basándose en los registros del inventario forestal en ese año, se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Daños al arbolado

Clave	Daño	Porcentaje
00	Sin daño	84.41%
01	Puntiseco	1.18%
02	Quemado	2.01%
03	Cinchado	0.02%
04	Ocoteado	1.07%
05	Muérdago (ataque ligero)	0.00%
06	Muérdago (ataque moderado)	0.00%
07	Muérdago (ataque severo)	0.00%
08	Descortezadores	0.00%
09	Enfermo	0.00%
10	Rayado	2.72%
11	Otros daños	7.56%
12	Resinado	0.00%
13	Muerto en pie	0.35%

Fuente: López, 2005



Cuadro 4. Plan de Cortas

Área de corta	Rodal	superficie (ha)	A. Religiosa	P. pseudostrobus	C. lindleyi	Q. rugosa	O. Hojarascas	TOTAL
I (2006)	2	13.61	559.521	249.539	0	26.05	0	835.11
	4	22	799.326	933.944	7.59	12.958	6.512	1760.33
Subtotal		35.61	1358.847	1183.483	7.59	39.008	6.512	2595.44
Área de corta	Rodal	superficie (ha)	A. Religiosa	P. pseudostrobus	C. lindleyi	Q. rugosa	O. Hojarascas	TOTAL
II (2008)	4	9.99	362.967	424.095	3.447	5.884	2.957	799.35
	19	10.82	514.686	733.304	0.195	0	0	1248.185
	8	9.82	301.032	150.344	52.596	2.897	0	506.869
Total		30.63	1178.685	1307.743	56.238	8.781	2.957	2554.404
Área de corta	Rodal	superficie (ha)	A. Religiosa	P. pseudostrobus	C. lindleyi	Q. rugosa	O. Hojarascas	TOTAL
III (2010)	5	11.63	335.572	234.403	218.551	5.466	0	793.992
	7	4.49	137.636	62.905	0	3.444	0	203.985
	9	9.21	566.765	77.935	19.157	1.326	0	665.183
	10	4.83	237.061	92.606	1.005	13.442	0	344.113
	12	2.5	197.22	148.318	0	0.025	0	345.563
Total		32.66	1474.254	616.167	238.713	23.703	0	2352.836
Área de corta	Rodal	superficie (ha)	A. Religiosa	P. pseudostrobus	C. lindleyi	Q. rugosa	O. Hojarascas	TOTAL
IV (2012)	12	12.45	982.156	738.621	0	0.125	0	1720.902
	18	5.51	349.439	0	0	0	0	349.439
Total		17.99	1331.595	738.621	0	0.125	0	2070.341
Área de corta	Rodal	superficie (ha)	A. Religiosa	P. pseudostrobus	C. lindleyi	Q. rugosa	O. Hojarascas	TOTAL
V (2014)	13	3.75	368.306	23.228	0	0	0	391.534
	15	12.64	869.683	125.92	1.631	0	0	997.234
	2	16.22	666.82	297.394	0	31.045	0	995.259
Total		32.61	1904.809	446.542	1.631	31.045	0	2384.027
Gran total		149.47	7248.19	4292.557	304.172	102.662	9.469	11957.05

Fuente: (Quiroz, 2013)



Uno de los puntos importantes que destaca el plan de manejo es la extracción del arbolado, permitiendo su regeneración. Se muestra la división de áreas para los aprovechamientos por año. **(Véase, cuadro 4)** De acuerdo al estudio preestablecido, “Manejo forestal del predio de Cebati” el predio está dividido en 19 rodales, de los cuales 12 son los que se encuentran como áreas forestales, los otros 7 rodales no se consideran ya que no corresponden a nuestra variable principal y son utilizados con otras actividades

La posibilidad estimada, aunque es originada de un inventario y modelos confiables, debe ser finalmente un indicador de la producción esperada, con lo cual será posible planear el abastecimiento, industrialización y comercialización.

2.4. Sistema de Manejo Forestal Cebati

El sistema de manejo forestal tiene como objetivo obtener un rendimiento sostenido del bosque, el cual está conformado de conjuntos de árboles que cubren una extensión de terreno. (Ordoñez, 1999)

La selección de arbolado a extraer se hace en toda la estructura vertical del bosque, se cortan arboles de distintas edades y alturas, ya que el objetivo del MMOBI conduce al desarrollo de una masa completa que contiene arboles de todas las clases de edad, se da prioridad a la corta de árboles viejos, deformes, plagados o con cualquier otra característica no deseable; la finalidad es dejar el arbolado de mejores condiciones aumentando así la calidad del bosque. Al extraer arboles de manera aleatoria, se propicia la regeneración y la distribución del espacio de crecimiento residual.

Al mismo tiempo que se extraen los árboles maduros, mismos que proporcionan la mayoría de los productos comerciales, se aplican cortas a fin de mitigar competencia y propiciar las mejores condiciones de desarrollo para los árboles más jóvenes. Así también se tiene que con la extracción de cualquier árbol y la consecuente apertura de claros por todo el bosque, se propicia el establecimiento



de la regeneración y la distribución del espacio de crecimiento para el arbolado residual. (López, 2005).

El bosque de acuerdo a su manejo, y a la información descrita en dicho documento se encuentra distribuido por existencias reales por hectarea y totales por rodal, todo esto en unidades de Metros³, Volumen total árbol con corteza VTA (Quiroz, 2013). **(Véase, cuadro 5)**

Cuadro 5. Distribución del aprovechamiento forestal por especies arbóreas

Rodal	superficie (ha)	EXISTENCIAS REALES/ HA m3 V.T.A (Volumen Total de árbol con Corteza)					TOTAL
		A. Religiosa	P. pseudostrobus	C. lindleyi	q. Rugosa	O. Hojarascas	
2	29.83	218.558	96.499	0	9.57	0	324.627
3	31.99	191.426	212.261	3.449	2.943	1.48	411.559
5	11.63	151.864	106.078	75.166	2.35	0	335.458
7	4.49	161.337	70.048	0	3.836	0	235.221
8	9.82	133.282	76.551	53.557	1.474	0	264.864
9	9.21	267.556	42.312	20.804	0.718	0	331.39
10	4.83	208.856	91.298	1.041	13.917	0	315.112
12	14.95	262.959	204.575	0	0.049	0	467.583
13	3.75	392.86	30.969	0	0	0	423.829
15	12.64	312.745	49.812	1.286	0	0	363.843
18	5.51	264.245	26.725	5.689	0	0	296.659
19	10.82	182.954	251.01	0.177	0	0	434.141
TOTAL	149.47						

Fuente: López, 2005

Con el objeto de garantizar tanto la permanencia como la producción de los recursos forestales del predio, es indispensable definir las condiciones que deben de prevalecer después de aplicar los tratamientos silvícolas, ya que lo que permanecerá en pie es lo que definirá la calidad de bosque futuro.

El volumen remanente mínimo que se da para cada rodal es una restricción ecológica que permite asegurar una cobertura vegetal que proporcione protección al suelo, fauna y flora, exclusiva a su etapa de desarrollo, se facilite la infiltración del agua, se reduzca la escorrentía y se disminuya la erosión. El valor de esta densidad dependerá de la intensidad de manejo de cada rodal.



3. METODOLOGÍA





Este trabajo de tesis tiene una investigación descriptiva ya que indica cómo se lleva a cabo el proceso de captura de carbono en el cual una fase es el almacenamiento del mismo dentro del bosque templado en la unidad de aprovechamiento forestal en estudio, así como también una investigación de tipo correlacional ya que nos mostrará si el dióxido de carbono almacenado depende de la especie, el diámetro y el manejo que se lleva a cabo, Este estudio es una investigación no experimental-transversal ya que se aplica solo en un momento dado y se propone describir variables e interrelacionarlas. El trabajo de tesis presenta un enfoque cuantitativo.

En la primera etapa se consultó bibliografía específica de los temas de cambio climático, gases de efecto invernadero, el proceso de captura de carbono y estudios que tengan relación con el tema de almacenes de carbono en bosque templado. También se revisó el Programa de Manejo Forestal del predio Cebatí, con el fin de conocer el manejo que se lleva a cabo dentro del mismo e identificar el ciclo de corta y la especie predominante. Finalmente los datos que maneja la tesis titulada “Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebatí, San José del Rincón, Edo. De México” para identificar los puntos de muestreo.

La etapa 2 consistió en la recopilación de datos y se divide en tres momentos:

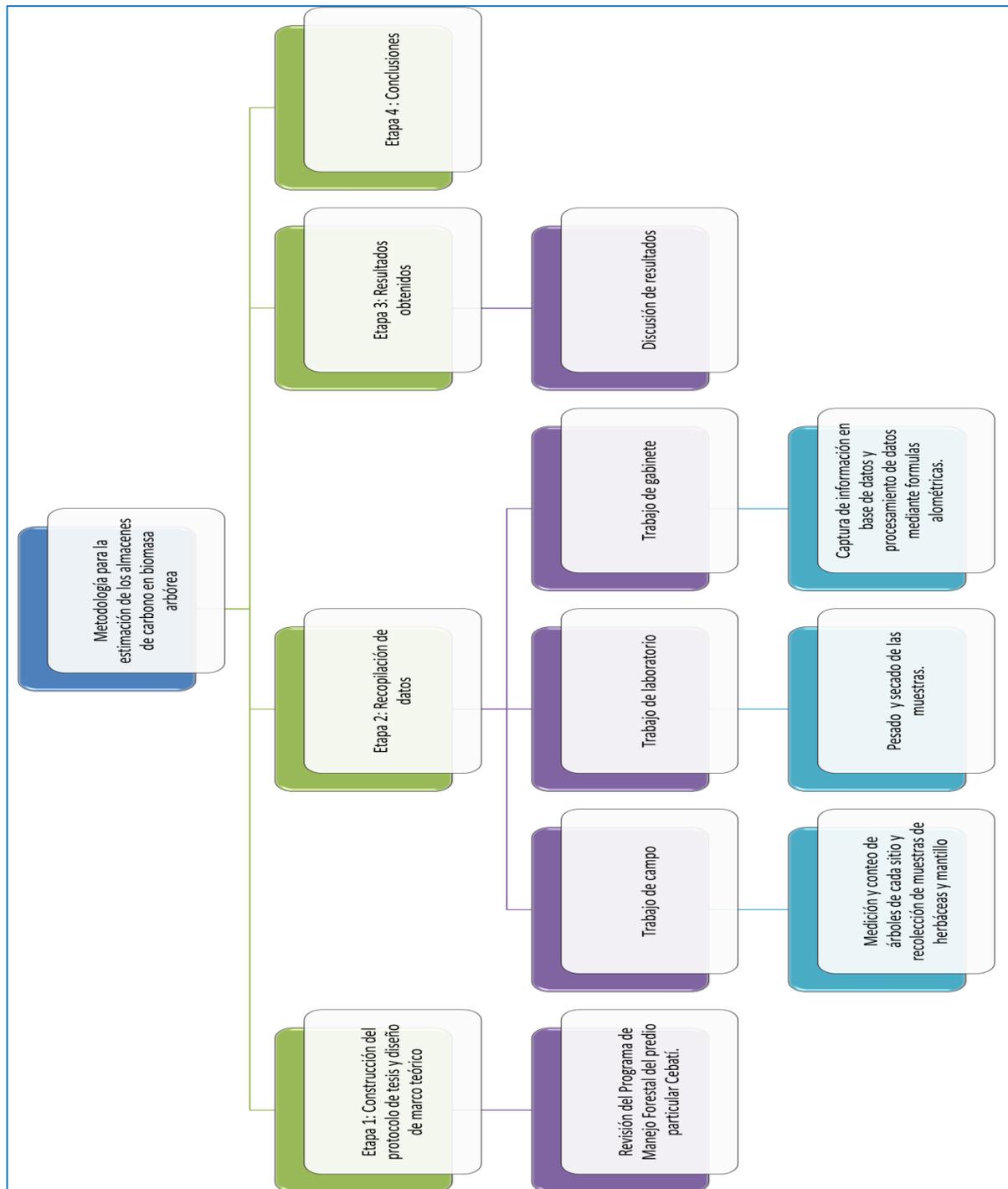
- Trabajo de campo: en donde se trazaron cuadrantes de 50m x 50m (2500m²), dentro de los cuales se contaron y se midieron todos los árboles con DAP (diámetro a la altura del pecho) mayores a 5cm de diámetro y se registraron. Posteriormente se trazaron cuadros de 1m² y .25m² en donde se recolectó herbáceas y mantillo respectivamente. Cada una de las muestras que se recolectaron se pusieron en bolsas etiquetadas que después se trasladaron al laboratorio.



- Trabajo en laboratorio: al ingresar las muestras al laboratorio se registraron en una libreta en donde se les asignó un folio para poder identificarlas de acuerdo al reglamento que establece el laboratorio. Una vez que se registraron se pesaron todas las bolsas que contenían las muestras húmedas de herbáceas y mantillo. Después se seleccionaron algunas muestras tanto de herbáceas como de mantillo para secarlas en estufa a 80° C por 72 horas y posteriormente pesarlas.
- Trabajo de gabinete: en esta parte, toda la información que se registró en campo se vació a una base de datos la cual contenía especie, circunferencia, diámetro y área basal para los árboles vivos, para los árboles muertos se registró la altura y el diámetro. También se registraron los datos de peso seco y húmedo de herbáceas y mantillo. Se procesaron los datos en otra base, la cual contenía fórmulas para determinar el carbono en la biomasa aérea por medio de fórmulas alométricas de acuerdo a la especie. Se calculó la densidad arbórea y el área basal.

En las 2 últimas etapas se describieron los resultados obtenidos en campo y se realizó la discusión de los mismos para correlacionar las variables. Finalmente se establecen conclusiones y recomendaciones.

Figura 4. Metodología



Fuente: elaboración propia



3.1. Selección de puntos de muestreo

La selección de los puntos para muestrear se realizó a partir de la rodalización de acuerdo con la dominancia de las especies arbóreas, si una especie es la más dominante del rodal, adquiere ese nombre (Quiroz, 2013) (**Ver cuadro 6**). Es importante mencionar que los puntos ya estaban establecidos, como se mencionó anteriormente, a partir de otro estudio titulado “Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebatí, San José del Rincón, Estado de México” (Quiroz, 2013). Y para este trabajo se tomaran los mismos rodales para cuantificar almacenes de carbono en biomasa arbórea.

En el predio se identificaron 4 sitios: bosque de *Abies*, bosque de *Quercus*, bosque de *Pinus* y Bosque de *Cupresus*. (**Ver figura 5**).

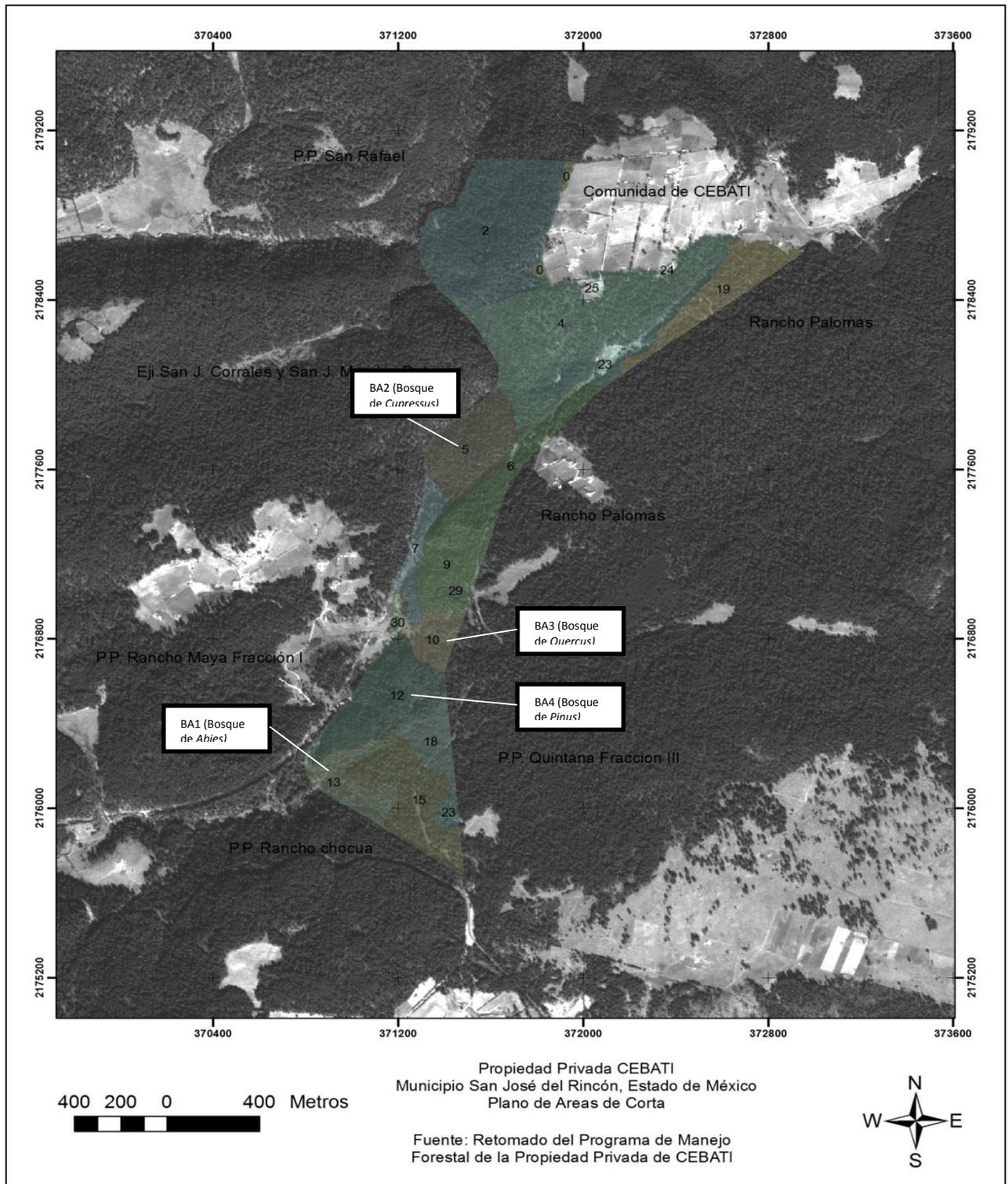
Cuadro 6. Elección de rodales por predominio de especies

Rodal	superficie (ha)	EXISTENCIAS REALES/ HA m3 V.T.A (Volumen Total de árbol con Corteza)					TOTAL
		A. Religiosa	P. pseudostrobus	C. lindleyi	q. Rugosa	O. Hojarasca	
2	29.83	218.558	96.499	0	9.57	0	324.627
3	31.99	191.426	212.261	3.449	2.943	1.48	411.559
5	11.63	151.864	106.078	75.166	2.35	0	335.458
7	4.49	161.337	70.048	0	3.836	0	235.221
8	9.82	133.282	76.551	53.557	1.474	0	264.864
9	9.21	267.556	42.312	20.804	0.718	0	331.39
10	4.83	208.856	91.298	1.041	13.917	0	315.112
12	14.95	262.959	204.575	0	0.049	0	467.583
13	3.75	392.86	30.969	0	0	0	423.829
15	12.64	312.745	49.812	1.286	0	0	363.843
18	5.51	264.245	26.725	5.689	0	0	296.659
19	10.82	182.954	251.01	0.177	0	0	434.141
TOTAL	149.47						

Fuente: (Quiroz, 2013).



Figura 5. Predio de Cebati.



Fuente: (Quiroz, 2013), modificado para indicar los puntos de muestreo

3.2. Método de muestreo

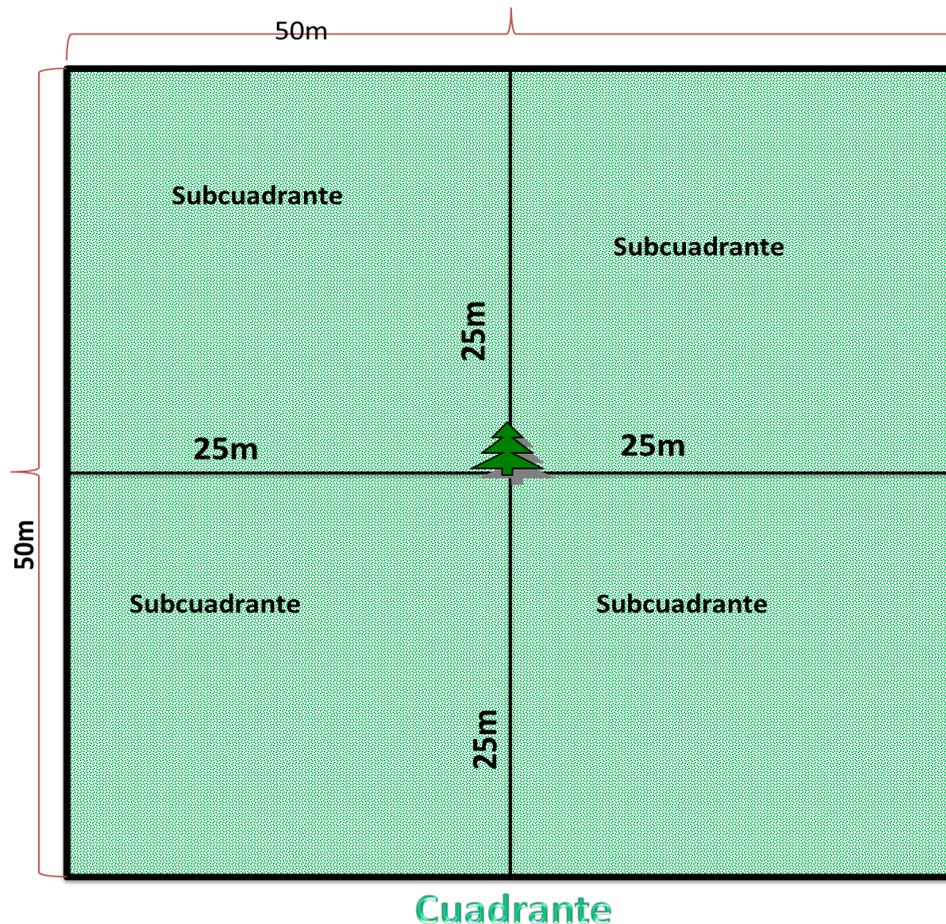
Mediante la implementación de un diseño de muestreo jerárquico – anidado se estimaron los almacenes de carbono (C) en el estrato aéreo en rodales de diferente composición de especies arbóreas dentro del predio Cebatí, San José del Rincón. Se entiende que la biomasa aérea es: estrato arbóreo, estrato herbáceo- arbustivo y mantillo.

Para evaluar el contenido de los diferentes componentes de la biomasa aérea total se usó un diseño de muestreo jerárquico anidado (Hughes et al., 1999; Jaramillo et al., 2003). Para cuantificar los almacenes de carbono en la parte aérea del estrato arbóreo se delimito un cuadrante con lazos de color blanco para una mayor visibilidad. Se seleccionó un árbol de cualquier especie que sirvió como referencia y con la ayuda de una brújula se empezaron a trazar 4 subcuadrantes de 25m x 25m c/u para formar finalmente un cuadrante de 50m x 50m (2500m²). Los subcuadrantes fueron numerados de acuerdo a las manecillas del reloj. A cada cuadrante se le asignó una clave, para este caso fue BA (1, 2, 3 o 4, respectivamente). (Ver figura 6)



Imagen 1. Muestreo jerárquico-anidado

Figura 6. Delimitación de cuadrantes



Fuente: elaboración propia

Cuando se terminó de delimitar el cuadrante se empezó a medir con una cinta métrica el diámetro a la altura del pecho (DAP, 1.3 m) de todos los árboles vivos y muertos con DAP >5 cm que se encontraban dentro de cada subcuadrante. También se tomaron en cuenta los árboles del subdosel con altura mayor a 1.3 m, pero con DAP inferior a los 7.5 cm. Los árboles eran marcados con pintura o gises de color para evitar que se contaran dos o más veces. Dentro del proceso de contabilizar y medir los árboles también se identificaba la especie y la información se registraba en unos formatos (ver anexo 1). Para los tocones y árboles muertos con DAP >10cm se les midió su diámetro y largo de cada uno de ellos y de igual



forma se registró en el formato (algunos tenían mayor altura y no se podían medir con la cinta por lo que solo se anotaba un aproximado).

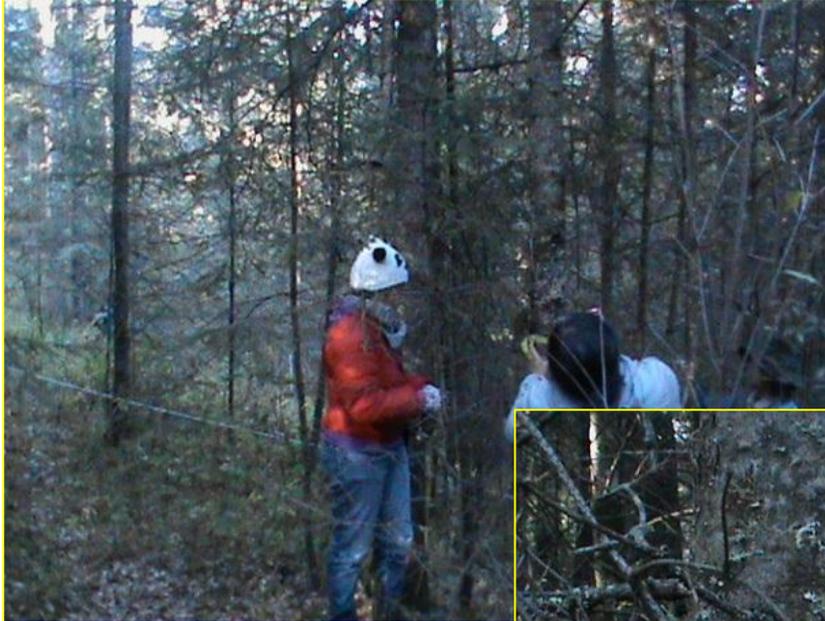


Imagen 2. Medición de árboles

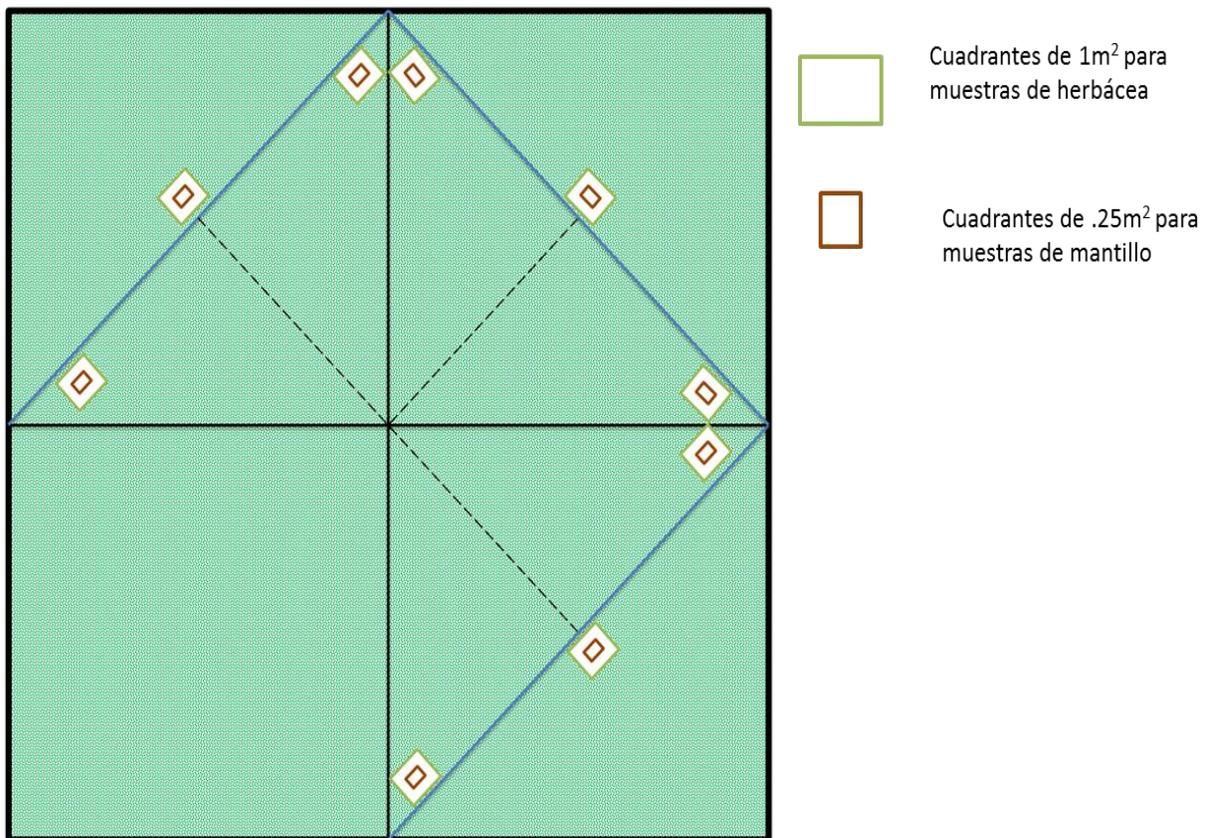


Imagen 3. Individuos muestreados

Una vez que se terminaron de medir y registrar todos los árboles que se encontraban dentro del cuadrante principal se trazaron pequeños cuadros en 3 de los 4 subcuadrantes para cuantificar la biomasa en herbáceas, arbustos y mantillo. Con ayuda del árbol que se había tomado como referencia para trazar los subcuadrantes se trazó una línea con lazos de color azul de 20m hacia el centro, de ahí se jaló el lazo y se midieron 12.5m a la derecha y 12.5m a la izquierda, con ayuda de estacas se amarraron los lazos (**ver figura 7**). Posteriormente en cada

lazo se establecieron cuadros de 1m x 1m (n=9 por conglomerado) donde se recolectaron muestras de herbáceas y arbustos que se colocaron en bolsas de plásticos etiquetadas con la clave correspondiente. Tomando como referencia el centro del cuadro de 1m² se establecieron cuadros de .25m² (n=9 por conglomerado) donde se recolectaron muestras de mantillo y se depositaron en bolsas de plástico etiquetadas.

Figura 7. Recolección de muestras de herbácea y mantillo



Fuente: Elaboración propia

Para obtener la biomasa del estrato arbustivo y herbáceo se colectó todo el material encontrado a ras de suelo y sólo se incluyó la vegetación perteneciente al cuadro con diámetro menor a 2.5 cm, no se tomaron en cuenta aquellos individuos que emergían de puntos aledaños pero fuera de él. Lo mismo se hizo para obtener la biomasa del mantillo, se colectó todo el material que incluía hojarasca, material

suelto, hojas muertas, flores, frutos, semillas, trozos de corteza y madera muerta con menos de 2.5 cm de diámetro.



Imagen 4. Recolección de muestras de herbáceas



Imagen 5. Recolección de muestras de mantillo

Las claves que se les asignaron en campo a las muestras fueron de acuerdo a la información que se tenía y de acuerdo a los componentes de la naturaleza.

Dónde:

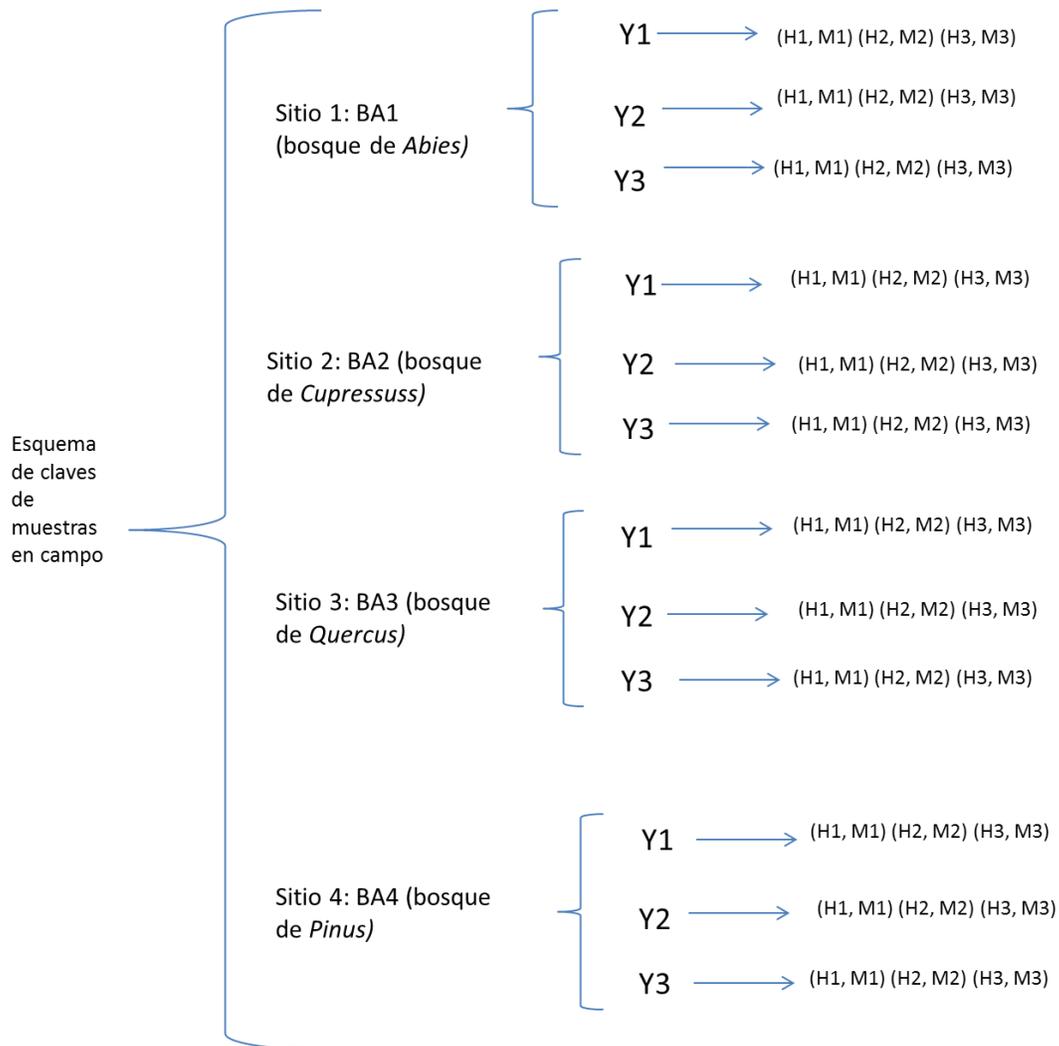
BA=sitio

Y= número de subcuadrante en base a las manecillas del reloj

H=herbáceas

M=mantillo

Figura 8 Claves para muestras en campo



Fuente: Elaboración propia

Una vez concluido el trabajo en campo, todas las muestras de herbácea y de mantillo se trasladaron al Laboratorio de Ciencias Ambientales, en donde al ingresarlas se registraron en una libreta que el laboratorio maneja y en la cual se les asigna una clave específica para su manejo dentro del mismo. Después, las muestras de herbácea se pesaron en la báscula estando húmedas y se registraron los datos en la libreta. Se siguió el mismo procedimiento con las muestras húmedas de mantillo.

Posteriormente, se seleccionaron algunas muestras representativas de ambas (herbáceas y mantillo) que se colocaron en bolsas de papel para meterlas en estufa a 80° C por 72 horas.



Imagen 6. Muestras dentro de las estufas

Una vez secas estas muestras se sacaron de las estufas, se volvieron a pesar y se anotaron nuevamente en la libreta de muestras del laboratorio junto con el dato de peso en húmedo. Este dato sirvió para calcular el porcentaje del peso seco.



Imagen 8 Bolsas de papel que contienen muestras secas



Imagen 7 Pesado de muestras secas



El trabajo de gabinete consistió en registrar en una base de datos en Excel elaborada por Álvarez (2013), toda la información obtenida en campo: datos de los árboles tanto vivos como muertos junto con los datos del peso húmedo y seco de las muestras de herbácea y mantillo obtenidos en el laboratorio. En esta base ya se contenían fórmulas que permitían obtener la circunferencia de los arboles vivos y el área basal promedio de cada sitio (**Ver anexo 2**), datos que posteriormente nos servirían para utilizarlos en otra base, también se ordenaron los arboles de menor a mayor diámetro. A las muestras de herbáceas y mantillo se les obtuvo el porcentaje de humedad.

Características dasométricas (Densidad arbórea)

Dentro de un sistema forestal la densidad arbórea es una característica fundamental que hay que considerar, ya que a partir de esto se identifica el proceso de desarrollo de los árboles. Es preciso mencionar que la densidad arbórea es la relación del número de individuos en una hectárea. Es decir, un sistema forestal debe tener un número específico de plantas por hectárea debidamente distribuidas para considerarse como una regeneración natural adecuada. Además, la distribución adecuada de estos individuos les permite tener mayor capacidad para obtener nutrientes, retención de agua y la posibilidad de que los rayos del sol tengan mayor incidencia sobre ellos, que no exista una fuerte competencia para obtener estos recursos.

Para el presente estudio se estimó el número de individuos que pueden existir en una hectárea en el predio. Una vez medidos, contados y registrados los individuos, se procedió a meter la información obtenida en una base de datos, ahí se ordenaron a los árboles de menor a mayor diámetro para identificar en qué etapa de desarrollo se encontraban la mayoría de estos, además se contaba con fórmulas que permitieron calcular la densidad arbórea promedio y el porcentaje de densidad.



Biomasa y contenido de carbono en el estrato arbóreo

Para obtener esta información se ocupó el dato del diámetro normal obtenido en campo de los árboles vivos y las siguientes ecuaciones alométricas:

Abies religiosa;

$$B = 0.0754 \cdot DN^{2.513} \text{ (Avendaño, 2009)}$$

Pinus pseudostrobus;

$$B = 0.0948 \cdot DN^{2.4079} \text{ (Ayala, 2001)}$$

Quercus rugosa;

$$B = 0.0345 \cdot DN^{2.933} \text{ (Gómez Díaz, 2011)}$$

Cupressus lindleyi;

$$B = 0.5266 \cdot DN^{1.1765}$$

Alnus sp:

$$B = 0.11765 \cdot DN^{2.23} \text{ (Acosta et al., 2002)}$$

Dónde:

B = biomasa (kg)

DN = diámetro normal (cm)

Para determinar el contenido de carbono se multiplico la biomasa obtenida con el factor de conversion de acuerdo a la especie como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Factores de conversión

Clave	Especie	c%
5	<i>Alnus</i>	0.5
4	<i>Cupressus</i>	0.49
3	<i>Quercus</i>	0.49
2	<i>Pinus</i>	0.5
1	<i>Abies</i>	0.465

Fuente: elaboración propia



En el caso de los pinos y de la especie *Alnus*, la cantidad de C se obtuvo multiplicando la biomasa por el factor 0.5, el cual significa que el 50% de la biomasa del árbol es C. Con la sumatoria de la cantidad de C de los árboles presentes en un sitio, se estimó el total de C en una hectárea.

-Nota: el AB es directamente proporcional a la cantidad de C del estrato arbóreo que tiene un rodal, ya que al aumentar el área basal, aumenta también la cantidad de éste. Dicho comportamiento se debe a que, para estimar la biomasa de los árboles, por lo general se utiliza una ecuación en la cual la variable independiente es el DN y el AB de un rodal está en función de la suma de las áreas basales individuales que proyecta cada árbol dentro del rodal, mismas que se obtiene midiendo el DN de cada árbol.

En sí, el AB es un indicador de la densidad y mientras mayor densidad muestre un rodal, más se incrementa su cantidad de biomasa y C.

Biomasa y contenido de carbono en el estrato herbáceo y en mantillo

Para determinar el peso de la biomasa del material colectado en campo, se realizó, como se mencionó anteriormente, un secado en las estufas hasta alcanzar un peso constante; pues una décima parte de dicho elemento es humedad. Su contenido de C se determinó a partir del 50% de su biomasa (Acosta- Mireles *et al.*, 2002).

Raíces

Masera *et al.* (2000) proponen calcular el contenido de biomasa en raíces como un porcentaje de la biomasa aérea. Comúnmente la biomasa de las raíces también es expresada en relación con la biomasa aérea, como el radio raíz-tallo. Para calcular el contenido de carbono se utilizó un factor teórico.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. Descripción física de los 4 sitios del predio particular “Cebati”

-Descripción física del sitio 1

Sitio: Bosque de *Abies religiosa* (BA1)

Coordenadas: X=370, 964 Y=2, 176,242

No. De Rodal: 13

Fecha de muestreo: 10-01-2013

Las características físicas corresponden a un bosque en buenas condiciones, con pendiente suave y su uso es netamente forestal. Se observó que presenta una cobertura arbustiva y herbácea en un 70% del suelo y la cobertura vegetal en un



Imagen 9 Vegetación dominante

a este rodal le tocara que se corten algunos individuos para su venta.



Imagen 10 Bosque de *Abies religiosa*

80%. La vegetación que predomina es *Abies Religiosa*. El sitio mostraba poca perturbación debido a que existen pequeños caminos en donde pasan los camiones que llevan la madera. También se encontró material leñoso sobre el suelo. En este año

-Descripción física del sitio 2

Sitio: Bosque de *Cupressus lindleyi* (BA2)

Coordenadas: X=371,461 Y=2, 177,288

No. de rodal: 5

Fecha de muestro: 26/06/2013

Las condiciones físicas se encontraban en estado regular, se observó una fuerte perturbación, mostraba varios claros y árboles talados. También se encontraron residuos de vidrio sobre el suelo lo que representaba peligro porque podía

ocasionar incendios. La pendiente es regular. El porcentaje de cobertura vegetal estaba entre un 60 y 75%, mientras el estrato arbustivo en un 80%. El bosque a pesar de que el inventario lo marca con predominio de la especie *Cupressuss*, era un bosque mixto. Se encontró presencia de



Imagen 11 Bosque de *Cupressuss*

musgo en algunas partes del cuadrante de muestreo.



Imagen 12 Equipo de trabajo



-Descripción física del sitio 3

Sitio: Bosque de *Quercus rugosa* (BA3)

Coordenadas: X=371, 581 Y=2, 176,678

No. de rodal: 10

Fecha de muestro: 11/01/2013

Las características con las que cuenta este sitio es que tiene una pendiente suave, tiene una cobertura arbustiva en su totalidad y una cantidad considerable de

mantillo. Se observaron árboles de mayor tamaño y altura pero también individuos muy jóvenes que se encontraban muy cerca unos de otros, lo que significa que existe una fuerte competencia por nutrientes, agua y luz solar y esto ocasionara que algunos de ellos no se adapten a estas condiciones y mueren en poco



Imagen 13 Especie de encino

tiempo. La última etapa de corta fue en el año 2010, es por eso que se observaban pequeños claros. Los árboles se encontraban unos de otros.



Imagen 14 Individuos maduros



-Descripción física del sitio 4

Sitio: Bosque de *Pinus pseudostrabus* BA4

Coordenadas: X=371251 Y=2176602

No. de rodal: 12

Fecha de muestro: 11/01/2013

Este sitio cuenta con una pendiente regular. Mediante la asistencia en campo se

observó que la cobertura arbórea representa un 60%. El Programa Forestal de Manejo del predio menciona que el último año de corta fue en el año 2012 por lo que se justifica la existencia de pocos árboles pero de gran tamaño. Se observaron también varios claros. La cobertura del suelo representa

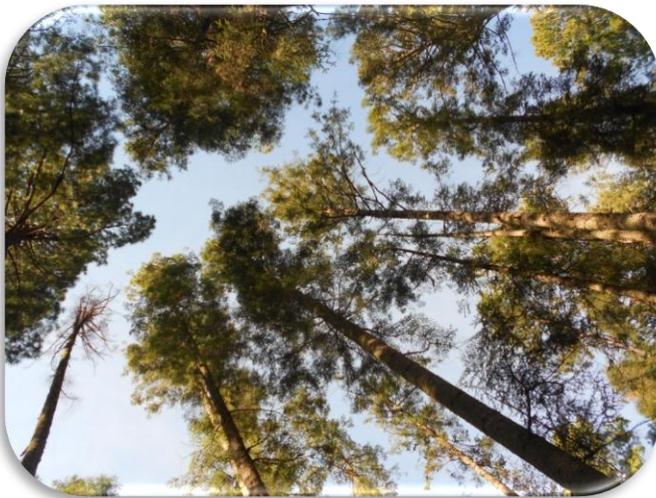


Imagen 15 Sitio BA4

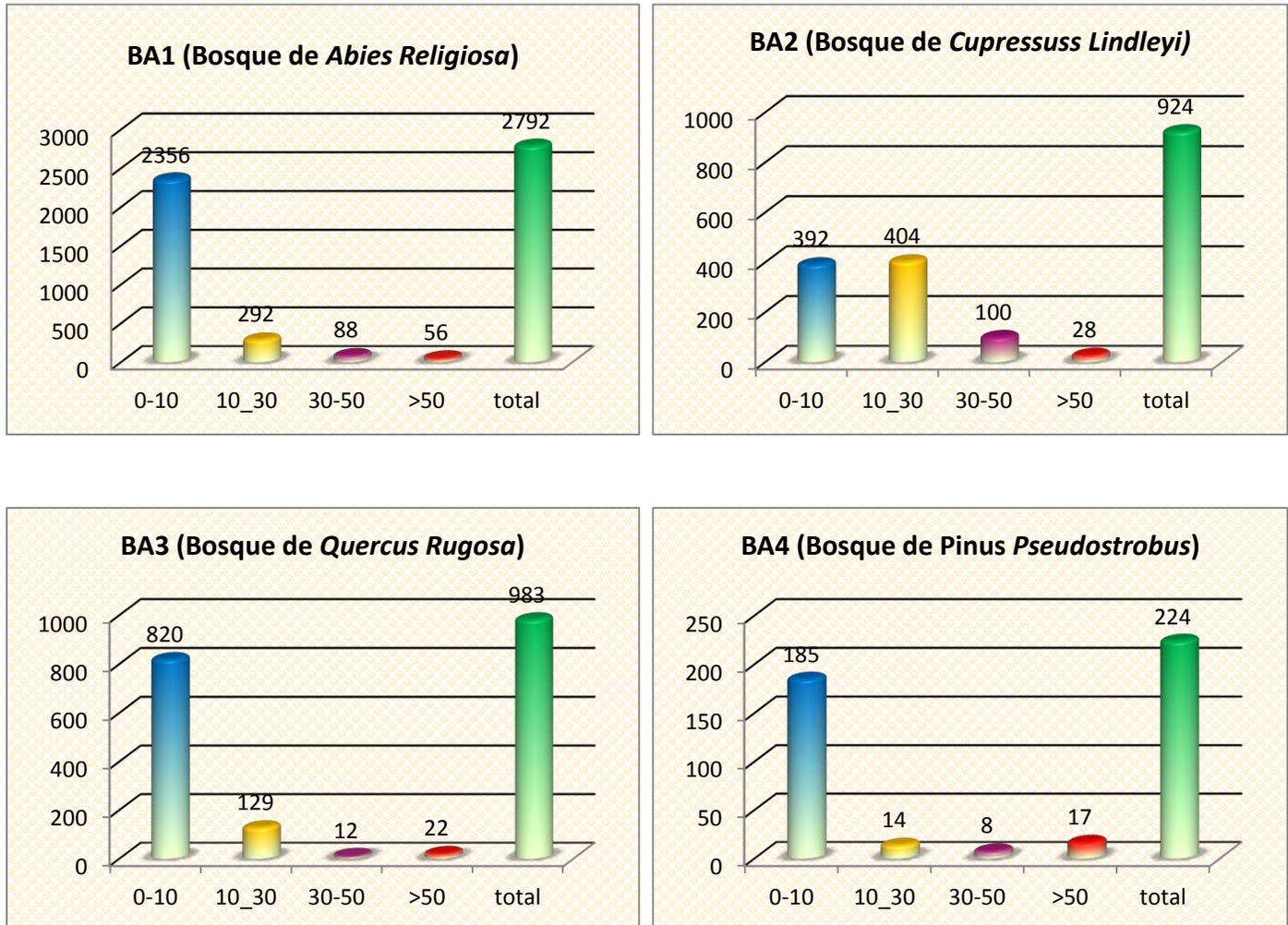
un 80% en su mayoría cubierta por herbáceas y arbustos.



Imagen 16 Inventario de árboles



4.2. Características dasométricas de los 4 sitios muestreados



Graficas 1. Densidad arbórea en los 4 sitios del predio. En el eje X se muestran las clases de diámetro que se tomaron en cuenta (0-10cm, 10-30cm, 30-50cm y >50cm) y en el eje Y se muestra la densidad arbórea (Núm. individuos * Ha) de cada sitio muestreado.

En el predio particular “Cebati” se determinó que: en 3 de los 4 sitios (BA1, BA3 y BA4) la densidad arbórea presento un dominio en el rango de 0-10 cm con 2356, 820 y 185 respectivamente. En el caso del sitio BA2 la clase diamétrica que predominó fue la de 10-30cm con 404 individuos por hectárea.

En el siguiente cuadro se muestran más detalladamente los resultados de las estimaciones obtenidas en el tema de densidad arbórea promedio para cada sitio muestreado:



Cuadro 8 Densidad arbórea promedio, clases diamétricas, área basal y especie dominante de cada sitio muestreado.

Sitio	Árboles (Ha)				Total individuos (Ha)	Área basal (m ² /ha)	Especie dominante en base a muestreo de campo
	0-10	10-30	30-50	>50			
BA1 (<i>Abies Religiosa</i>)	2356	292	88	56	2792	36.59	<i>Abies Religiosa</i>
DS	±1622	±125	±40	±28			
%	84%	10%	3%	2%			
BA2 (<i>Cupressuss Lindleyi</i>)	392	404	100	28	924	32.64	<i>Abies Religiosa</i>
DS	±88	±132	±46	±27			
%	42%	44%	11%	3%			
BA3 (<i>Quercus Rugosa</i>)	820	129	12	22	983	12.31	<i>Abies Religiosa</i>
DS	±535	±31	±7	±7			
%	83%	13%	1%	2%			
BA4 (<i>Pinus pseudostrobus</i>)	185	14	8	17	224	8.43	<i>Quercus Rugosa</i>
DS	±102	±15	±7	±7			
%	83%	6%	4%	8%			

Fuente: elaboración propia. DS=desviación estándar

El sitio que presento mayor número de individuos en una hectárea es el BA1 (*Abies Religiosa*) con 2792, la mayoría de ellos son individuos menores a los 10cm de diámetro, esto indica que el sitio está en proceso de regeneración. En este sitio la especie que domina es *Abies Religiosa* y es el sitio que cuenta con una mayor área basal.

4.3. Almacenes de carbono en biomasa

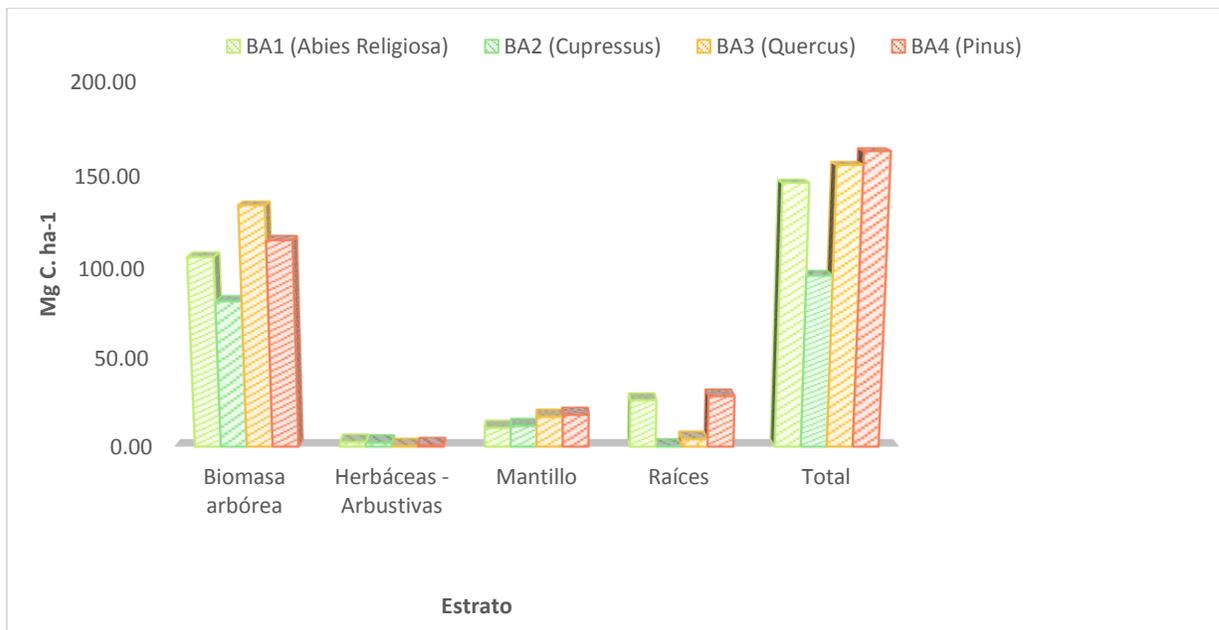
Después de calcular la densidad arbórea de cada sitio, se procedió a determinar los valores de carbono de cada uno de estos, como se mencionó anteriormente en la metodología, se utilizaron las ecuaciones alométricas correspondientes a cada especie arbórea para determinar biomasa y posteriormente con el factor de conversión estimar el almacén de carbono de cada sitio.

El carbono almacenado en la biomasa aérea (árboles, hierbas/arbustos, mantillo y raíces) de los 4 sitios muestreados se muestran en la siguiente grafica (**Ver grafica 2**). Donde se observa que el sitio que almaceno mayor carbono fue el BA4



con 163.09 Mg C. ha⁻¹ y el que menor almaceno fue el sitio BA2 con solo 96.01 Mg C. ha⁻¹

Grafica 2 Almacén de carbono en biomasa aérea dentro del predio particular “Cebati”



De forma detallada se muestra en el siguiente cuadro (**ver cuadro 9**) donde se le adiciona además, el dato de carbono almacenado en el suelo (Quiroz, 2013) para obtener el carbono total almacenado.

Cuadro 9 Almacén total de carbono

Sitio	Contenido de carbono						Almacén total de carbono
	Mg C. ha ⁻¹						
	Árboles	Hierbas/arbustos	Mantillo	Raíces	Total aéreo	Suelo	
BA1	106.23	2.62	10.69	26.56	146.09	138.493	284.583
DS	±37.14	±2.14	±4.82				
BA2	81.97	2.21	11.82	0	96.01	172.776	268.786
DS	±29.24	±1.91	±10.83				
BA3	134.13	0.22	17.09	4.27	155.71	196.367	352.077
DS	±4.83	±0.1	±9.63				
BA4	115.31	0.71	18.24	28.83	163.09	141.501	304.591
DS	±13.24	±0.58	±7.4				

Fuente: elaboración propia. DS=desviación estándar



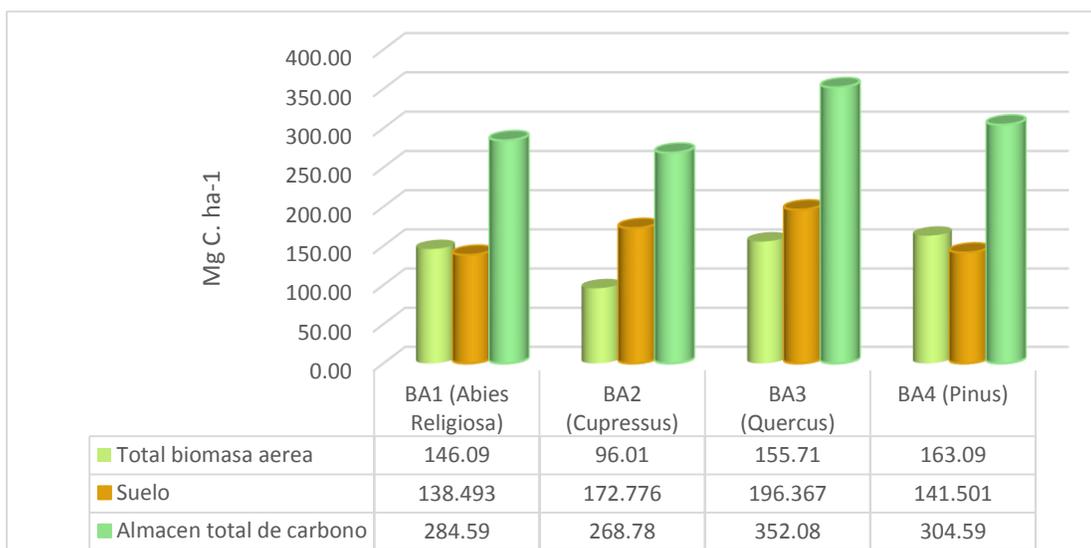
El estrato arbóreo es el componente de la parte aérea que almacena mayor carbono, la especie de Encino fue el que almaceno mayor carbono con 134.13 Mg C. ha⁻¹ y la especie Cedro fue el que menor almaceno con 81.97 Mg C. ha⁻¹

La cantidad de Carbono almacenado en el componente hierbas/arbustos vario entre cada sitio. En el sitio BA3 y BA4 el carbono no rebaso el 1 Mg C. ha⁻¹. El sitio que presento mayor cantidad de carbono almacenado en este componente fue el sitio BA1 con 2.62 Mg C. ha⁻¹.

En el sitio BA4 el mantillo almaceno 18.24 Mg C. ha⁻¹ y en el sitio BA1 solo 10.69 Mg C. ha⁻¹. En lo que respecta a las raíces, donde se almaceno mayor cantidad de carbono en este componente fue en el sitio BA4 con 28.83 Mg C. ha⁻¹ y se encontró que en el sitio BA2 el almacén de carbono fue nulo.

El componente suelo es uno de los componentes que almacena mayor carbono y de los resultados que se obtuvieron en la tesis anterior (Quiroz, 2013), en primer lugar se encuentra el Bosque de Encino con 196.367 Mg C. ha⁻¹ y el suelo que menor almaceno fue el de la especie *Abies* con solo 138.493 Mg C. ha⁻¹.

Grafica 3 Almacenes de carbono del predio particular “Cebati”



Fuente: elaboración propia



Se muestra que de los cuatro sitios muestreados en el área de estudio, el sitio que presento mayor contenido de carbono fue el BA3 (Bosque de encino) con 352.077 Mg C. ha⁻¹; de este total 134.13 Mg C. ha⁻¹ se encontró en el estrato arbóreo (**Ver Grafica 3.**). El sitio que presento menor cantidad de Carbono fue el BA2 (Bosque de Cedro) con 268.786 Mg C. ha⁻¹, en el que cada uno de sus componentes es relativamente bajo y como evidencia se muestra que las raíces no aportaron nada.



4.4. Discusión de resultados

El predio particular Cebatí ubicado en San José del Rincón, Edo. de México, presenta varios rodales con diferente estructura y predominancia de especies. Los rodales que se tomaron en cuenta para el presente estudio fueron 4 que de acuerdo al Programa de Manejo Forestal (López, 2005)) en cada uno de ellos se presenta una especie dominante diferente; en uno de ellos domina la especie *Abies Religiosa*, en otro la especie *Cupressuss lindleyi*, en otro *Quercus rugosa* y en el último sitio domina la especie *Pinus pseudostrabus*. Sin embargo, una de las actividades que se llevan a cabo dentro del predio es el aprovechamiento forestal maderable, el cual consiste en aplicar cortas de selección individual y en grupo en los sitios en diferentes periodos de tiempo, por lo que al realizar el trabajo de campo se presentó una variación importante en estos datos, lo que ocasiono que se desechara a la especie como una variable para el análisis de estos 4 sitios tomados en cuenta para el presente estudio. Los resultados muestran que el aprovechamiento forestal modifica la diversidad y composición del estrato arbóreo, generando así que el género *Abies religiosa* fuera el de mayor dominancia en tres de estos cuatro sitios.

El valor del carbono almacenado en la biomasa aérea en el sitio BA1 representado por la especie *Abies Religiosa* se ubica dentro de los valores registrados en otros estudios de la misma especie (Cuadro 10). Este valor de 146 Mg C. ha⁻¹ obtenido en el predio Cebati fue superior al reportado por Rovelo (2010). Esta variabilidad de resultados se presenta probablemente por las condiciones físico-biológicas de los diferentes espacios muestreados, el régimen de propiedad, diversos problemas ambientales, entre otros.

Cuadro 10. Almacenes de carbono en *A. Religiosa*.

Tipo de vegetación	Carbono almacenado Mg C. Ha ⁻¹	Fuente
<i>Abies Religiosa</i>	163.62	Franco, 2009
	225	Nabuurs y Morhen, 1993
	88.5	Rovelo, 2010
	156.23	García, 2011

Fuente: Rovelo, 2010



El sitio BA4 del predio Cebatí que presento dominancia de la especie *Quercus rugosa* tuvo un almacén de carbono en biomasa aérea de 163.09 Mg C ha⁻¹, este resultado difiere del obtenido por Rodríguez (2009) ya que en su estudio el valor obtenido fue inferior, 110 Mg C. ha⁻¹, esta diferencia de resultados se debió principalmente a la intensidad de muestreo, el método y las ecuaciones alométricas que se utilizaron respecto al presente estudio. En otros estudios que involucran a la especie *Quercus* demuestran que el resultado obtenido en este trabajo es superior al encontrado por Navia y Velarde (2002) en su estudio realizado para un bosque templado de Uruapan, Michoacán con tan solo 79 Mg C. Ha⁻¹.

Cuadro 11. Estimaciones de carbono en diferentes especies.

Vegetación	Biomasa Mg C/Ha	Herbáceas	Mantillo	Raíces	Suelo Mg C/Ha	Total Mg C/Ha	Fuente
Bosque de <i>Quercus Rugosa</i>	137.3	4.6	5.8	17.8	65.6	230.8	Gómez Díaz, 2008
	53.0				100	153.0	Masera, 1997
	112.8	0.6	3.2	28.6	116	261.2	Ordoñez et al, 2008
	30	0	7.6	14.1	35.1	186.8	Acosta et al, 2001
Bosque de <i>Pinus</i>	120			25.7	172.6	318.3	De Jong, 1999
	100.5	0.3	3.0	26.0	93.1	222.9	Masera, 1997
	120				156	276	De Jong et al, 1995
	74				94	168	Ordoñez et al, 2001

Fuente: Orozco y Mireles, 2014

Para almacenes de carbono que tomaron en cuenta los componentes biomasa aérea- suelo, se encontraron algunos estudios que se muestran en la tabla de arriba. Algunos se aplican para la especie *Quercus rugosa*, que en el presente estudio esta especie domino en el sitio BA4, Gómez (2008) obtuvo un almacén de

carbono de 230 Mg C. Ha⁻¹, que si lo comparamos el resultado es inferior al obtenido en este trabajo.

Es importante mencionar que para la especie *Cupressuss lindleyi* no se encontraron estudios anteriores que nos permitan comparar y abrir un panorama de la capacidad de almacenamiento de carbono en esta especie.

Figura 9. Almacenes de Carbono en el predio Cebati

Sitio	BA1 (<i>Abies religiosa</i>)	BA2 (<i>Cupressuss Lindleyi</i>)	BA3 (<i>Quercus rugosa</i>)	BA4 (<i>Pinus pseudostrabus</i>)																																
	 Almacén de carbono en biomasa 146.09 Mg C. ha ⁻¹	 96.01 Mg C. ha ⁻¹	 155.71 Mg C. ha ⁻¹	 163.09 Mg C. ha ⁻¹																																
Almacén de carbono en suelo	138.493 Mg C. ha ⁻¹	172.776 Mg C. ha ⁻¹	196.367 Mg C. ha ⁻¹	141.501 Mg C. ha ⁻¹																																
Densidad arbórea núm.. (ind./Ha)	2792	924	983	224																																
	<table border="1"> <tr> <th>0-10cm</th> <th>10-30cm</th> <th>30-50cm</th> <th>>50cm</th> </tr> <tr> <td>84%</td> <td>10%</td> <td>3%</td> <td>2%</td> </tr> </table>	0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm	84%	10%	3%	2%	<table border="1"> <tr> <th>0-10cm</th> <th>10-30cm</th> <th>30-50cm</th> <th>>50cm</th> </tr> <tr> <td>42%</td> <td>44%</td> <td>11%</td> <td>3%</td> </tr> </table>	0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm	42%	44%	11%	3%	<table border="1"> <tr> <th>0-10cm</th> <th>10-30cm</th> <th>30-50cm</th> <th>>50cm</th> </tr> <tr> <td>83%</td> <td>13%</td> <td>1%</td> <td>2%</td> </tr> </table>	0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm	83%	13%	1%	2%	<table border="1"> <tr> <th>0-10cm</th> <th>10-30cm</th> <th>30-50cm</th> <th>>50cm</th> </tr> <tr> <td>83%</td> <td>6%</td> <td>4%</td> <td>8%</td> </tr> </table>	0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm	83%	6%	4%	8%
0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm																																	
84%	10%	3%	2%																																	
0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm																																	
42%	44%	11%	3%																																	
0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm																																	
83%	13%	1%	2%																																	
0-10cm	10-30cm	30-50cm	>50cm																																	
83%	6%	4%	8%																																	

Fuente: elaboración propia en base a trabajo de campo

La suma de los diferentes estratos (arbóreo, herbáceo-arbustivo, mantillo, raíces y suelo) permitió que el sitio BA3 fuera el que presentara el mayor almacén de carbono con 352 Mg C. ha⁻¹ respecto a los demás sitios muestreados dentro del predio (Ver figura 9) y también con respecto a Ordoñez *et al* (2008) quien obtuvo un almacén total de 261.2 Mg C. ha⁻¹. Los resultados que obtuvo De Jong (1999), se aproximan al obtenido en este trabajo, ya que sus resultados indican que se almaceno 318.3 Mg C. ha⁻¹.



Esta capacidad de almacenamiento de carbono que cada ecosistema forestal templado depende de ciertas características como lo son el clima, especie, edad, calidad del sitio, fertilización, posición sobre la pendiente, elevación, exposición al sol, densidad del rodal, sistema silvícola aplicado, región geográfica, variación genética, año de muestreo, contaminación atmosférica y cambios estacionales, entre otros. (Maser *et al*, 2000). Algunas de estas características influyeron en los cuatros sitios muestreados ubicados en el mismo predio en este estudio, entre ellos la densidad arbórea que toma como variable el diámetro de cada individuo inventariado.

Cada árbol existente en los ecosistemas forestales tiene un diámetro diferente a los demás, es por ello que se agrupan en diferentes clases diamétricas. Esta característica influye en la capacidad de almacenamiento de carbono de cada sitio. Los arboles jóvenes que se encuentran en la clase diamétrica de 10-50 cm tienen una mayor capacidad de absorber este GEI. Si el árbol es mayor a 50cm, dependiendo de la especie, puede que esté pasando a un estado maduro lo que representaría una capacidad de almacenar carbono que va en decremento. Dentro del predio Cebatí se encontraron mayor cantidad de árboles que van de 0-30cm de diámetro, lo que indica que es un ecosistema en etapa de renegación y crecimiento con demasiados arboles jóvenes, esto también puede representar un problema para el predio ya que nos indica que la competencia de factores tales como luz, nutrimentos y agua es elevada y propicia que algunos individuos mueran en su proceso de crecimiento. La presente investigación concuerda con Rovelo (2010), quien afirma que los arboles jóvenes tienen una capacidad de almacenamiento mayor que los arboles maduros. García (2011) también muestra en su estudio que la mayoría de los individuos muestreados se encontraban en un rango de 7.5-17.4 cm, lo que indica que el bosque está en una etapa de recuperación. La especie que presento un mayor número de individuos en el predio Cebatí en un rango de 0-10 cm fue *Abies Religiosa* (sitio BA1). Aunque también Raghavendra (1998) nos menciona que a mayor diámetro la capacidad de almacenar carbono de un árbol tiende a aumentar por la acumulación de



compuestos orgánicos durante su crecimiento producto de la fotosíntesis y la lignificación de la madera del tronco. En su estudio Rodríguez (2009) concluyó que el bosque de pino-encino es de selección, es decir, que concentra el mayor número de individuos en las categorías diamétricas de 5 a 25 cm (más del 90%) y entonces lo define como un bosque con alto dinamismo y con capacidad prometedora para almacenar cantidades considerables de carbono atmosférico.

(Tipper, 1998; Ordóñez, 1999; Husch, 2001; Valenzuela, 2001, citados en Rodríguez, 2009) dicen que bajo el supuesto que los bosques con alta tasa de crecimiento y desarrollo hacen más efectivo el proceso de la fotosíntesis al capturar el CO₂ de la atmósfera y fijándolo como C en sus componentes (fuste, ramas, hojas, corteza, raíces) además, liberando oxígeno hacia la atmósfera, el bosque bajo estudio juega un papel muy importante en la captura de C de la atmósfera ya que tiene más del 90% de los individuos por hectárea en las categorías de 5 hasta 25 cm, aunque la cifra se reduce considerablemente en las categorías diamétricas de 30 en adelante con menos del 10% de ind ha⁻¹.

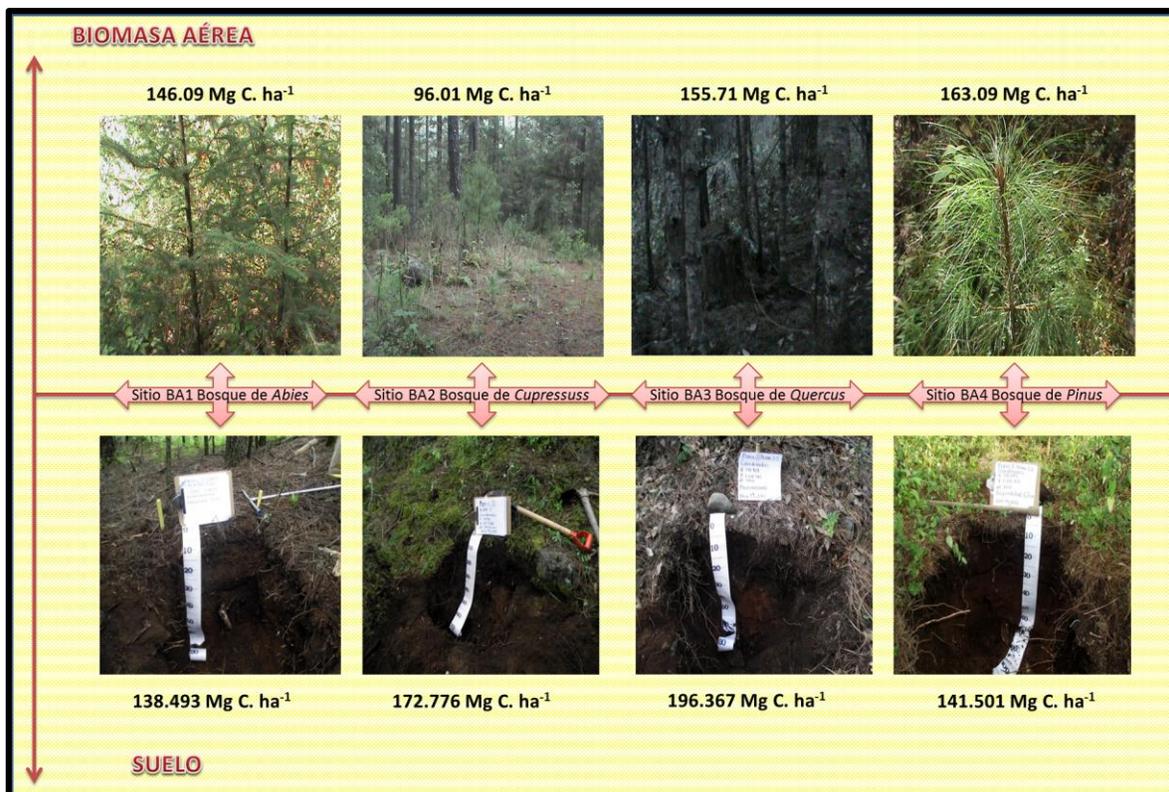
A pesar de que el sitio 1 (Bosque de *Abies*) presentó el mayor número de individuos por hectárea y su promedio del área basal fue el más alto comparado a los otros sitios, fue el tercero que almacena mayor carbono con 146.09 Mg C ha⁻¹, y esto se debió a que hay demasiados renuevos que van de los 0 a los 10cm de diámetro lo que ocasiona una fuerte competencia por nutrientes, agua y luz y a su vez provoca que estos individuos no se desarrollen de forma adecuada. Para Acosta (2009) una variable que puede ser un buen indicador del contenido de C por rodal, es el AB, ya que el AB es directamente proporcional a la cantidad de C del estrato arbóreo que tiene un rodal, ya que al aumentar el área basal, aumenta también la cantidad de éste. Dicho comportamiento se debe a que, para estimar la biomasa de los árboles, por lo general se utiliza una ecuación en la cual la variable independiente es el DN y el AB de un rodal está en función de la suma de las áreas basales individuales que proyecta cada árbol dentro del rodal, mismas que se obtiene midiendo el DN de cada árbol. En sí, el AB es un indicador de la

densidad y mientras mayor densidad muestre un rodal, más se incrementa su cantidad de biomasa y C.

Otro factor importante que hace que los almacenes de carbono difieran aunque estén ubicados dentro del mismo predio es la relación suelo-vegetación. De acuerdo a Segura *et al* (2005) el tipo de vegetación es un factor determinante en las evaluaciones de carbono orgánico de los suelos, es decir, el contenido cambia con el tipo de vegetación, el tipo de material parental, los factores topográficos del área, así como el tipo de árbol y su edad.

La cantidad de carbono almacenado en el suelo difiere en cuanto a los resultados del carbono almacenado en biomasa aérea, como se observa en la siguiente figura (**ver figura 10**). En cuestión de almacenes de carbono en suelo, el sitio BA3 fue el que mayor almaceno con $196.367 \text{ Mg C. ha}^{-1}$, donde de acuerdo a Quiroz (2013) el carbono almacenado es más representativo en los primeros 20cm.

Figura 10. Relación de los almacenes de carbono: biomasa aérea-suelo



Fuente: elaboración propia en base a trabajo de campo



La pendiente también juega un papel importante ya que el lavado del material vegetal, mantillo e incluso suelo no es el mismo en una pendiente suave que para una pendiente abrupta. En este caso, los sitios BA2, BA3 y BA4 tienen una pendiente suave y el único que presenta una pendiente regular es el sitio BA1 lo que puede significar su bajo almacén de carbono. La incidencia solar es obstaculizada por árboles de mayor tamaño y a veces los rayos no llegan con mayor intensidad al suelo y esto ocasiona que el material vegetal tenga una descomposición lenta y por eso el carbono se encuentre almacenado por más tiempo. El almacén de carbono en mantillo puede variar en cada región de acuerdo a sus características físico-geográficas pero no lo es tan significativo en cada sitio dentro del predio. Cuando la cantidad del mantillo es relativamente alta, representa un riesgo para la generación de incendios y por lo tanto, para la emisión de CO₂.

De acuerdo a estudios anteriores muestran que un ecosistema forestal bajo manejo adecuado indica que su capacidad de almacenamiento será alta, si se siguen las actividades de mantenimiento como lo indica el Programa de Manejo dirigido al ecosistema, el bosque tendrá capacidad de almacenar mayor carbono que otros bosques perturbados o sin manejo.

Como se mencionó anteriormente, el predio ha sido sujeto a manejo desde hace 85 años aproximadamente, cada 10 años se renueva la vigencia para que se lleve a cabo un aprovechamiento comercial, es decir la propietaria vende la madera. Además, cuenta con un sistema de planeación con el que trabaja el área de estudio que esta denominado como Método Mexicano de la Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), el cual consiste en aplicar cortas de selección individual o en grupos, lo cual permite la extracción y la regeneración del bosque, esto es que de acuerdo al calendario que realice el ingeniero forestal se aplicara en diferente fecha y en diferente rodal este tratamiento (López, 2005). En el año 2010 se llevó a cabo este método en los sitios: BA2 (bosque de *Cupressuss*), BA3 (bosque de *Quercus*) y BA4 (bosque de *Pinus*), núm. de rodal: 5, 10 y 12, respectivamente. En el 2012 nuevamente se aplicó este tratamiento en el sitio

BA4, ocasionando que la densidad arbórea disminuyera con 224 individuos/hectárea. El trabajo de campo requerido para este estudio se realizó en el año 2013, en el sitio BA1 aún no se había aplicado este tratamiento, lo que nos permite concluir que es por eso que aun la especie *Abies* dominaba en este sitio como lo marcaba el Programa de Manejo del predio. Mientras en los tres sitios restantes se mostraba esta diferencia entre el trabajo de campo y el Programa de Manejo.

Figura 10. Almacenes de carbono y características del sistema de manejo del predio particular “Cebati”

Sitio	BA1 (<i>Abies religiosa</i>)	BA2 (<i>Cupressus Lindleyi</i>)	BA3 (<i>Quercus rugosa</i>)	BA4 (<i>Pinus pseudostrabus</i>)
Almacén de carbono en				
	No. rodal: 13 Vegetación dominante: <i>Abies religiosa</i> Último año de corta: 2014 Pendiente: regular Estado: en buenas condiciones Actividades de mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Brechas cortafuegos: SI ▪ Aclareo: NO ▪ Desbrace: SI ▪ Control de plagas: SI ▪ Reforestación: c/año ▪ Vigilancia : Los 365 días ▪ Limpieza: NO 	No. rodal: 5 Vegetación dominante: <i>Abies religiosa</i> Último año de corta: 2010 Pendiente: suave Estado: fuerte perturbación Actividades de mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Brechas cortafuegos: NO ▪ Aclareo: NO ▪ Desbrace: NO ▪ Control de plagas: SI ▪ Reforestación: c/año ▪ Vigilancia: los 365 días ▪ Limpieza: NO 	No. rodal: 10 Vegetación dominante: <i>Abies religiosa</i> Último año de corta: 2010 Pendiente: suave Estado: en buenas condiciones Actividades de mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Brechas cortafuegos: NO ▪ Aclareo: NO ▪ Desbrace: NO ▪ Control de plagas: SI ▪ Reforestación: regeneración natural ▪ Vigilancia: los 365 días ▪ Limpieza: NO 	No. rodal: 12 Vegetación dominante: <i>Quercus Rugosa</i> Último año de corta: 2012 Pendiente: suave Estado: en buenas condiciones Actividades de mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Brechas cortafuegos: SI ▪ Aclareo: NO ▪ Desbrace: SI ▪ Control de plagas: SI ▪ Reforestación: c/año ▪ Vigilancia: los 365 días ▪ Limpieza: NO

Fuente: elaboración propia en base a trabajo de campo

Después de que se aplican estas cortas selectivas la especie que predominaba cambia radicalmente durante el paso de los años, ya sea por reforestación con otras especies o por acción natural (que la semilla se haya dispersado) en el área, es por eso que la especie no se tomó como variable para comparar los almacenes



de carbono entre especies. Además, en nuestro país aún faltan demasiados estudios que permitan analizar que especie es más apta para almacenar mayor carbono. La especie *Abies* y *Pinus* por sus características biológicas son rentables para el comercio de madera y dejan importantes retribuciones económicas. De acuerdo a la SEMARNAT en su obra **“El Medio Ambiente en México 2009: en Resumen”**, las principales especies aprovechadas son el pino y el encino.

Los bosques con un manejo sostenible, desde la perspectiva ambiental, han probado incrementar la masa forestal y recuperar áreas degradadas y deforestadas así como capturar mayor cantidad de carbono en el largo plazo; y desde la social, generan mejores condiciones de vida y desarrollo para las comunidades que los manejan.

En la figura de arriba se muestra que ciertas actividades no se llevan a cabo en el predio lo que propicia que esté no se encuentre en buen estado, en el sitio BA3 la vegetación densa no permite que los rayos del sol entren con facilidad con respecto a los demás sitios, esto provoca que ciertos individuos no lleven en forma el proceso de fotosíntesis y no se desarrollen rápidamente, por lo que en estos árboles el almacén de carbono es bajo, esto indica que son pocas las jornadas que se destinan al aclareo y desbrace en el predio. En los cuatro sitios muestreados se observó que no hay limpieza, ya que existen ramas y troncos en estado de descomposición lo que es bueno porque parte del carbono emitido se integra al suelo pero también representa un riesgo en caso de un incendio. Hacer brechas cortafuegos es importante en caso de que se inicie un incendio y así este no se propague a una mayor superficie, en el predio se observaron muy pocas brechas cortafuegos. El predio solo es vigilado por una persona los 365 días del año lo que es insuficiente por la superficie que este abarca. En resumen, si bien el Programa de Manejo del predio indica el periodo de las actividades que deben de llevarse a cabo no se ejecutan por la falta de personal. Esta falta de manejo en el predio determina la estructura actual del bosque y en consecuencia su capacidad



de almacenamiento de carbono. Este trabajo coincide con una importante investigación publicada en México que evaluó la capacidad de captura de carbono de los distintos tipos de ecosistemas forestales, bajo diferentes opciones de uso o protección, confirmando que el manejo sostenible de los bosques es la mejor opción para capturar carbono. (De Jong, *et al.*, 2004)

Como se menciona en las estrategias de combate al cambio climático, los bosques juegan un papel fundamental ya que almacenan un estimado total de 638 Giga toneladas de carbono (Gt)¹ en su conjunto, mucho más de lo que actualmente se encuentra libre en la atmósfera. Sin embargo, el CO₂ está siendo liberado por la degradación y deforestación de los bosques a una tasa aproximada de 5.8 Gt anuales, por lo que los bosques están perdiendo su rol de sumidero de carbono. Por el contrario, si estos bosques fueran manejados sosteniblemente para conservar su masa forestal podrían capturar y almacenar carbono a una tasa anual de 2.4 Gt revirtiendo esta tendencia negativa (CONSEJO CIVIL MEXICANO PARA LA SILVICULTURA SOSTENIBLE (CCMSS))



5. CONCLUSIONES





CONCLUSIONES

- ❖ El objetivo general de esta investigación estuvo basado, principalmente, en la estimación de los almacenes de carbono en biomasa aérea en cuatro sitios de bosque templado ubicados dentro del predio particular “Cebati” de San José del Rincón, Edo. de México, el cual, por medio de un muestreo jerárquico-anidado, que fue adaptado a la superficie, y junto con la utilización de ecuaciones alométricas y factores de conversión de diversos autores se obtuvo el carbono almacenado en estos sitios.
- ❖ La presente investigación se basó en la parte aérea del bosque templado, el cual considera el estrato arbóreo, estrato herbáceo-arbustivo y mantillo. Sin embargo, para estimar el almacén de carbono total se tomaron en cuenta las raíces, esto por medio de un factor teórico, y los resultados del componente suelo obtenidos por Quiroz (2013).
- ❖ El almacén de carbono más alto en biomasa aérea dentro del predio se dio en el sitio BA4 con predominio de *Quercus rugosa* con $163.09 \text{ Mg C. ha}^{-1}$, del cual, el estrato arbóreo aportó $115.31 \text{ Mg C. ha}^{-1}$, el estrato herbáceo-arbustivo $0.71 \text{ Mg C. ha}^{-1}$, el mantillo con $18.24 \text{ Mg C. ha}^{-1}$ y las raíces $28.83 \text{ Mg C. ha}^{-1}$. El sitio BA2 con predominio de *Abies religiosa*, fue el que almaceno menor cantidad de carbono. Estos resultados responden a la pregunta de investigación y el objetivo general planteados al principio del documento.
- ❖ El carbono almacenado en el suelo del sitio BA3 fue de $196.367 \text{ Mg C. ha}^{-1}$ que sumado al obtenido en la biomasa aérea ($155.71 \text{ Mg C. ha}^{-1}$) significa que este sitio tiene una alta capacidad para almacenar carbono a comparación de los demás.
- ❖ Lo anterior demuestra la variabilidad de los resultados obtenidos en los cuatro sitios muestreados ubicados dentro del predio. Factores como incidencia solar, nutrientes, humedad, pendiente, tipo de vegetación, tipo de árbol y su edad,



densidad arbórea, prácticas de manejo, entre otras hacen que los almacenes difieran en cantidad.

- ❖ Se concluye que los individuos jóvenes tienen una alta capacidad de almacenar carbono en su estructura, ya que un árbol maduro pierde esa capacidad al paso del tiempo. Al mismo tiempo que disminuye esta capacidad el árbol empieza a emitir este gas a la atmosfera. Se demuestra en estudios que el fuste del árbol es el que almacena mayor cantidad de carbono con respecto a las ramas y hojas.
- ❖ La clase diamétrica más representativa dentro del predio fue la de 0-30cm DN, lo que indica que el bosque se encuentra en estado juvenil y está en proceso de crecimiento y recuperación. El predio Cebatí se puede definir como un bosque con alto dinamismo y con capacidad prometedora para almacenar cantidades considerables de carbono atmosférico.
- ❖ El inventario de árboles realizado en 2006 nos muestra el predominio bien definido de las especies *Abies religiosa* (Oyamel), *Cupressus lindleyi* (Cedro blanco), *Quercus rugosa* (encino) y *Pinus pseudostrabus* (pino) en los sitios BA1 (rodal 13), BA2 (rodal 5), BA3 (rodal 10) y BA4 (rodal 12), respectivamente. Sin embargo, una vez realizado el trabajo de campo se concluye que estos resultados difieren porque en estos rodales se llevó a cabo la extracción de madera con diversos fines: aprovechamiento forestal maderable, es decir se comercializa la madera, regeneración y tratamiento del predio lo que ocasiona un cambio en la estructura actual del predio. Las especies que tienen un mayor aprovechamiento maderable tienen son el Pino y el Oyamel.
- ❖ El predio particular Cebatí cuenta con un Programa de Manejo Forestal en donde se sugieren actividades de mantenimiento como lo son: brechas cortafuegos, aclareo, desbrace, control de plagas, reforestación, protección,



limpieza del predio y pago de vigilancia los 365 días del año para que se mantenga en buenas condiciones, sin embargo no se llevan a cabo ya que por ser privado la propietaria no cuenta con ingresos para contratar personal, lo que ocasiona que el predio se encuentre en estado regular por la falta de estas actividades. Se concluye que al no implementar estas actividades el predio va perdiendo la capacidad de almacenar carbono en sus diferentes componentes.

- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que los bosques manejados para la producción maderable capturan más carbono que otros bosques porque: i) al conservarse se enriquece la cobertura forestal manteniendo los almacenes de carbono; ii) si el manejo forestal se expande a una superficie del predio degradada, es posible generar nueva capacidad de captura y almacenamiento de carbono; iii) se incrementa la captura de carbono a través de un mejor manejo de las pirámides de edad de las poblaciones forestales; iv) el carbono se almacena durante largos periodos de tiempo por el uso de la madera como materia prima para la fabricación de bienes o la recuperación de la cobertura forestal y; v) se combaten a las plagas e incendios forestales de manera permanente.

- ❖ Este estudio aporta datos a nivel predio que pueden ser utilizados para diferentes aspectos entre ellos el mercado de bonos de carbono pero además debería radicar en otros servicios como son: el control de la erosión, alta productividad, filtración de agua, regulación del clima, reciclaje de nutrientes, entre otros.

- ❖ Los bosques templados son importantes sumideros de carbono y cumplen con la función de almacenar este GEI por medio del proceso de fotosíntesis. La vegetación tiene esa capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo en su estructura, una vez fijado lo mantiene almacenado hasta que se da el proceso de degradación, combustión y así es liberado.



- ❖ Los estudios realizados en cuestión de almacenes de carbono en México son pocos a pesar de que nuestro país cuenta con un almacén de carbono muy importante ya que representa una equivalencia a las emisiones mundiales de CO₂. Esta falta de estudios y que se asemeja como un problema también repercute aún más en el Estado de México, ya que son pocos los autores que se insertan en estas cuestiones.

- ❖ Los pocos inventarios que se llevan a cabo complementan estimaciones y modelos que cuantifican algunos datos de existencias de carbono y los flujos en los ecosistemas forestales.



RECOMENDACIONES

- I. Se propone realizar aún más estudios sobre el potencial de almacenamiento de carbono en un ecosistema forestal, específicamente el bosque templado, a fin de que estos estudios aporten datos que permitan actualizar, analizar y comparar con los estudios ya existentes.
- II. Para que se haga una mejor estimación de los almacenes de carbono, se debe intensificar el tamaño de muestreo para hacerlo más representativo, estudiar y analizar las variables críticas, conformar acuerdos e instrumentos legales e involucrar a las comunidades cercanas al predio que se pueden beneficiar con los diferentes productos que puedan obtenerse del bosque y con ello cumplir con los estándares internacionales.
- III. Para que se lleve a cabo un mantenimiento adecuado dentro del predio deberán bajarse diversos apoyos ya sea de índole federal, estatal y municipal a fin de se pueda contratar personal y se realicen estas actividades de mantenimiento. Otra alternativa es hablar con las comunidades vecinas y proponerles que ellos pueden obtener beneficios del bosque siempre y cuando ellos se comprometan a realizar actividades de aclareo, desbrace, brechas cortafuegos, entre otras.
- IV. Realizar estudios relacionados al almacenamiento de carbono pero por especies específicas a fin de que nos permitan ver cuál es la mejor especie que almacena mayor carbono y se haga una propuesta de que se planten más individuos de esta especie no solo a nivel municipal o estatal sino también federal.



Bibliografía:

-Acosta, M., Carrillo, F., Díaz, M. (2009), “Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula Schl. Et Cham*, TERRA Latinoamericana, vol. 27, núm. 2, Universidad Autónoma de Chapingo, 105-114 pp.

-Acosta, M., Vargas, J., Velázquez, A., De Jong, E. (2002), Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, vol. 36, núm. 6, noviembre-diciembre. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México, 725-736 pp.

-Álvarez, G., García, N., Krasilnikov, P., García-Oliva, F. (2013), Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, vol. 47, núm. 2

-Avendaño, D., Acosta, M., Carrillo, F., Etcheveres, J. (2009), “Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*”, *Fitotecnia Mexicana*, vol. 32, núm. 3, 233-238 pp.

-Avendaño, H. D.; Acosta, M. M. (*) y Carrillo, A. F. (2009). El uso de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y carbono en oyamel. Prestador de Servicios Técnicos, Instituto Nacional de Ecología.

-Barry, D., *et al.* 2010. El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático: las comunidades nos muestran el cambio. Punto verde consultores S. C. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS).

-Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía básica. (2012). CONAFOR. México
Carrillo, F., et al. (2014), Estimación y carbono en dos especies arbóreas en la Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 5, núm. 5, junio-agosto, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Estado de México, México, 779-793 pp.

-Castellanos, J., J.M. Maass and J. Kummerow. 1991. Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. *Plant and Soil*. 131:225-228.

-Challenger, Antony (2004). “Los Ecosistemas Templados de México”. Seminario “Desarrollo sustentable y ecosistemas templados de Durango, 6 de agosto, Dirección de la Reserva de la Biosfera La Michilía, CONANP, SEMARNAT. Durango, México.

-Climático 2007: Mitigación. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Climático. B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds.), Gobierno del Estado de México (2012), Portal del Gobierno del Estado de México. Trámites y Servicios.

-De Jong, Bernardus H. J., Omar Masera y Tomás Hernández-Tejeda (2004) “Opciones de captura de carbono en el sector forestal”, en *Cambio Climático: una visión desde México*, Instituto Nacional de Ecología, México.



- Díaz, L. M.; Acosta, M. M. (*); Carrillo, A. F.; Buendía, R. E. y Flores, A. E. ALMACEN DE CARBONO (C) TOTAL EN BOSQUES DE *Pinus patula Schl. et Cham.*, EN TLAXCO, TLAXCALA. CONAFOR-Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle de México acostamm@colpos.mx
- Dixon, R. K., 1995. Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases?.. s.l.:s.n.
- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler y J. Wisniewski 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. Science 263: 185-190.
- El medio ambiente en México 2009: en Resumen. 2009. SEMARNAT. México
- Eroski Consumer, 2005. Dióxido de Carbono. [En línea] http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/11/04/146723.php [Último acceso: 25 noviembre 2012].
- Etchevers, B. et al., 2005. Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas., México: Colegio de Posgraduados.
- Figuroa, C., Etcheveres, J. D., Velázquez, A., Acosta, M. (2005), Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. TERRA Latinoamericana, vol. 23, núm. 1, enero-marzo, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 57-64 pp.
- García, I., 2011. Tesis: Estimación del contenido de carbono y captura potencial de carbono del bosque de *Pinus hartwegii Lindl. y Abies Religiosa (H. B. K.) Schl. Et Cham* en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. UNAM
- Gobierno del Estado de México (GEM) (2006). Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025. Secretaría de Desarrollo Agropecuario-Protectora de Bosques, Toluca, México, páginas 7-100.
- González, M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi H. E. Moore*, *Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz.* y *Quercus sp.* en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. Turrialba, Costa Rica.
- Gracia, C. Ecología Forestal: Estructura, Funcionamiento y Producción de las masas forestales. [En línea] <http://www.ub.edu/ecologia/Carlos.Gracia/PublicacionesPDF/Fotos%C3%ADntesis.pdf> [Último acceso: 25 de Enero de 2014].
- Hughes R. F., Kauffman, V. J. Jaramillo (1999), “Biomass, carbon and nutrient dynamics of secondary forests in a humid region of Mexico”, Ecology, 80:1892-1907.



- Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2007. Resumen Técnico. In Cambio.
- Instituto Nacional de Ecología.
<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/432/captura.html>
- Inventario Nacional Forestal y de Suelos México 2004-2009. Una herramienta que da certeza a la planeación, evaluación y el desarrollo forestal de México. CONAFOR.
- Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle de México.
- Jaramillo, V. (2003). Biomass carbon and nitrogen pools in Mexican tropical forest landscapes. Ecosystems.
- Lapeyre, T., Alegre, J. y Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Ecología Aplicada, diciembre, año/vol. 3, número 1-2. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú, 35-44 pp.
- López, R. (2005) Programa de Manejo Forestal Autorizado: con inscripción en el Registro Forestal Nacional, Integrada al libro México UI, personas físicas prestadoras de servicios técnicos forestales-inscripciones, volumen 2, núm. 31.
- M., Ciesla, W. Cambio climático, bosque y ordenación forestal. Una visión de conjunto. FAO. Roma, 1996.
- Matera, et al., 2001. CAPTURA DE CARBONO ANTE EL CAMBIO CLIMATICO. Redalyc, 7(001), pp. 3-12.
- Matera, O., Cerón, A., Ordóñez, A. 2001. Forestry mitigation options for Mexico: Finding Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. MX (6): 291-312.
- Matera, O., De Jong, B., Ricalde, I. (2000), consolidación de la oficina Mexicana de gases de efecto invernadero, Sector Forestal, reporte final, Instituto Nacional de Ecología, 197 pp.
- Milenio, 2001. Crece la amenaza por el cambio climático. Milenio, Lunes 19 febrero, p. 35.
- Nava Bernal, G. et al. (2010). Los bosques y selvas del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México.
- Navia J. y J. Velarde. 2002. Prefactibilidad de captura de carbono para el conjunto predial La Majada-Cerro Grande, Uruapan, Michoacán, México.
- OCIC, (Oficina Costarricense de Implementación Conjunta). 1998. Actividades de Implementación Conjunta. San José, Costa Rica. 6 p.



- Oliva, M. y F. García-Oliva. 1998. Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global. Educación Química. UNAM. México.
- Ordoñez, 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, A., De Jong, B. (2001), Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. Madera y Bosques, vol. 7, núm. 2, Instituto de Ecología, A. C., México, 27-47 pp. Ordoñez, J. A. y Maser, O. (2001), “Captura de carbono ante el cambio climático”, Madera y Bosques, año/vol. 7, núm. 001, 3-12 pp. Orozco, M. E., Peña, V. Mireles, P. (2014), “Factores de degradación de los ecosistemas terrestres en México y Estado de México”. Carbono en ambientes biofísicos y productivos línea base sobre cambio climático. Orozco y Mireles (Coord), Universidad Autónoma del Estado de México.
- PNMARN. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 170 pp.
- PROBOSQUE, 2012. Autorizaciones de Aprovechamiento Forestal Maderable en el Estado de México. [En línea] Available at: <http://sistemas.edomex.gob.mx/TramitesyServicios/jsp/Contenido.jsp> [Último acceso: 10 noviembre 2012].
- PROGRAMA DE DESARROLLO FORESTAL SUSTENTABLE DEL ESTADO DE MEXICO 2005-2025. Secretaria de Desarrollo Agropecuario. Protectora de Bosques. Abril de 2006.
- Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, (2012) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México.
- Quiroz, Y. (2013). Tesis: “Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebati, San José del Rincón, Edo. de México. UAEM.
- Rodríguez, et. al., 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 4(2), pp. 215-222
- Rodríguez, et. al., 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. Revista Ra Ximhai, 5(3), pp. 317-327.
- Rovelo, D. (2010), Tesis: Estimación de captura de carbono en bosques de Abies religiosa del municipio de Amecameca, Estado de México. México, DF. UNAM
- Schulze, E. D., C. Wirth and M. Heimann. 2000. Managing forests after Kyoto. Science Scolel Té 2003. www.eccm.uk.com/scolelte



-Semarnat, 2007. Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012, synergies between national sustainable development priorities and global concerns.

-Vásquez Ibáñez, A. (2011). Aplicabilidad del modelo de contabilidad de carbono CBM-CFS# en bosques templados de los ejidos “La Mojonera” y “Atopixco”, Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo, México. Tesis. Presentado como requisito parcial para obtener el grado de: Maestro en Ciencias. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

-Yáñez Sandoval, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿Una herramienta para la gestión ambiental? Gaceta Ecológica, enero-marzo, numero 070. Instituto Nacional de Ecología. DF, México. pp. 5-18.

-Yingchun, L. et al. (2012). Huge Carbon Sequestration Potential in Global Forest. Journal of Resources and Ecology. Vol. 3, núm. 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences. pp. 193-201.

-Zamora, J. C. (2003), Tesis: Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “La majada” municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

-Zárate, M. G., 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Turrialba, Costa Rica: s.n.



Anexo 2. Formato de hoja de Excel

Proyecto:	Almacenes de carbono en sistemas naturales y productivos					
Lugar	Predio particular “CEBATI”, San José del Rincón					
Sitio:						
Coordenadas:	X=					Y=
Descriptor:						
Concepto:	Relación de individuos arbóreos en sitio BA_ (Bosque de ¿?)					
SC1						
Densidad			3.14159265			
No. Árbol	Especie	Circ.	Diam. (Circ/3.14159265)	Radio (Diam/2)	r2 (r*r)	AB (3.14159265*r²)
	clave	cm	cm	cm	cm2	cm2

Formato de registro de muestras de herbáceas y mantillo

No. Muestra	Clave de la muestra	Folio de la muestra	Peso húmedo (grs)	Peso seco (grs)	% de humedad
-------------	---------------------	---------------------	-------------------	-----------------	--------------

Anexo 3: base de datos que contiene formulas y ecuaciones alométricas para obtener el carbono almacenado en los diferentes estratos

Densidad			3.14159265						Carbono (kg)
No. Árbol	Especie	Circ	Diam (Circ/3.14159265)	Radio (Diam/2)	r2 (r*r)	AB (3.14159265*r ²)	DAP(potencia (Diam, el valor a' depende de la especie))	Biomasa (DAP* el valor b depende de la especie)	Carbono (biomasa* el valor c%' depende de la especie)
	clave	cm	cm	cm	cm2	cm2		(kg)	(kg)



Concentrado		
Cuadrante	kg en 2500 m ²	kg/ha
SC1		
SC2		
SC3		
SC4		
	Total kg/ha	
Carbono en	t/ha	
Biomasa arb.	D.S.	