



Universidad Autónoma del Estado de
México.



Facultad de Planeación Urbana y Regional.

“Estimación de la capacidad de captura de carbono en la
biomasa aérea, dentro de una cronosecuencia de bosques
reforestados en el Nevado de Toluca, caso de estudio:
Bienes Comunes Santiago Tlacotepec”.

T E S I S

Para obtener el título de:

Licenciado en Ciencias Ambientales.

P R E S E N T A N

Jorge Luis Galeana Abarca.

Cesar Arturo Velasco Mendoza.

Directores:

M. en C. y M.S.B. Giovani Gonzáles Camacho.

Dr. En C. Gustavo Álvarez Arteaga.

Toluca de Lerdo Estado de México; Noviembre 2019

RESUMEN

“Estimación de la capacidad de captura de carbono en la biomasa aérea, dentro de una cronosecuencia de bosques reforestados en el Nevado de Toluca, caso de estudio: Bienes Comunales Santiago Tlacotepec”.

por Jorge Luis Galeana Abarca y Cesar Arturo Velasco Mendoza

Se evaluaron predios reforestados de bosques dentro del predio Bienes Comunales de Santiago Tlacotepec, así como un fragmento de bosque conservado que sirvió como referencia, esto bajo un esquema de cronosecuencia para comparar la capacidad de captura de carbono de cada una de las zonas de estudio. Se establecieron en total 6 sitios de muestreo, 5 fueron de zonas reforestadas (1983, 1992, 2010, 2013 y 2015), mientras que la última se estableció en uno con la menor perturbación posible, el cual sirvió como sitio de referencia. Dentro de estos, se capturaron parámetros del arbolado, tales como diámetro normal (DN), la especie del ejemplar y año de establecimiento de la plantación, mientras que para arbustos y herbáceos se midió su peso húmedo y peso en seco. La ejecución del inventario dasométrico nos arrojó que en el sitio 1983 tenemos un total de 122 individuos, el sitio 1992 cuenta con un total de 41 individuos, mientras que el sitio 2010 cuenta con un total de 136 individuos, el sitio 2013 tiene el grueso de su población arbórea en la categoría de 0-10 cm (50 individuos) y un área basal de 0.99 m²/ha. El sitio 2015 reporta 48 individuos, todos menores de 10 cm de DN. Por último, el sitio de referencia (vegetación natural) tiene un total de 15 individuos ubicados en la categoría de 30.1-60 cm de DN. Además, mediante ecuaciones alométricas se realizó la estimación de la biomasa con el objetivo de brindarnos como resultado volumen, biomasa y/o carbono de un individuo. La cantidad de carbono almacenado total está comprendido en 226.93 Ton/ha, del cual el 35.59% lo aporta el sitio 1983, el 30.02% la sitio 1992, el sitio de referencia con 27.53%, el sitio 2010 6.07%, el sitio 2013 con 0.52% y sitio 2015 0.27%. Con base en lo anterior, se recomienda la implementación de acciones de manejo, conservación y mantenimiento básico del bosque como lo es la poda de ramas muertas y de baja altura, liberación de competencia por nutrientes y luminosidad con hierbas y gramíneas

Tabla de contenido

Tabla de contenido	II
Índice de figuras.....	III
Índice de tablas	IV
Agradecimientos	V
Agradecimientos	VI
Antecedentes.....	1
Justificación.....	3
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
Planteamiento del problema.....	7
Hipótesis.....	10
Capítulo 1	11
Revisión de literatura.....	11
1.1. Efecto invernadero	11
1.2. Gases de efecto invernadero (GEI)	12
1.3. Calentamiento global	13
1.4. Cambio climático	15
1.5. Ciclo biogeoquímico del carbono.....	15
1.6. Fijación y almacenamiento de carbono.....	18
1.7. El bosque como reservorio de carbono	19
1.8. Estimación de biomasa.	21
1.9. Instrumentación de proyectos forestales de mitigación.....	22
1.10. Mercado de bonos de carbono.....	23
1.11. Análisis de cronosecuencias en almacenes de carbono.....	24
Capítulo 2.....	25
Materiales y métodos.....	25
2.1. Zona de estudio	25
2.1.1. Clima.	25
2.1.2. Edafología.	25
2.1.3. Vegetación.	26
2.2. Método	26
2.3. Diseño de muestreo.....	27
2.4. Colecta de datos	28
2.6. Ubicación del sitio	31
2.7. Variables del arbolado	21
Resultados.....	26
2.8. Estructura diamétrica del área de estudio	36
2.9. Biomasa para sotobosque.....	39
2.10. Estimación de biomasa.	40
2.11. Almacenes de carbono.....	43
Discusión de resultados.....	48
Conclusiones.....	55
Recomendaciones.....	57
Bibliografía	59

Índice de figuras

Figura 1. Almacén y flujo de carbono enJustificación ecosistema forestal.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Efecto Invernadero.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3 Fuentes y sumideros de carbono.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Almacén y flujo de carbono en ecosistema forestal.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Diseño de muestreo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6. Recopilación de datos dasométrico sitio de referencia	28
Figura 7. Trazo de muestreo, sitio 1000m ²	28
Figura 8. Cuadro de PVC de un área de 1m ² orientado al norte.....	29
Figura 9. Colecta de muestras del sotobosque.....	29
Figura 10. determinación de peso húmedo de muestra del sotobosque	30
Figura 11. Preparación y empaquetado de muestras para secado en estufa.....	30
Figura 12. Materiales trazar y muestrear.	31
Figura 13. Ubicación de los bienes comunales Santiago Tlacotepec.....	18
Figura 14. Diseño de muestreo.....	19
Figura 15. Delimitación del radio del sitio de muestreo.....	22
Figura 16. Medición de DN con cinta diamétrica	23
Figura 17. Representación de la colecta de DN.....	24
Figura 18. Diámetro normal.....	24
Figura 19. Gráfica de número de individuos por sitio	27
Figura 20. Gráfica de cobertura del área basal por unidad de muestreo.....	28
Figura 21. Vista panorámica de sitio 2015 dirección sur-norte	31
Figura 22. Vista panorámica de sitio 2015 dirección sur-norte.....	31
Figura 23. Vista panorámica desde centro de sitio 2013 dirección sur-norte	32
Figura 24. Vista panorámica de sitio 2013 dirección norte-sur	32
Figura 25. Se observa la delimitación física del metro cuadrado. Sitio 2010	33
Figura 26. Vista panorámica del sitio 2010 que refleja la gran densidad existente.	33
Figura 27. Vista panorámica de norte a sur, 1992.....	34
Figura 28. Vista panorámica del sitio 1992, tomada de sur a norte.....	35
Figura 29. Delimitación física del metro cuadrado, sitio 1983	35
Figura 30. Se lleva a cabo el pesaje de la muestra del m ²	36
Figura 31. Estructura diamétrica del sitio 2015	36
Figura 32. Estructura diamétrica del sitio 2013	37
Figura 33. Estructura diamétrica del sitio 2010	37
Figura 34. Estructura diamétrica del sitio 1992	38
Figura 35. Estructura diamétrica del sitio 1983	38
Figura 36. Estructura diamétrica del sitio de referencia.....	39
Figura 37. Gráfico biomasa total (Ton/ha).....	41
Figura 38. Gráfico distribución de biomasa (Ton/ha) por segmento diamétrico	42
Figura 39. Preparación de la muestra	43
Figura 40. Se observa la colocación de muestras en bolsa de papel estraza.....	43
Figura 41. Gráfico Contenido de carbono aéreo total por sitio de muestreo.....	44
Figura 42. Gráfico Contenido de carbono total por sitio de muestreo en sotobosque.	46
Figura 43. Gráfico Modelo lineal.	48
Figura 44. Gráfico Modelo exponencial.....	49
Figura 45. Gráfico. Modelo logarítmico	50

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Emisión de CO₂ en millones de toneladas en 2002 y la previsión para 2025</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Coordenadas de sitios de muestreo y año de reforestación.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3. Muestreo en reforestaciones del género Pinus.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4. Peso húmedo de muestras del sotobosque.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5. Biomasa arbórea total (Ton/ha)</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6. Biomasa total del sotobosque</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7. Contenido de carbono por categoría diamétrica y sitio de muestreo.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Contenido de carbono en el sotobosque.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9. Proyección de almacenamiento de carbono por modelo lineal.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 10. Proyección de almacenamiento de carbono por modelo exponencial</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 11. Proyección de almacenamiento de carbono por modelo logarítmico.....</i>	<i>51</i>

Antecedentes

Desde antes de 1950, el ciclo del carbono se conoce con respecto a la interacción y la capacidad de fijación en diferentes horizontes del estrato vertical natural; sin embargo, no fue hasta 1976 que se considera a los bosques como "almacenadores" de carbono liberado por emisiones de combustibles fósiles (World Resources Institute [WRI], 2001). Se retoma el interés de la importante función cuando por medio de la interpretación de investigadores y administradores públicos toma peso el valor total de la naturaleza y se enfocan a desarrollar esquemas de conservación y restauración hacia dicho valor (World Resources Institute, 2014).

Dentro del enfoque internacional, los estudios de bióxido de carbono (CO₂) han tomado un papel importante dentro del cual el Comité Científico de Investigaciones Oceánicas (SCOR) y la Comisión Oceanográfica Internacional (COI) dentro del órgano de UNESCO, crearon un grupo de consulta para el tema del carbono, con la finalidad de informar a los tomadores de decisiones y en general a la población acerca de los trabajos y proyectos de investigación objetiva de fijación o captura de carbono (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017).

En América Latina se tiene el registro de por lo menos 2 estudios importantes, en primer lugar, Perú con el estudio específico en fijación de carbono en el caso de *Eucalyptus globulus* (Eucalipto), donde entre otros resultados arrojados se tiene que un bosque de la especie antes mencionada captura 137.05 ton/ha (Gamarra, 2016) Por su parte, Chile diseñó un manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales mediante el cual se cumplen las exigencias establecidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), bajo criterios de eficiencia de costos en la medición de almacenamiento de carbono en los bosques chilenos y promoción en el mercado mundial (Gayoso, Guerra, & Schlegel , 2001).

En México, en noviembre de 2005 se llevó a cabo la Primera Reunión para la Conformación del Programa Mexicano del Carbono (PMC) en la Ciudad de México, a la cual asistieron 51 investigadores de 17 instituciones mexicanas. “El PMC nace ante la necesidad de establecer un mecanismo para coordinar a nivel nacional los esfuerzos de investigación relacionados con los aspectos físicos, geoquímicos, biológicos y sociales del ciclo del carbono” (Programa Mexicano del Carbono, 2018).

En lo referente al ámbito local, se tiene un estudio específico del entonces Parque Nacional Nevado de Toluca ahora Área de Protección de Flora y Fauna, de nombre “Estimación de Captura de Carbono en Zonas Forestales, caso del Parque Nevado de Toluca” donde se entrega un agregado de información de captura de carbono en diferentes depósitos de acumulación dentro del ecosistema forestal que va desde biomasa sobre el suelo (árboles y sotobosque), biomasa en el suelo (raíces), árboles muertos en pie y troncos caídos, hojarasca, y suelo. Así como el contraste en diferentes periodos en la historia (Mass, 2009)

Justificación

En los años recientes se ha presentado uno de los periodos más cálidos del planeta y la temperatura media de la Tierra ha tenido los valores más altos de los últimos 130,000 años. En diciembre de 2007, la Organización Meteorológica Mundial señaló que la década 1998-2007 fue la más caliente de acuerdo con los registros históricos, con un promedio de 14.42°C (el promedio del periodo 1961- 1990 fue de 14°C) (Benavides & León, 2007).

La razón de este **incremento** en la temperatura global se explica mediante tres conceptos: **efecto invernadero**, calentamiento global y cambio climático, a su vez, estos están ligados al **aumento** de gases de efecto invernadero (GEI). Uno de ellos es el bióxido de carbono (CO₂) atmosférico, cuya suma bien pudiera estar ligado a procesos naturales, también hay un componente humano significativo, dado que ha sido documentado que la tala de bosques y la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo propician un despusnten en la concentración del CO₂ atmosférico, **beneficiando** el **efecto invernadero** y contribuyendo al **Calentamiento Global**; es difícil cuantificar que proporción de éste le corresponde tanto a causas naturales como antrópicas, pero los resultados de modelados climáticos, que integran todas las posibles causas, indican que solo tomando en consideración la contribución por actividades humanas es posible explicar la tendencia tan marcada que se observa hacia este fenómeno, sobre todo a partir de la década de los 80s del siglo pasado (Caballero, Lozano, & Ortega, 2007)

En México, para combatir el aumento de GEI, se ha tomado atención al tema del desarrollo forestal sustentable mediante distintos lineamientos de atención, dentro de los cuales destacan: el sector forestal y servicios ambientales, plantaciones forestales comerciales y por último la captura de carbono, que es el objeto de estudio de esta investigación (Global Entrepreneurship Monitor, 2006).

Los reservorios de carbono de la silvicultura son de gran importancia para el ciclo de carbono y su balance, sin embargo, es escasa la información a nivel local que pueda ser aplicada para dar soporte a los factores de emisión. En materia de almacenamiento de carbono, la cobertura vegetal toma un papel importante tal como se observa en la figura N° 1, de acuerdo con Chittaranjan (2007), cuenta con un sistema organizacional vertical que comprende los siguientes niveles:

- Suelo.
- Biomasa bajo el suelo (Raíz).
- Hojarasca.
- Residuo vegetal. (árbol muerto en pie o caído).
- Biomasa sobre el suelo (Árboles y arbustos).

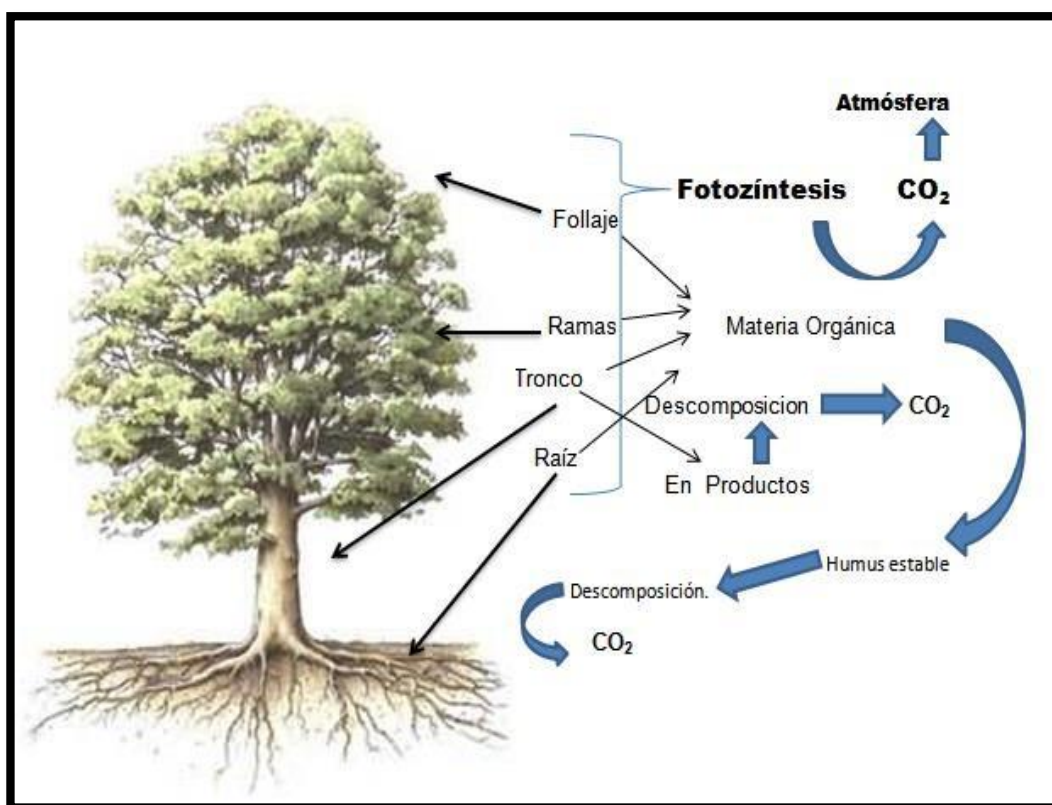


Figura 1. Almacén y flujo de carbono en ecosistema forestal.
Fuente: (Ordoñez, 1998)

Las plantaciones forestales comerciales o de restauración son hoy en día una importante herramienta para disminuir la presión hacia los bosques nativos y como sumideros de carbono. De acuerdo con la estrategia del Estado de México, se plantea una evaluación del potencial de captura de carbono en las reforestaciones y plantaciones forestales como guía y base fundamentada para implementación de proyectos para el pago por servicios ambientales alrededor de la captura de carbono en biomasa y suelos. (FAO, 2015)

Es importante resaltar la importancia de estas estrategias para el desarrollo de la presente investigación, la cual tiene como finalidad determinar el contenido de carbono y su capacidad a largo plazo para acumularlo en la biomasa de las plantaciones forestales establecidas dentro de los Bienes Comunales de Santiago Tlacotepec, municipio de Toluca de Lerdo, Estado de México; fortaleciendo las capacidades del bosque nativo y contrarrestando la presión social y de producción de tierras que se desarrollan en la comunidad, sin dejar de lado la importancia de los beneficios de establecer y brindar mantenimiento a estas plantaciones y las futuras a establecer por medio de las estrategias de sustentabilidad del plan de desarrollo forestal por parte de Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE).

Este proyecto brinda en manera concreta un ingreso extra al poder cotizar en el mercado de bonos de carbono para quienes son propietarios de estos terrenos sumado a esto el interés de nuevas plantaciones e incrementar los almacenes naturales en distintos predios particulares estableciendo indirectamente un equilibrio sociedad-ambiente y puedan contribuir en la mitigación de gases de efecto invernadero.

Objetivo general

Estimar los almacenes de carbono de la biomasa arbórea dentro de la cronosecuencia de reforestaciones ubicadas en terrenos de bienes comunales de Santiago Tlacotepec, Municipio de Toluca, Estado de México, estableciendo su capacidad de incorporación del CO₂ en función del tiempo y espacio.

Objetivos específicos.

- Estimar la biomasa arbórea en áreas reforestadas de los Bienes Comunales Santiago Tlacotepec.
- Calcular el contenido de carbono incorporado por año de establecimiento de la reforestación.
- Realizar una comparación entre los almacenes de carbono en áreas reforestadas de distintos años y los almacenes de carbono en bosque nativo.
- Estimar la captura de carbono en el sotobosque.
- Realizar un análisis comparativo entre los almacenes arbóreos y los del sotobosque.
- Efectuar un análisis estadístico de la cronosecuencia de reforestación para determinar la tasa de incorporación de carbono dentro del sistema forestal.

Planteamiento del problema.

La atmósfera se contamina por emisión natural o antropogénica a causa de sustancias ajenas a su composición normal o al variar las proporciones de componentes habituales, la contaminación puede ser origen de fuentes naturales, erupciones volcánicas, incendios forestales, tormentas de arena, polvo y por causas provocadas por el hombre ya sea por medios de transporte, industria, generación de calor y energía o bien por actividades agrícolas (Bocco, Urquijo, & Vieyra, 2011).

A nivel mundial, el dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero que suele expulsarse con más frecuencia a la atmósfera como consecuencia de distintas actividades humanas, representa el 81.2% del total de las emisiones atmosféricas contaminantes (Parlamento Europeo, 2018).

En el planeta, la cobertura forestal se ha reducido entre el 20% y 50% de su extensión original; la degradación del suelo ha afectado cerca del 66% del total de las tierras agrícolas del planeta, en promedio 25 mil millones de toneladas de suelo fértil se pierden al año en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2005).

En la actualidad se tiene conocimiento de la existencia del aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero, además de que existen países industrializados, como Estados Unidos, China, Japón, Alemania y el Reino Unido, que usan procesos productivos que se expresan en ganancias millonarias y enormes cantidades de productos que satisfacen demandas de primera necesidad, sin embargo, sus procesos no son del todo limpios, pero al ser tan productivos no se pueden suspender sus procesos solo por el daño causado a la naturaleza. (Europarl, 2018)

Por lo que respecta a México, se han perdido cerca del 37% de la cubierta forestal; el 46 % de los suelos presentan algún tipo de degradación a causa del hombre y dos mil quinientas ochenta y tres especies (flora y fauna) están

consideradas dentro de alguna categoría de riesgo (FAO, 2015). En nuestro país existe legislación que regula las actividades humanas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales tales como la Ley General del Equilibrio y Protección al Ambiente, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), la Ley General de Vida Silvestre (LGVS) y la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE), que son las más importantes (Mass, 2009).

Dentro de la Estrategia Nacional de Cambio Climático se establecen distintas líneas de acción las cuales buscan impulsar mejores prácticas forestales para incrementar y preservar los sumideros naturales de carbono (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013). Y siendo uno de los objetivos específicos que marca la nueva LGDFS el “Promover el manejo forestal sustentable a fin de contribuir a mantener e incrementar los acervos de carbono, reducir las emisiones provenientes de la deforestación y degradación forestal, así como reducir la vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático” y marca como criterio obligatorio la contribución a la fijación de carbono para la política forestal de carácter ambiental y silvícola (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

México emitió 683 millones de toneladas de bióxido de carbono en el año 2015 (Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático, 2017). La entidad mexicana vinculada con la temática de gases de efecto invernadero es el Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de emisiones y Captura de Gases Invernadero (COMEGEI), el cual entre otras, tiene la facultad de identificar oportunidades, facilitar y aprobar la realización de proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero en los Estados Unidos Mexicanos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

Uno de los problemas ambientales de mayor auge hoy en día es la **deforestación**; sin embargo, no se tiene bien entendido qué es esto. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la **deforestación** es el proceso de desmontar total o parcialmente selvas y bosques para dedicar el espacio resultante a fines agrícolas, ganadero o de otro tipo. Con la pérdida de

superficie arbolada, además de los daños indirectos ocasionados a las especies animales y vegetales que habitan esos predios, también se eliminan los servicios ambientales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015).

Además, la capacidad que tenían los árboles y el resto de la vegetación natural para secuestrar bióxido de carbono ha ido en decadencia, por lo que, la saturación de este gas de efecto invernadero en la atmósfera incrementó a consecuencia de las prácticas agrícolas (roza-tumba y quema), las cuales liberan al ambiente grandes cantidades de carbono (Foro Ambiental, 2016). Dentro del Estado de México los recursos forestales han sido víctima de una explotación desmedida, ocasionada por la tala inmoderada y/o clandestina para madera en rollo y leña, como es el caso del Nevado de Toluca, causando con ello el deterioro del medio ambiente. (PROBOSQUE, 2018)

Esto nos lleva a la pregunta de investigación: ¿Es posible determinar la magnitud del carbono incorporado en biomasa dentro de cronosecuencias de bosques reforestados?

Hipótesis

La estimación de los almacenes de carbono (C) en biomasa dentro de una cronosecuencia de reforestación permitirá establecer la tasa de incorporación de C a partir de la edad del bosque.

Capítulo 1

Revisión de literatura

1.1. Efecto invernadero

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases atmosféricos retienen parte de la energía que es reflejada por el suelo producto de la radiación solar; esto afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, 2011).

Para poder entender lo que es **efecto invernadero**, primero debemos saber que la **atmósfera** es una delgada capa compuesta por numerosos **gases** dentro de los que destacan el Nitrógeno en un 79% y el Oxígeno en un 20%, mientras que en una menor cantidad se encuentra el Argón con un 0.9% y el bióxido de carbono representado por el 0.03% (Richardson , Steffen, & Liverman, 2011). Los **elementos** que forman la **atmósfera** no pueden absorber la luz solar de alta energía, es decir aquella de ondas de longitud corta, por lo que estos **compuestos**, dejan pasar la mayor parte hacia la **corteza terrestre**.

Del total de la luz solar que llega al planeta, el 30% es reflejado como espejo hacia el espacio, mientras que la **atmosfera** retiene solo un 20% de la energía solar y el 50% restante llega hasta los continentes, al calentarse, la **superficie** de la Tierra transforma la luz solar de alta energía en radiación de baja energía, es decir, ondas de longitud grande, las cuales son reflejadas nuevamente hacia la **atmósfera**, esta energía de ondas de longitud grande, si puede ser absorbida de manera muy eficiente por algunos de los **gases** atmosféricos, de manera particular el CO₂, siendo ésta la principal fuente de calor para la **atmósfera** (Figura 2). Este proceso es a lo que llamamos efecto invernadero y hace que el planeta mantenga su temperatura media global, por lo que es un proceso natural necesario para la existencia de vida en la Tierra. (Caballero M. , Lozano, Ortega, & Vázquez , 2010).

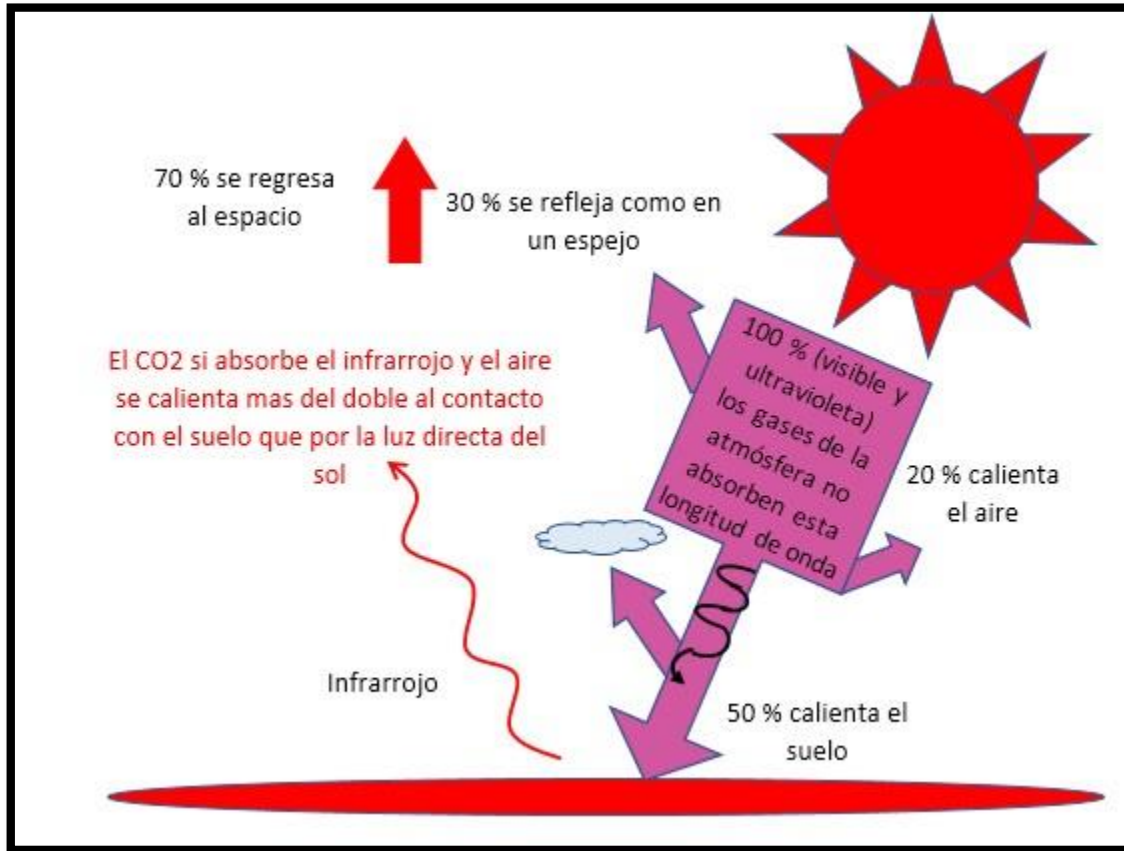


Figura 2. Efecto Invernadero.
Fuente.(Caballero, Lozano, & Ortega, 2007)

1.2. Gases de efecto invernadero (GEI)

Los (GEI) son los componentes gaseosos de la **atmósfera**, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda provenientes de la superficie de la Tierra, la **exterior planetario** y las nubes (Benavides & León, 2007).

La emisión continua de estos **gases** provoca un mayor calentamiento de la superficie terrestre, ya que absorben mayor radiación de la que posteriormente es devuelta por la superficie terrestre. El efecto de estos en el cambio climático depende de tres factores principales: la cantidad o concentración de los mismos en

la atmósfera, el tiempo que permanecen en ella y el nivel de impacto en la temperatura global (Compañía Energética Global, 2015).

De acuerdo con el Banco Mundial (2019), para el año 2012 se dio un incremento del 40% en la emisión de gases de efecto invernadero totales en comparación con el año de 1991. Siendo el CO₂ el principal GEI, seguido del Metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFC) y Ozono (O₃) (Brown, y otros, 1994).

1.3. Calentamiento global

El calentamiento global es el aumento de la temperatura en la [atmósfera](#) y océanos del planeta, refiriéndose en mayor parte a causas humanas, por ejemplo, el incremento en la cantidad de CO₂ en la [atmósfera](#) partir de la revolución industrial, pasando de las 280 partes por millón (ppm) a más de 413 ppm para el año 2018; este incremento de CO₂ se debe a la actividad humana desarrollada en particular en las economías más avanzadas (Ver tabla 1) (Garduño & Geffroy, 2008).

Tabla 1. Emisión de CO₂ en millones de toneladas en 2002 y la previsión para 2025.

País	Año 2002	Año 2025	Crecimiento promedio anual %	Crecimiento
Mundo (Totales)	24,410	38,791	2.0	58.9
Estados Unidos	5,752	7,980	1.4	38.7
Europa Occidental	3,550	3,953	0.5	11.4
Japón	1,180	1,242	0.2	5.3
Canadá	586	806	1.4	37.5
Australia/Nueva Zelanda	447	608	1.3	36.1

Continuación de la tabla 1, Emisión de CO₂ en millones de toneladas en 2002 y la previsión para 2025

País	Año 2002	Año 2025	Crecimiento promedio anual %	Crecimiento
Europa Oriental	725	1,008	1.4	38.9
Rusia	1,411	1,865	1.2	32.2
Otros FSU	989	1,513	1.9	53.0
China	3,323	8,134	4.0	144.8
India	1,026	1,993	2.9	94.3
Corea del Sur	451	722	2.1	60.2
Otros países en desarrollo: Asia	1,407	2,689	2.9	91.1
México	363	590	2.1	62.6
Brasil	341	678	3.0	98.9
Otros América central/Sur	645	1,129	2.5	75.0
Medio Oriente	1,359	2,352	2.4	73.0
África	854	1,524	2.6	78.5

Fuente. (Garduño & Geffroy, 2008).

Como consecuencia primaria del aumento de la emisión de estos elementos por causas antropogénicas es la alteración de la composición atmosférica natural.

Según el Panel intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2009) si se duplicara la concentración de bióxido de carbono con base a las de 1970 (280 ppmv) la temperatura podría aumentar desde 1.5 hasta 5.8 °C lo que daría como consecuencias derretimiento acelerado de los glaciares y esto a su vez el incremento del nivel del mar hasta 60 cm; esto afectaría

directamente zonas costeras, e islas, así como a la biodiversidad del planeta entre otros aspectos.

1.4. Cambioclimático.

El termino cambio climático incluye a todas las **variaciones del clima** que han ocurrido durante la historia del planeta, esto incluye aquellos periodos en los que había climas extremadamente fríos, conocidos como glaciaciones y momentos de clima relativamente caluroso, como es el actual conocidos como interglaciares y que estas **variantes** están asociados a factores como cambios en la actividad solar, en la circulación oceánica, en la actividad volcánica o geológica, en la composición de la atmósfera; es así que el termino **calentamiento global** permite obtener un panorama más claro del fenómeno que tanto nos preocupa hoy en día. (Caballero, Lozano, & Ortega, 2007).

También se conoce como variabilidad climática el estado del clima establecido por parámetros de valor medio y sus propiedades con base a una unidad de tiempo, este puede deberse a ciclos solares, procesos naturales, actividad volcánica o actividad antropogénica persistentes (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013)

1.5. Ciclobiogeoquímico del carbono.

El carbono es un elemento esencial de los organismos vivos, dentro de éstos integra compuestos orgánicos moleculares importantes en funciones vitales combinado con otros elementos como el azufre, hidrógeno, fosforo y oxígeno (Gayoso, Guerra, & Schlegel , 2001).

El principal almacén de carbono lo constituye la atmósfera, CO₂ (como producto de la respiración y/o de algún proceso de combustión), el carbono es incorporado a través de los estomas al interior de las hojas de las plantas, por medio de un proceso fotoquímico conocido como **fotosíntesis: Por medio de este proceso** los árboles toman CO₂ del aire, lo combinan con hidrógeno que obtienen del agua del suelo

utilizando la energía almacenada en los cloroplastos y, a partir de estos, se sintetizan los carbohidratos básicos que, al combinarse con otros elementos minerales del suelo, pueden ser utilizados para aumentar el tamaño de los órganos vegetales y de esta forma satisfacer las necesidades reproductivas, por lo que la función biológica de las plantas es tomar los factores de crecimiento disponibles sobre una área determinada y transformarlos en compuestos orgánicos de diversas composiciones (Bazán, y otros, 2003).

El ciclo del carbono se basa en su fase gaseosa fundamentalmente en el CO₂ presente en la atmósfera y que es emitido tanto por procesos naturales (fotosíntesis, actividad volcánica), como antrópicos (industria, cambio de uso de suelo, incendios forestales, quema de combustibles fósiles); este carbono es absorbido por los océanos y la biomasa por medio de flujos entre atmósfera, agua superficial oceánica y superficie terrestre viva en sus diferentes procesos de los ciclos biogeoquímicos, el tiempo vital del carbono atmosférico oscila entre los 5 y 200 años (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2009).

El CO₂ a temperatura ambiente no posee características organolépticas, sin embargo, a temperaturas inferiores a los 78°C solidifica, al estar en contacto con agua y ausente de presión éste buscará volatilizarse y al conseguirlo, forma parte de los gases de efecto invernadero, que en concentraciones adecuadas es benéfico al no permitir que salga el calor y la tierra mantenga la temperatura ideal para el desarrollo de la vida, de lo contrario el planeta sería un enorme bloque de hielo (Monroe, Pozo, & Wicander, 2008).

El CO₂ es aprovechado por los árboles mediante poros de las hojas llamados estomas, necesarios para la realización de la función de la fotosíntesis, procesado y almacenado como biomasa; el carbono que se procesa en las plantas se conoce como producción primaria bruta (ppm) la cual se calcula a nivel global en 120 PgC/año, de los árboles se disparan diferentes destinos de desecho o fuente de carbono; por descomposición de materia orgánica muerta depositada sobre el suelo

(oxidación) y lo regresado a la atmósfera como CO₂ por medio de respiración corresponde al 50%, el resto va quedando procesado como biomasa (madera, hojas, ramas, raíces) (García, Nogués, & Rezeau, 2010)

En la figura 3, observamos la relación atmósfera-biósfera y el constante intercambio de carbono que se realiza en diferentes etapas del ciclo.

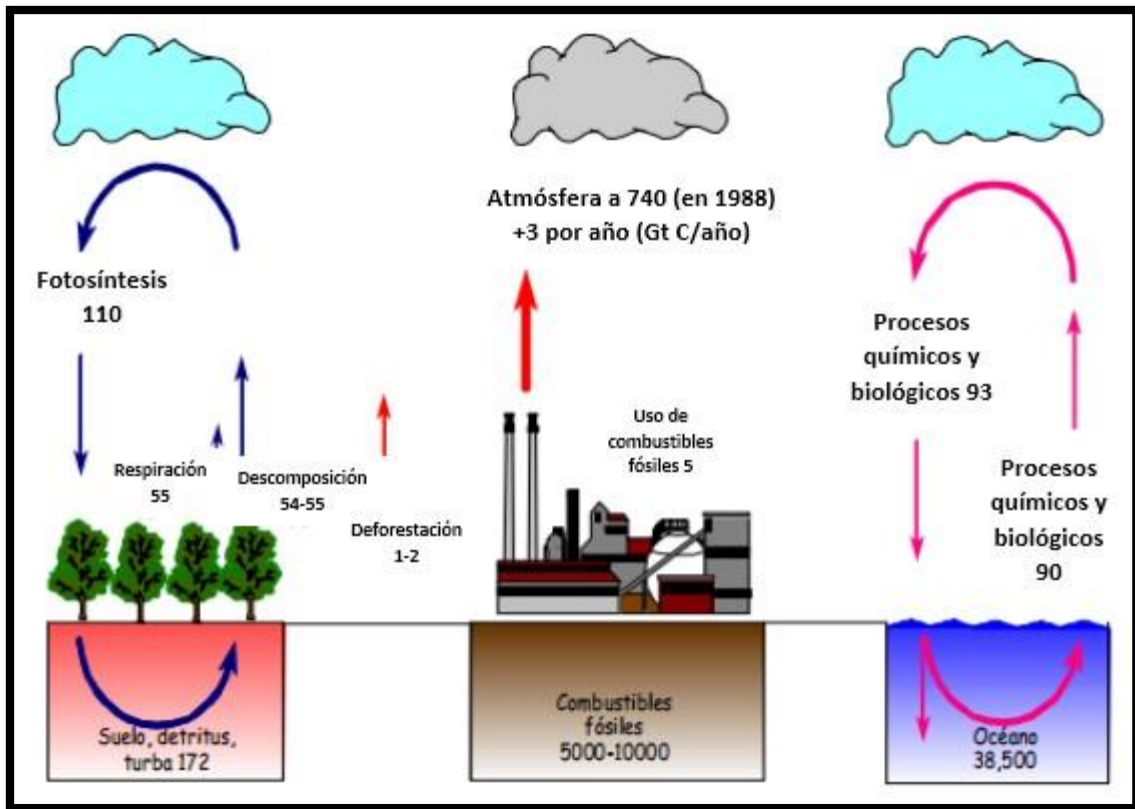


Figura 3. Fuentes y sumideros de carbono.
Fuente (Ordoñez, 2010)

Al morir los animales, así como las plantas son procesados por los microorganismos del suelo e incorporados en forma de anhídrido carbónico y posteriormente éste es devuelto a la atmósfera (Alcantara, Lefevre, Rekik, & Wiese, 2017).

1.6. Fijación y almacenamiento de carbono.

El secuestro y almacenaje de C toma un papel de importancia significativa en la reducción de concentraciones de CO₂ que son emitidas. El almacenamiento de C es interrumpido cuando el árbol es derribado y utilizado como leña o incorporado al suelo en forma de descomposición, aunque también se libera el C en la generación de incendios forestales; además de que los árboles solo almacenan carbono durante el periodo de desarrollo, una vez que éste ha llegado al estado de madurez le es imposible seguir acumulando carbono pues alcanzan un punto de saturación por haber completado su desarrollo. A partir del punto de madurez, el arbol solo absorbe C necesario para su respiración y sus funciones con respecto al suelo, en otras palabras, un árbol maduro no tiene la misma capacidad para capturar C en comparación con un joven (Fernández & Martínez, 2004).

El bióxido de carbono (CO₂) capturado por los árboles participa en el desarrollo del mismo, el crecimiento con respecto a la altura, el grosor del tronco, la generación de las hojas y ramas que componen la copa o dosel mismo que se encarga de proporcionar de materia orgánica al suelo y pueda aportar carbono al matillo que al descomponerse da origen al humus, a su vez, el árbol al incrementar su altura y diámetro del tronco éste cumple las condiciones específicas para ser aprovechado maderablemente en términos de aserrío comercial aprovechables para la construcción, carpintería rústica (muebles) o industrial (embalajes) los cuales tienen un tiempo de vida útil para después de ser desechados se incorporarán a la atmósfera o al suelo dependiendo el destino final de tratamiento (Fernández & Martínez, 2004).

1.7. El bosque como reservorio de carbono .

Una vez que el CO₂ atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse. Durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es reemitido, ya sea al suelo o a la atmósfera, se considera que se encuentra almacenado (Ordoñez, 2010).

Los principales componentes que interactúan en la dinámica de los ecosistemas forestales, de acuerdo con la Comisión para la Cooperación Ambiental (Birdsey, y otros, 2016), son la biomasa, el piso forestal conocido como mantillo y la materia orgánica del suelo.

La dinámica constante de efluentes y afluentes de **carbono** en el bosque está en función del clima, tipo de especies que se desarrollen y la estructura y composición del suelo, así como la relación entre producción y descomposición misma que será la que determine si es un sumidero o una fuente de **C** (Birdsey, y otros, 2016).

Los bosques de México están alarmantemente perturbados con un 22.1% de la superficie, cifras del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2015), lo que significa una pérdida en su calidad de recurso forestal, por la degradación relacionada a la pérdida de biomasa y el potencial productivo del área, suelo y alteración en la diversidad de especies de flora y fauna. Según el Instituto Nacional de Ecología (Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático, 2017), México emite 37 millones de toneladas métricas de carbono por año solo por degradación y deforestación forestal, lo que representa la segunda fuente de emisión más importante de GEI en el país.

La razón de desmonte de áreas forestales es principalmente por acciones de amplitud agrícola y ganadera. Los incendios también juegan un papel importante en la pérdida, así como el aprovechamiento maderable (FAO, 2015; Cruz & Ressler, 2012).

En la Figura 4, podemos apreciar el papel tan importante que juega un ecosistema forestal en el almacenaje y flujo de carbono, las ramas, fuste, hojarasca, desechos y cada producto con almacenes de carbono mientras que la reincorporación al ciclo es mediante la quema de combustible o por descomposición.

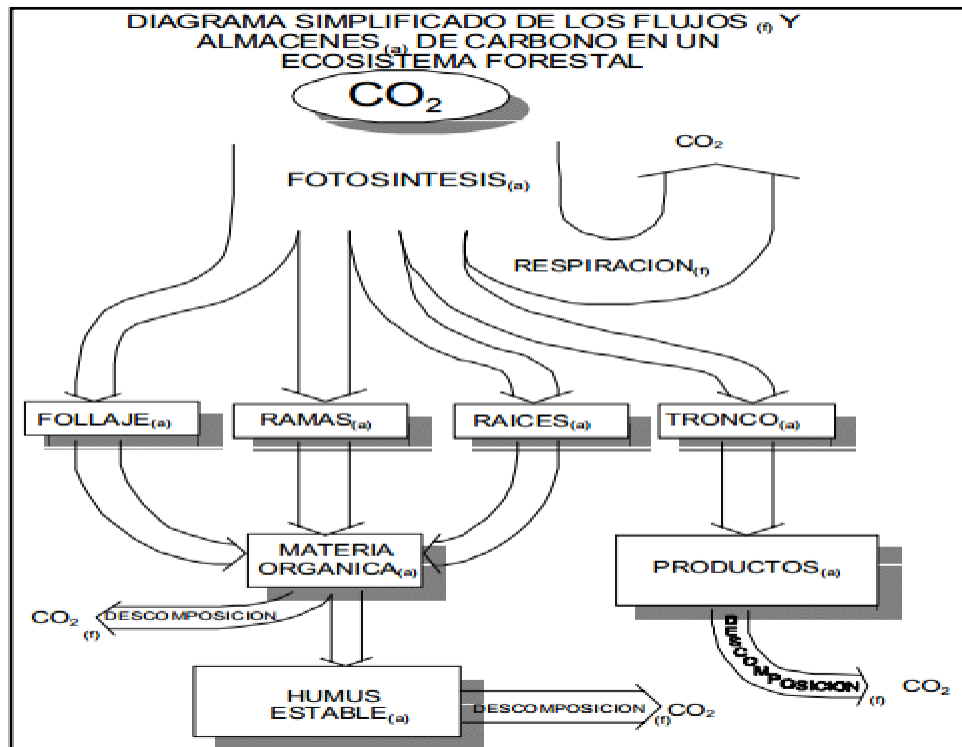


Figura 4. Almacén y flujo de carbono en ecosistema forestal.
Fuente: (Ordoñez, 2010)

1.8. Estimación de biomasa .

El análisis en la determinación del contenido de carbono **conlleva** la aplicación de inventarios forestales, el someter un cambio de uso de suelo repercute en cambios en la dinámica de captura de carbono y determinar la variación de los mismos **se refleja en** un gasto monetario mayor (Coles, 2003).

Existen varios métodos para la determinación biomasa, entre los cuales resaltan los estudios la implementación de inventarios de campo para estimación a baja escala y, para cálculos a gran escala existen los sensores remotos. Éstas mismas pueden ser utilizadas para unidades de manejo de extensiones mayores como rodales (Mass, 2009).

La acumulación de C en la **estructura** arbórea (biomasa) nos da la pauta para conocer las distribuciones de nutrientes por **estratos**, la producción primaria bruta y los reservorios de carbono (Coles, 2003). Sin embargo, existen otros factores que también juegan un papel importante en el desarrollo de los árboles como lo son la disposición de luz que recibe la especie, el agua y la densidad, así como el tipo de manejo silvícola específico como lo son las podas, aclareos y prácticas sanitarias, en el caso de las plantaciones comerciales. Un rodal se ve saturado con respecto a la densidad (número de individuos por hectárea) por motivos de incremento de los recursos como agua, nutrientes y luz originando demanda de estos, es decir, competencia dentro del mismo individuo dividido en fase aérea y fase radicular (Bazan, Paz, Saynes, & Wong, 2014).

En la actualidad la deforestación y degradación forestal son uno de los principales agentes del cambio climático global al producir emisiones netas de **CO₂**, motivo por el cual se ha llegado a la conclusión que, si se intercalan proyectos de reforestación con estrategias de conservación forestal a nivel mundial, los bosques serian un sumidero neto de carbono para el siguiente centenar de años dando como resultado la disminución de emisiones de **CO₂** de hasta el 50% (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013).

1.9. Instrumentación de proyectos forestales de mitigación.

Para que un país pueda recibir bonos por reducción de emisiones, se requiere de la implementación de proyectos forestales que va desde la reforestación, sustitución de combustibles fósiles, hasta la preservación de bosques donde el punto de partida es la cuantificación del carbono existente en el ecosistema, con lo que se establece un criterio en el cálculo dinámico en la cuantificación de la mitigación (Ordoñez, 2010).

Ya que se tienen la línea base se requiere de un cálculo de la captura de carbono, lo que permite acreditar los beneficios en el proyecto, instrumentado la línea base como referente sobre la adición de C a consecuencia del proyecto implementado. Se cuenta con tres métodos que son:

1. **Almacén de carbono.** Estima el cambio en el contenido de carbono entre los almacenes del proyecto y la línea de base en un tiempo determinado.
2. **Almacenamiento de carbono promedio.** Calcula el carbono promedio almacenado durante la permanencia del proyecto, considerando la dinámica del carbono en el sistema de manejo.
3. **El método de tonelada año.** El cual acredita solo una proporción del cambio total de las emisiones o almacenes de carbono por año del proyecto. (De Jong, Masera, & Ordóñez, 2001)

La captura de C también depende del tiempo de duración de los proyectos. Para algunos de los autores, los proyectos deben mantenerse a perpetuidad, otros consideran que la duración debe variar según los “tiempos de operación” de cada proyecto y otros más consideran que la duración de los proyectos debe establecerse en el periodo de 100 años propuesto en el kilopondio (PK) (De Jong, Masera, & Ordóñez, 2001).

1.10. Mercado de bonos de carbono .

Bonos de carbono es el nombre con el que se denomina a una serie de instrumentos económicos y de mercado, creados para reducir las **emisiones** de gases de efecto invernadero (GEI) (Vázquez, s.f.)

El mercado de carbono o de reducciones de emisiones de GEI surge **derivado de** la necesidad de tomar medidas **ante** la evidencia de que a causa de actividades humanas, se está dando un proceso de calentamiento climático global acelerado debido a la concentración de **GEI**, con los consecuentes impacto negativos sobre la salud de los seres humanos, su seguridad alimentaria, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales y de infraestructura física, el primer paso para el surgimiento de este mercado fue la decisión de las naciones del mundo de firmar una convención marco de cambio climático para comprometerse a estabilizar la emisión de estos gases ; esta convención, firmada en 1992 bajo el nombre de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, tiene como principio fundamental que los países deben tomar medidas precautorias para anticipar, prevenir o minimizar las causas del cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017).

Existen dos tipos de mercados de carbono: los de cumplimiento regulado y los voluntarios. El mercado regulado es utilizado por empresas y gobiernos que, por ley, tienen que rendir cuentas de sus emisiones de GEI. Está regulado por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales. En el mercado voluntario, en cambio, el comercio de créditos se produce sobre una base facultativa (Seeberg, 2010).

1.11. Análisis de cronosecuencias en almacenes de carbono .

El estudio de datos de plantaciones forestales de diferentes edades nos da la oportunidad de analizar las secuencias de sucesión de las comunidades que habitan un sitio a través del tiempo dentro del concepto de cronosecuencias para así determinar la cantidad de carbono almacenado mediante un modelo matemático de proyección (Vargas, 2012).

De manera similar lo ejecutó Vargas (2012) en su investigación “Análisis de una cronosecuencia de bosques tropicales del corredor biológico Osa, Costa Rica” donde se observó que los individuos de crecimiento lento dentro de la etapa de plántula a juvenil la capacidad de captura es alto con respecto a la misma especie dentro de la etapa adulta donde ya la tendencia de menor, en retrospectiva alto como almacén de carbono.

Capítulo 2

Materiales y métodos.

2.1. Zona de estudio

El presente trabajo de tesis consta de una investigación descriptiva, donde se establecen sitios de muestreo con etapas de almacenamiento de carbono en una cubierta de plantaciones forestales que se ubican dentro del predio “Bienes Comunes de Santiago Tlacotepec”. Se tomaron en cuenta 5 reforestaciones en distintos años y un área de bosque conservado. Esta comunidad cuenta con parte de sus bienes comunales inmersas dentro del polígono del Área Natural Protegida (ANP) bajo la categoría de “Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca” (CONANP, 2019)

2.1.1. Clima .

De acuerdo al prontuario de información geográfica municipal de los estados unidos mexicanos para Toluca, con clave geoestadística 15106, 2009. El clima pertenece a un templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (73.79%) para la mayor parte del municipio, sin embargo, para la zona de estudio y el gradiente altitudinal con el que se cuenta, se reportan 2 tipos de clima a lo largo del año, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (23.23%) y frío de altura con marcado invierno (2.98), el rango de temperatura va desde los -2°C hasta los 14°C y con una precipitación media anual de 1500 mm (INEGI, 2009).

2.1.2. Edafología .

La zona de estudio cuenta con condiciones muy variantes presentando los siguientes tipos de suelo: Feozem (23.08%), Andosol (46.65%), Arenosol (13.92%), Vertisol (15.89) y Planosol (0.46%); la interacción de estos suelos no son más que el resultado de la interacción de los procesos de formación que se desarrollan en la región (INEGI,

2016). Debido a que la zona de estudio es parte de un ANP, la parte boscosa se encuentra en su mayoría con poca perturbación y manejo, sin embargo, los incendios forestales si han tenido lugar, provocando alteraciones en las condiciones de conservación del suelo.

2.1.3. Vegetación.

La flora que compone el área de protección de flora y fauna Nevado de Toluca, de acuerdo con INEGI (2016) se compone por:

- Bosque de conífera.
- Bosque de encino.
- Bosque de aire.
- Pastizal.
- Sin vegetación aparente.
- Vegetación inducida.

Aterrizando al caso de estudio, la vegetación presenta árboles y arbustos de hasta 30 metros de altura, cortezas rojizas a marrón, escamosas y agrietadas. En los sitios de muestreo debido a que son reforestaciones, encontramos especies sólo de Pino tales como *Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus greggii* y en el sitio de referencia hojosas como lo son el madroño (*Arbutus xalapensis*) y fresno (*Fraxinus uhdei*).

2.2. Método .

Para la selección y delimitación de los sitios, así como la medición de las variables se utilizó el método de muestreo diseñado por la CONAFOR (2015) implementado en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). Asimismo, se utilizaron fórmulas alométricas del Programa Mexicano del Carbono (Programa Mexicano del Carbono, 2018).

Se elaboró un mapa cartográfico de ubicación espacial de los Bienes Comunes con apoyo del sistema de información geográfica ArcGis 10.4 y con base a datos digitales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010), para obtener la proporción de la masa forestal y poder extrapolar adecuadamente los resultados arrojados por el muestreo de arbolado.

2.3. Diseño de muestreo.

Las unidades de muestreo son los elementos utilizados para seleccionar la muestra, para el presente trabajo se utilizaron sitios de 1000 m^2 (radio de 17.84 m).

En el centro del sitio se ubicó un sub sitio de 1 m^2 orientado hacia el norte franco (azimut $0/360^\circ$) para medir hierbas y arbustos, tomando en cuenta su peso húmedo y su peso en seco. Posteriormente, dentro del conglomerado se evaluó el arbolado, midiendo entre otras variables, diámetro normal (DN o DAP= 1.3 m) y altura, así como la condición fitosanitaria de los árboles (plagas y/o enfermedades). Ver figura 5.

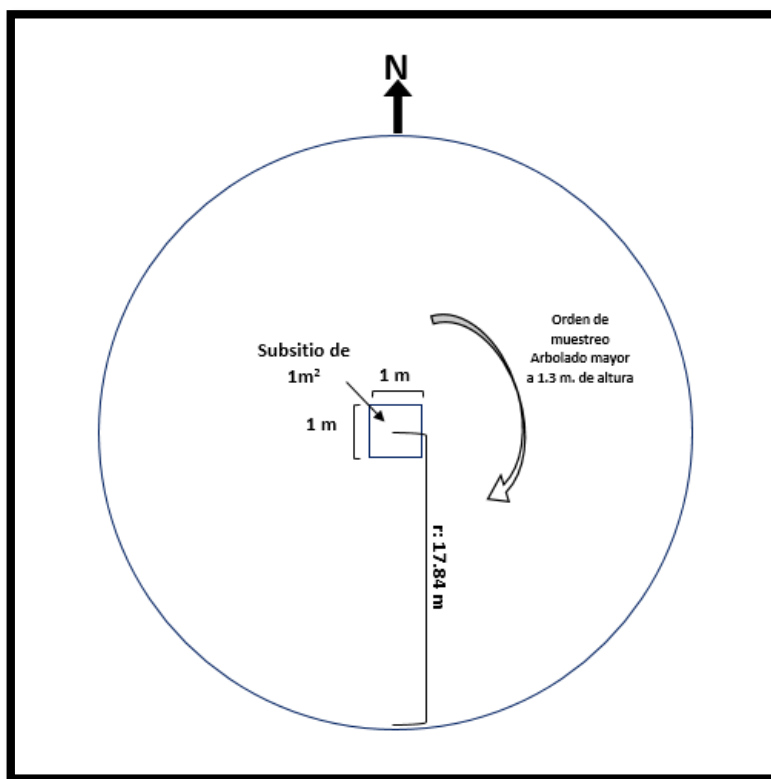


Figura 5. Diseño de muestreo.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

2.4. Colecta de datos.

- **Sitio de 1000m²:** Aquí se consideró a todo el arbolado presente dentro del radio de 17.84 m, para criterios de interpretación de resultados y manejo de información se tomó de forma cualitativa además de registrar la condición del individuo, es decir, vivo/muerto, así mismo, sí se presentó incendio forestal en el sitio y la presencia de alguna plaga y/o enfermedad.



Figura 1. Recopilación de datos dasométrico sitio de referencia.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 2. Trazo de muestreo, sitio 1000m².
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

- **Subsitio 1m²:** Una vez **localizado** el centro de sitio, se procedió a muestrear un espacio de 1m², el cual como se aprecia en la figura 8 se **colocó** un cuadro de tubería de PVC.



Figura 3. Cuadro de PVC de un área de 1m² orientado al norte.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

En esta área se tomó solo la vegetación arbustiva y herbácea, mientras que los arbustos se cortaron íntegros con por lo menos el tallo o cepellón dentro del área, aun cuando las ramas o parte del ejemplar quede fuera del metro cuadrado y las hierbas se cortaron a ras de suelo (figura 9).



Figura 4. Colecta de muestras del sotobosque.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Con ayuda de una báscula granataria se determinó el peso en húmedo del total de cada muestra, para posteriormente ser secada en estufa a 80°C por 24 horas (ver figura 10). Finalmente se volvió a pesar la muestra para registrar su peso seco.



Figura 5. determinación de peso húmedo de muestra del sotobosque.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 6. Preparación y empaquetado de muestras para secado en estufa.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

2.5. *Materiales.*

La lista de materiales para el establecimiento del sitio de muestreo se divide en grupos según la función y son:

- Para la ubicación del sitio.

Brújula, tabla para formatos, formatos de campo, unidad de navegación (GPS) Garmin e-trex 10, lápices, carta topográfica del sitio y clinómetro.

- Para el trazado del sitio

Cinta métrica de 50 m. longitud, flexómetro de 3 ó 5 m. de longitud, varilla de acero para el centro de sitio 1, tres estacas complementarias para fijación y tensión de cuerdas.



Figura 7. Materiales trazar y muestrear.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

2.6. *Ubicación del sitio.*

Para la elección del sitio de muestreo se tomaron los datos históricos de las reforestaciones realizadas dentro del predio, así como de un sitio de bosque de referencia y con la cooperación de la administración de los “Bienes Comunes de Santiago Tlacotepec” (ver figura 6), se recopiló las coordenadas de los sitios a

muestrear por medio de entrevista oral con el presidente ejidal el Sr. Pedro Alarcón (Tabla 2).

Tabla 2. Coordenadas de sitios de muestreo y año de reforestación

Año de reforestación	Latitud	Longitud
2015	19° 11' 42.1''	99° 42' 30.8''
2013	19° 11' 11.8''	99° 42' 58.1''
2010	19° 10' 59.2''	99° 43' 00''
1992	19° 10' 05.5''	99° 43' 54.8''
1983	19° 09' 09.0''	99° 43' 43.1''
Sitio de referencia (bosque conservado)	19° 09' 43.3''	99° 44' 23.4''

Fuente. Elaboración propia entrevista con autoridades ejidales. (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Las coordenadas pertenecen al punto centro de todo el sitio donde además se consideraron las condiciones del sitio, el enfoque de los resultados a obtenerse y los recursos disponibles, se tomó como fuente primaria de consulta las bases de datos del INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos) de la CONAFOR, el cual es un instrumento de política nacional en materia forestal, que contiene información geográfica y estadística de los ecosistemas forestales del país (CONAFOR, 2015).

En estas bases, es posible contar con información de diversos parámetros para seleccionar el área más apropiada para estudiar, consistente en miles de puntos georreferenciados a lo largo del país.

Las siguientes consideraciones fueron base para la elección de los sitios:

- Pendiente del terreno.
- Año de reforestación.
- Ecosistemas de estudio.
- Condiciones de accesibilidad.
- Tipo de propiedad.

Para agilizar los tiempos de muestreo y reducir costos, se empleó la estratificación mediante el establecimiento de áreas homogéneas o áreas de respuestas homogéneas (ARH) (Velasco *et al.*, 2013), lo que se busca es establecer una estrategia cuyo principio se basa en que, las regiones pueden clasificarse y homogenizarse por parámetros como por ejemplo altitud o tipo de vegetación.

Se identificaron vías de acceso en gabinete, así como su condición y otras referencias (ver figura 13), además del tiempo de traslado y programar el itinerario. Para la ubicación del sitio se debió georreferenciar la información, de tal forma que se facilitó la ubicación **del mismo**, y se pudo regresar al sitio en ocasiones subsecuentes.

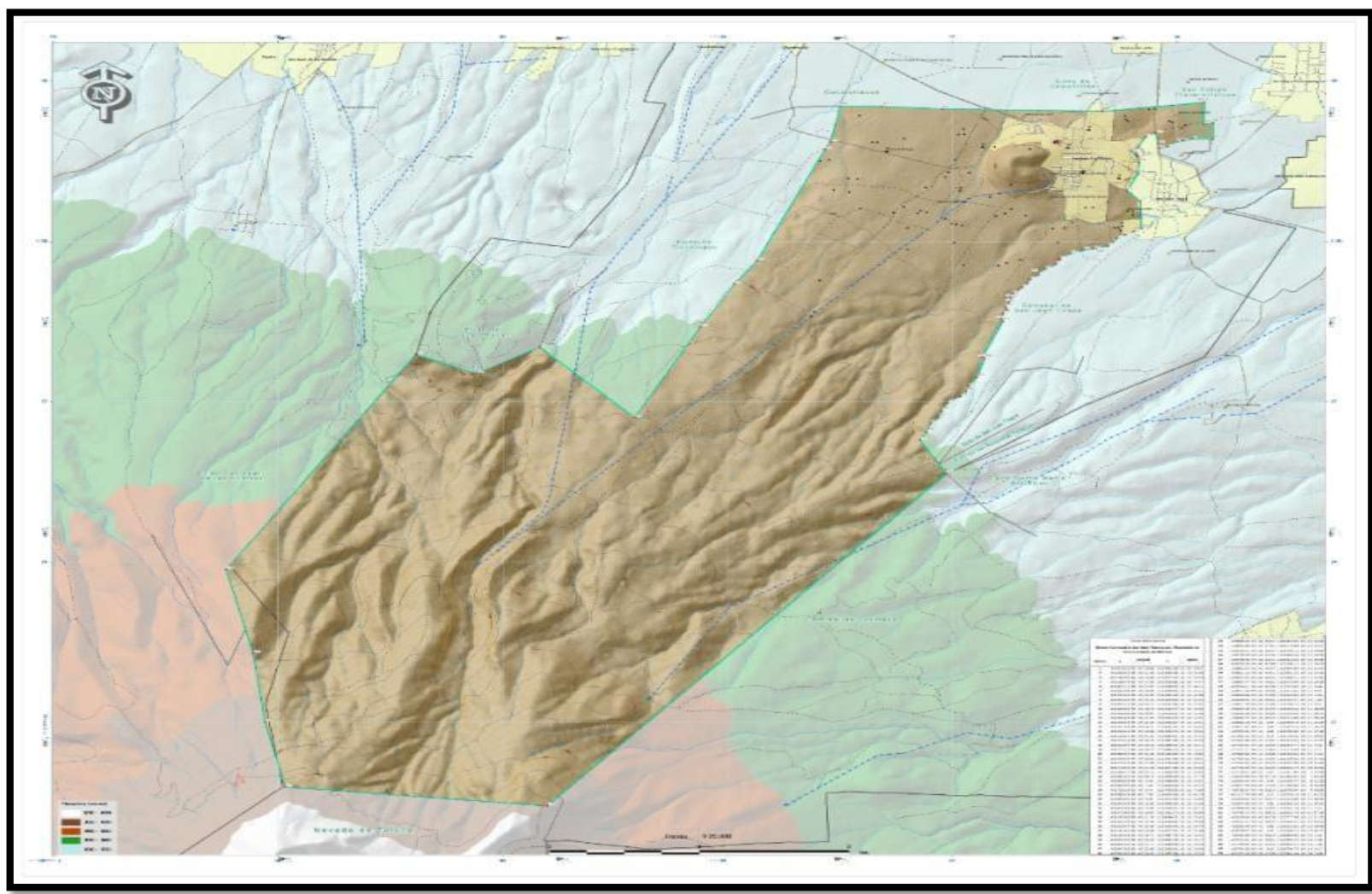


Figura 8. Ubicación de los bienes comunales Santiago Tlacotepec. Fuente:(GDAS, 2014)

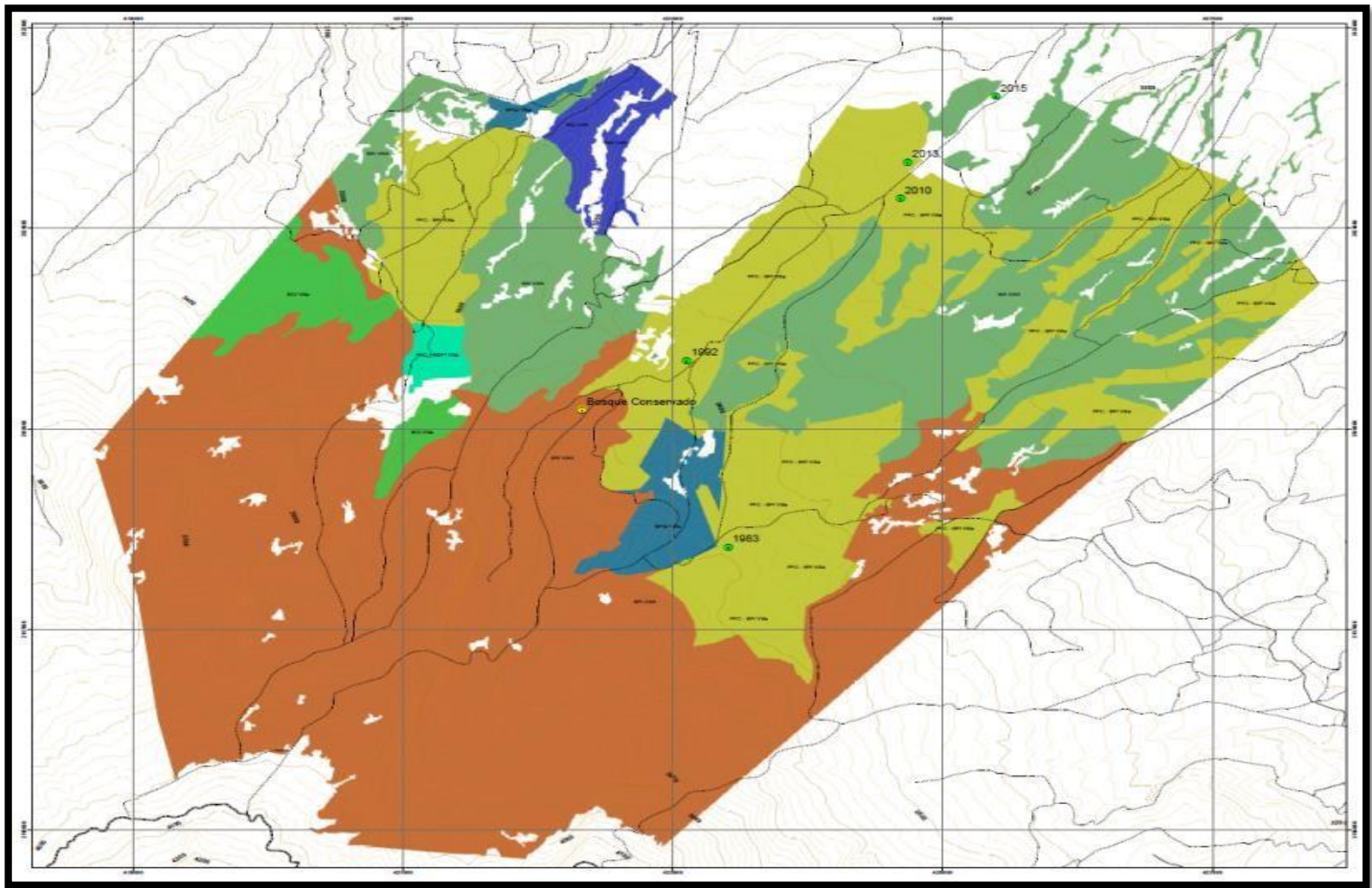


Figura 9. Diseño de muestreo. Fuente:(Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

2.7. Variables del arbolado

- **Diámetro normal (DN).** Medida tomada a 1.3 m de altura desde la base del árbol y por encima de la pendiente del fuste, se da en centímetros y puede ser tomada con forcípula o cinta diamétrica.
- **Especie del ejemplar.** Se compone por género y especie siendo estos los últimos en la escala taxonómica, en caso de no llegar a identificar hasta especie basta con el género del individuo.
- **Año de establecimiento de la plantación.** Será necesario contar con el año en que fue ejecutada la reforestación ya que por medio de ello se identificará la edad de los individuos y realizar las estimaciones de carbono en contraste con el tiempo.
- **Condición.** Se refiere a si el individuo se encuentra vivo o muerto.
- **Vigor.** Este dato es de carácter cualitativo o de apreciación ya que se medirá las condiciones fitosanitarias visibles que presente cada individuo y que tan avanzado se encuentra el daño.

Arbustos y herbáceas.

- **Peso húmedo.** Es el peso en gramos de lo recolectado dentro de la superficie de 1 m² correspondiente a hierbas y arbustos que en conjunto se le conoce como sotobosque.
- **Peso seco.** Es el peso dado en gramos de la muestra ya procesada y secada en la estufa de laboratorio.

Las variables necesarias son diámetro normal, año de establecimiento de la plantación y la especie del individuo dentro del muestreo se utilizarán para la estimación de biomasa total por individuo mediante ecuaciones alométricas.

Una vez arribado al sitio de muestreo se procedió a almacenar toda la colecta vegetal ubicada en el m² arrancando a ras de suelo herbáceas y arbustos, colocándola sobre la lona de trabajo evitando se mezcle con material externo para finalmente pesar el total de la muestra y depositarla sobre la bolsa para ser llevado a laboratorio a procesar.

Delimitamos el sitio en sus cuatro rumbos cardinales colocando al límite del radio, debidamente compensado según la pendiente, una estaca como evidencia física del área e iniciamos a muestrear todos los árboles que se encontraban dentro del radio de 17.8m y tuvieran una altura no menor a 1.4 m, la razón de esto es porque el diámetro normal se mide a una altura de 1.3 m de longitud del tronco sin importar si está o no curvo o inclinado. Dicho individuo debía estar dentro de la circunferencia en por lo menos un 50 por ciento de su base, sin importar si el resto del árbol se encontraba fuera del sitio.



Figura 10. Delimitación del radio del sitio de muestreo.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 11. Medición de DN con cinta diamétrica.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Para los casos de los individuos ramificados, se tomaron en cuenta como uno solo siempre y cuando dicha ramificación estuviera por encima de la altura o marca del diámetro normal; por otro lado, si la ramificación estaba por debajo de 1.3 m se tomaba como dos individuos. Para el caso en que la medida justa de 1.3 m de altura se encontraba en una protuberancia o malformación del fuste, el dato del DN se tomó 10 cm por debajo de ésta (CONAFOR, 2015)

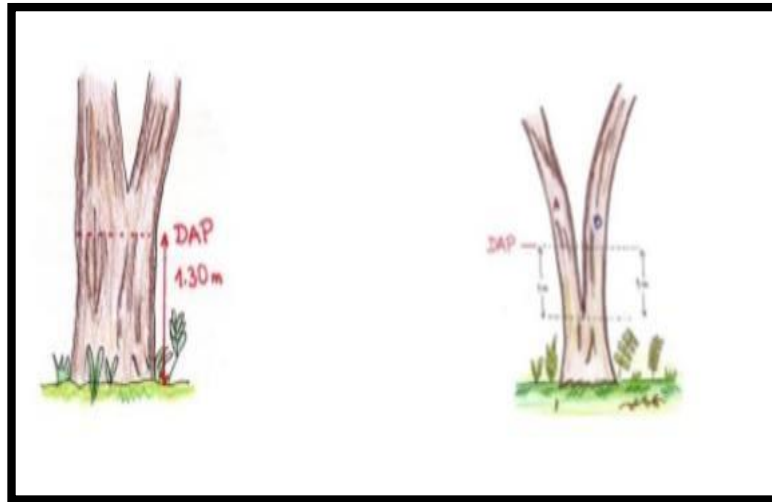


Figura 12. Representación de la colecta de DN.

Fuente: (CONAFOR, 2015)

El procedimiento para la toma de datos fue el siguiente.

Diámetro normal (DN): midiendo la altura de 1.3 m de longitud desde la base del árbol y sobre todo el centro paralelo al tronco, se colocó la cinta diamétrica sobre la circunferencia al grado de no ajustar de más la cinta y sin encimar la cinta para no tapar la numeración ni obtener una medición errónea.



Figura 13. Diámetro normal. Fuente: (CONAFOR, 2015)

En total, se llevó a cabo el muestreo de 412 árboles dentro de 6 sitios circulares con un radio de 17.8 m para lograr un área de estudio de 1000 m², de los cuales 5 corresponden a reforestaciones del género *Pinus* a una densidad inicial de 1,100 árboles por hectárea y el sexto fue tomado de la cubierta natural como “Sitio de referencia”.

RESULTADOS.

La ejecución del inventario dasométrico nos arrojó los datos que se muestran en la Tabla 3 “Muestreo en reforestaciones del género Pinus”. El sitio 1983 tenemos un total de 122 individuos, reflejando una cobertura de área basal de 33.71 m²/ha, siendo la categoría diamétrica de 10.1-30 cm la de mayor representatividad con 65.41% del Área Basal (AB), y 76.22% de individuos totales. El sitio 1992 cuenta con un total de 41 individuos de los cuales 15 caen dentro de la categoría diamétrica de 30.1-60 cm y aportan el 62.42% del AB (15.75 m²/ha); en contraste, los 24 individuos ubicados en la categoría de 10.1-30 cm que solo aportan 9.39% de AB (9.39 m²/ha). A partir de lo anterior, nos damos cuenta que, es mayor el número de individuos, aunque con menor diámetro normal por lo tanto menor biomasa. Los datos de sitio 2010 nos dictan que cuenta con un total de 136 individuos, de ellos 99 con DN de 0-10 cm (4.40 m²/ha AB), 36 con DN de 10.1-30 cm (3.30 m²/ha AB) y 1 de la categoría de 30.1-60 cm, aportando el 9.08 % de AB (.77 m²/ha). El sitio 2013 tiene el grueso de su población arbórea en la categoría de 0-10 cm (50 individuos) y un área basal de 0.99 m²/ha. El sitio 2015 reporta 48 individuos, todos menores de 10 cm de DN, con cobertura de área de .57 m²/ha. Por último, el sitio de referencia (vegetación natural) tiene un total de 15 individuos que aportan 19.93 m²/ha de AB ubicados en la categoría de 30.1-60 cm de DN.

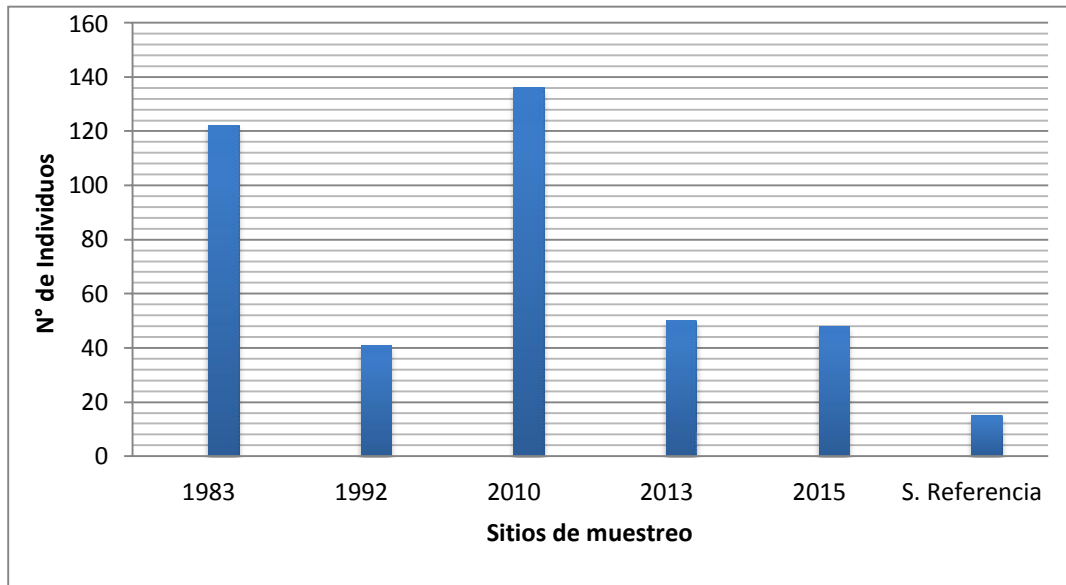


Figura 14. Gráfica de número de individuos por sitio.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Tal como se puede observar en la gráfica de la figura 12, el sitio de muestreo correspondiente al 2010 cuenta con Mayor número de individuos, seguido del sitio 1983, estos dos siendo los únicos con más de cien individuos en comparación de los sitios del 1992, 2013 y 2015 cuya densidad no rebasan los cincuenta individuos por unidad de muestreo (1000 m²).

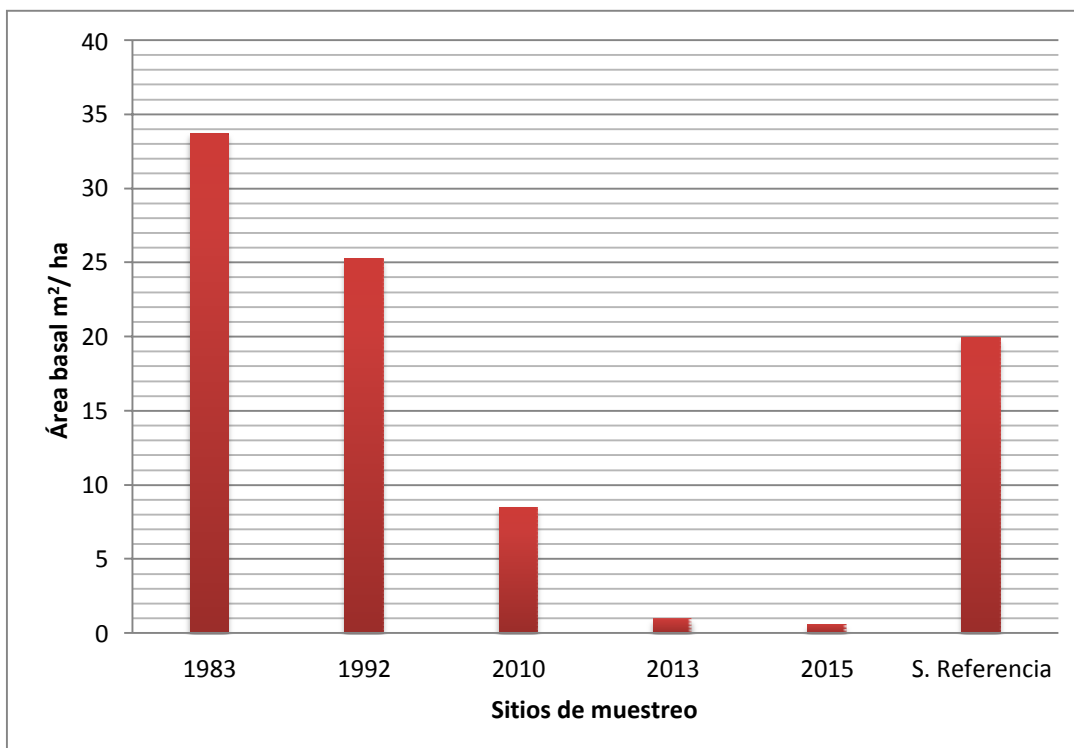


Figura 15. Gráfica de cobertura del área basal por unidad de muestreo.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Como podemos darnos cuenta, a pesar de que un sitio cuenta con mayor número de árboles por unidad de muestreo, no significa que contará con mayor cobertura basal por hectárea. El sitio de 1983 es el segundo sitio con mayor número de árboles, pero es el que mayor presencia de área basal (AB) tiene, con 33.71 m²/ha, comparado con el sitio de 1992, sólo presenta 41 árboles, siendo el segundo con menor número de individuos, pero representa el segundo con mayor AB obteniendo 25.27m²/ha.

397 individuos comprenden los diámetros normales de 0.7 hasta 52.4 cm, con edades de 3 años en el caso del sitio establecido en 2015 y de 35 años para el sitio establecido en 1983, teniendo un AB promedio de 13.80 m²/ha; en contraste, el sitio de referencia solo nos arrojó existencias de 15 individuos aunque con

Diámetro Normal (DN) mayores que van desde 30.8 y 58.1 cm y una cobertura de área basal por hectárea (AB/ha) de 19.93m² (Tabla 3).

La población densa se situó en las reforestaciones establecidas en 2010 y 1983 con 1360 y 1220 árboles por hectárea respectivamente (Tabla 3).

La categoría diamétrica de 0 a 10 cm es la más abundante con el 53.1% de la densidad total, en contraste de lo aportado en área basal total con sólo 9%, ocurre el fenómeno a la inversa para los árboles de mayor diámetro ubicados en la categoría de los 30.1 a 60 cm con el 9.7% de presencia aportando la mayor cantidad de Área Basal Total (ABT) (59%) y tuvo lugar en los sitios de 1992 y el de referencia con 15 individuos cada uno de ellos.

Tabla 3. Muestreo en reforestaciones del género *Pinus*.

SITIO	RANGO DIAMETRO NORMAL	N°. DE INDIVIDUOS	ÁREA BASAL M ² /HA
1983	0-10	20	1.03
	10.1-30	93	22.05
	30.1-60	9	10.62
	>60	0	0
	Total	122	33.71
1992	0-10	2	0.12
	10.1-30	24	9.39
	30.1-60	15	15.75
	>60	0	0
	TOTAL	41	25.27
2010	0-10	99	4.40
	10.1-30	36	3.30
	30.1-60	1	0.77
	>60	0	0
	TOTAL	136	8.48

Continuación de la tabla 3,

SITIO	RANGO DIAMETRO	N°. DE INDIVIDUOS	ÁREA BASAL
	NORMAL		M ² /HA
2013	0-10	50	0.99
	10.1-30	0	0
	30.1-60	0	0
	>60	0	0
	TOTAL	50	0.99
2015	0-10	48	0.57
	10.1-30	0	0
	30.1-60	0	0
	>60	0	0
	TOTAL	48	0.57
Sitio de referencia (Bosque natural)	0-10	0	0
	10.1-30	0	0
	30.1-60	15	19.93
	>60	0	0
	TOTAL	15	19.93

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Como se puede observar en la tabla 2 la variación en la presencia de grosor por segmento es en relación con la edad que van presentando cada una de las reforestaciones, el sitio más joven es el establecido en 2015 cuya edad corresponde a 3 años, sin embargo, presenta sólo el segmento de 0-10 cm con 48 individuos representando un área basal (AB) de 0.57 m²/ha.



Figura 16. Vista panorámica de sitio 2015 dirección sur-norte.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 17. Vista panorámica de sitio 2015 dirección sur-norte.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

El sitio 2013 al igual que el de 2015 sólo presentó un segmento de arbolado con 50 individuos dentro del rango de 0-10, si bien la densidad en este sitio es 4% mayor pero en área basal es casi del doble (73% más) en comparación al anterior (2015).



Figura 18. Vista panorámica desde centro de sitio 2013 dirección sur-norte.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 19. Vista panorámica de sitio 2013 dirección norte-sur.
Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Para el sitio correspondiente a la reforestación establecida en 2010 observamos que se cuenta con más distribución de arbolados por segmento, es decir, se cuenta con tres de los cuatro segmentos de diámetros. El sitio ya cuenta con ocho años de antigüedad donde los individuos ya tienden a ser más dispersos, se reporta 99 individuos en la categoría de 0-10 cm de diámetro, 36 en el de 10.1-30 cm y por último 1 en el de 30.1-60 cm; así mismo se refleja una mayor presencia

de área basal por el segmento de 0-10 con 4.40 m²/ha seguido por el sector de 10.1-30 cm con 3.30 m²/ha, por último, con un árbol dentro del sector de 30.1-60 cm que representa el 0.77m²/ha.

Cabe mencionar que dentro de este sitio se encontraron 97 individuos con evidencia de incendio sobre el fuste, aun así no aparenta haber sido significativo o perjudicial al sitio, al menos no en sobrevivencia del arbolado.



Figura

20. Se observa la delimitación física del metro cuadrado. Sitio 2010. Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 21. Vista panorámica del sitio 2010 que refleja la gran densidad existente. Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

La toma de muestra de la reforestación correspondiente al año 1992 nos arroja datos que van más de acuerdo un bosque bajo manejo y con individuos que pueden ser ya tomados en cuenta para algún aprovechamiento forestal.

La distribución del muestreo de este sitio se representa con 25.27 m²/ha de área basal siendo el más abundante en cantidad de individuos el sector de 10.1-30 cm con 24 ejemplares no así en Área Basal (AB) pues solo dan 9.39 m²/ha en cambio el sector de 30.1-60 cm nos arroja casi el doble de AB (15.75m²/ha) con 15 individuos, el segmento de 0-10 cm nos aportó valores con dos elementos con AB 0.12m²/ha para en total el sitio nos brinde 25.27 m²/ha con un total de 41 árboles.



Figura 22. Vista panorámica de norte a sur, 1992.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 23. Vista panorámica del sitio 1992, tomada de sur a norte.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Para concluir con los muestreos de reforestaciones se llevó a cabo la toma de datos del referente al año 1983. Este sitio nos aporta un AB de $33.71 \text{ m}^2/\text{ha}$ con 122 individuos distribuidos de la siguiente manera; en el segmento de 0-10 cm hay 20 individuos que suman $1.03 \text{ m}^2/\text{ha}$ de AB, en el de 10.1-30 se encuentran 93 ejemplares cubriendo $22.05 \text{ m}^2/\text{ha}$ de AB y por último 9 elementos dentro de los diámetros de 30.1-60 cm aportando $10.62 \text{ m}^2/\text{ha}$ al total de AB.



Figura 24. Delimitación física del metro cuadrado, sitio 1983.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 25. Se lleva a cabo el pesaje de la muestra del m².

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

Para tener un parámetro de comparación en este estudio, se realizó el levantamiento dasométrico de un sitio de referencia con características de bosque de coníferas y sin interferencia antropogénica.

En este sitio de referencia se muestreó un total de 15 individuos, 12 *Pinushartweggii*, 2 *Arbutusxalapensis* y 1 *fraxinus*sp. Todos los individuos entraron en la categoría diamétrica de 30.1-60 cm, con un área basal de 19.93 m²/ha.

2.8. Estructura diamétrica del área de estudio.

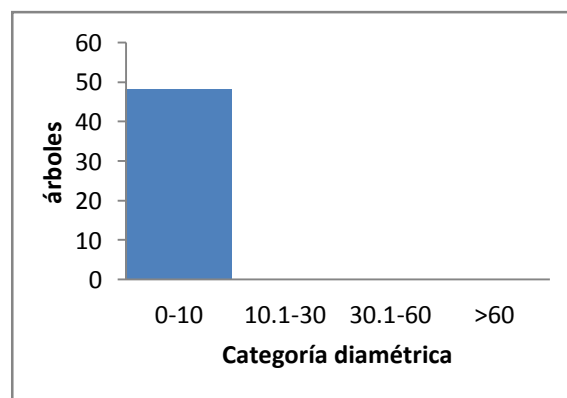


Figura 26. Estructura diamétrica del sitio 2015. Fuente:

Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

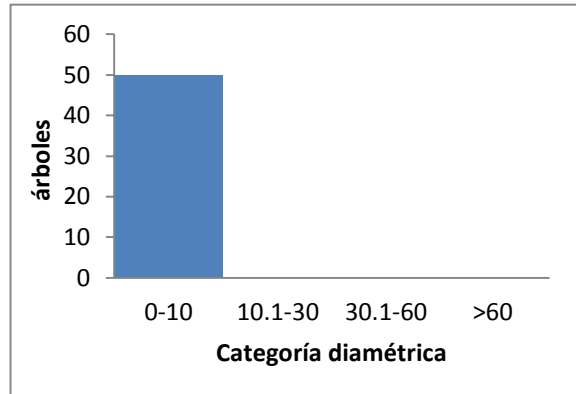


Figura 27. Estructura diamétrica del sitio 2013.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

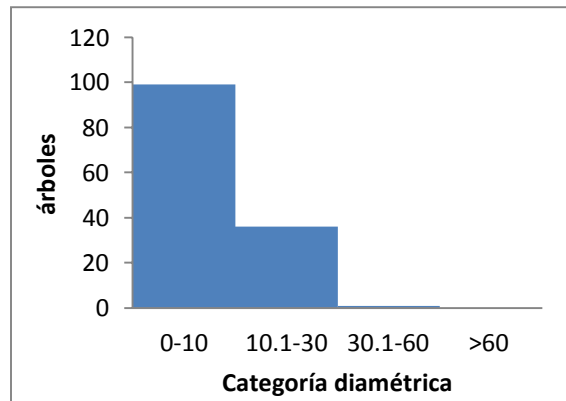
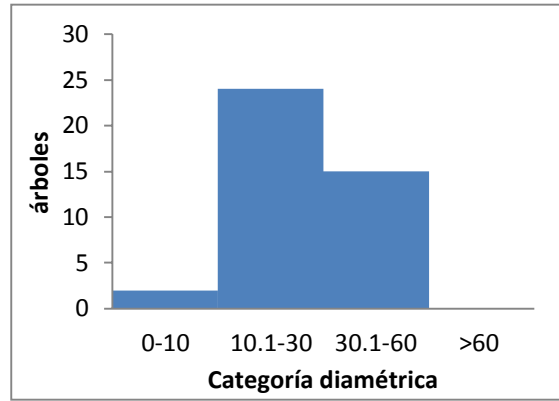


Figura 28. Estructura diamétrica del sitio 2010. Fuente:

Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).



Figura

29. Estructura diamétrica del sitio 1992.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

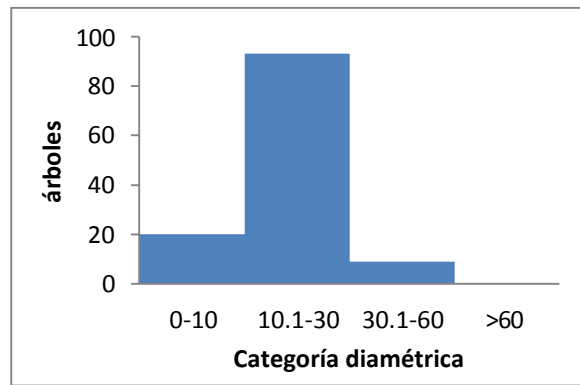


Figura 30. Estructura diamétrica del sitio 1983.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

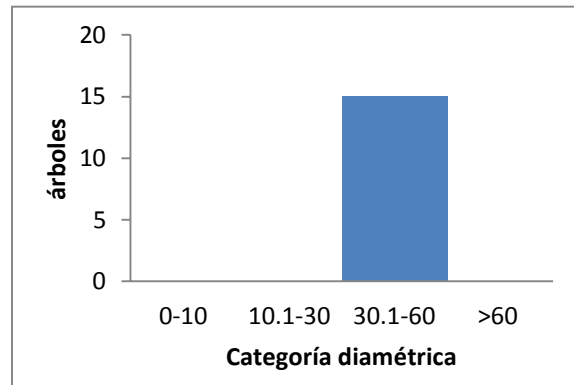


Figura 31. Estructura diamétrica del sitio de referencia.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

2.9. Biomasa para sotobosque .

En lo que respecta a los datos obtenidos del sotobosque se tomaron los pesajes del total de la muestra en húmedo.

Tabla 4. Peso húmedo de muestras del sotobosque.

Sitio de muestreo	Peso húmedo (g)
2015	560
2013	595
2010	270
1992	305
1983	230
Bosque de Referencia	460

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Los datos fueron recabados al delimitar físicamente 1 m² del centro del sitio de muestreo, tomando la totalidad de vegetación ubicada en esta área y colocándola dentro de una bolsa de plástico para la manipulación de la muestra y disminuir algún tipo de error al pesar.

2.10. Estimación de biomasa.

Para obtener la biomasa se aplicó la ecuación alométrica para bosque de coníferas de acuerdo con la especie correspondiente con la siguiente forma:

$$B = DN^a * b$$

Donde

B = Biomasa en Ton

DN = Diámetro normal (cm)

a = coeficiente de correlación

b = coeficiente definido para cada especie.

Un modelo alométrico es el conjunto de ecuaciones matemáticas con el objetivo de brindarnos como resultado volumen, biomasa y/o carbono de un individuo con base en la medición de variables tales como diámetro del tronco o diámetro normal y/o altura total que no es más que dar la dimensión correlativa al tamaño del ejemplar.

Tabla 5. Biomasa arbórea total (Ton/ha)

DIÁMETRO NORMAL (cm)	S. 2015	S. 2013	S. 2010	S. 1992	S. 1983	S. REFERENCIA
0-10	0.12	0.24	1.25	0.04	0.30	0.00
10.1-30	0.00	0.00	1.50	4.34	9.38	0.00
30.1-60	0.00	0.00	0.00	9.26	6.45	12.49
>60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL BIOMASA	0.12	0.24	2.75	13.63	16.14	12.49

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

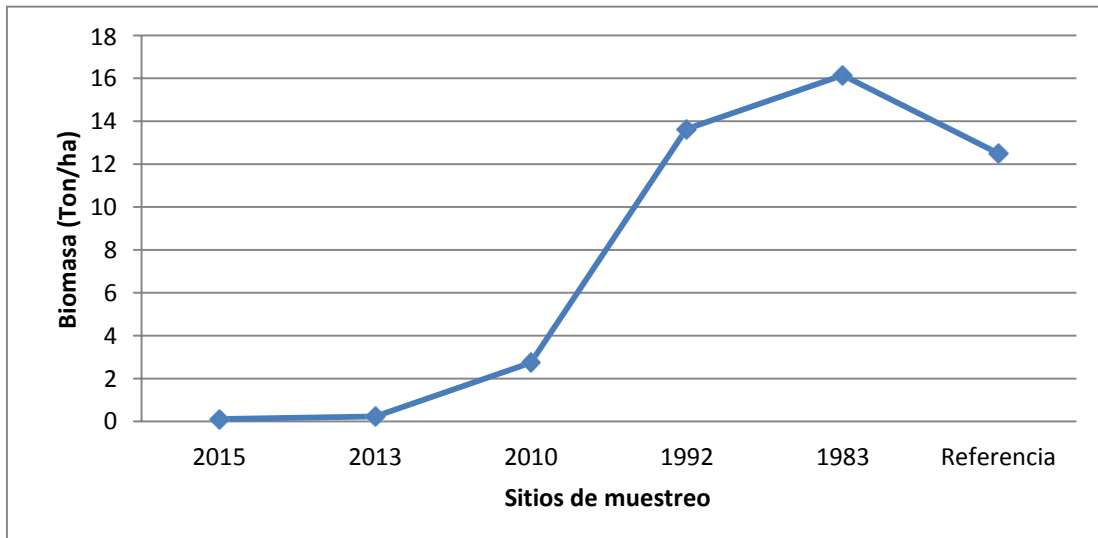


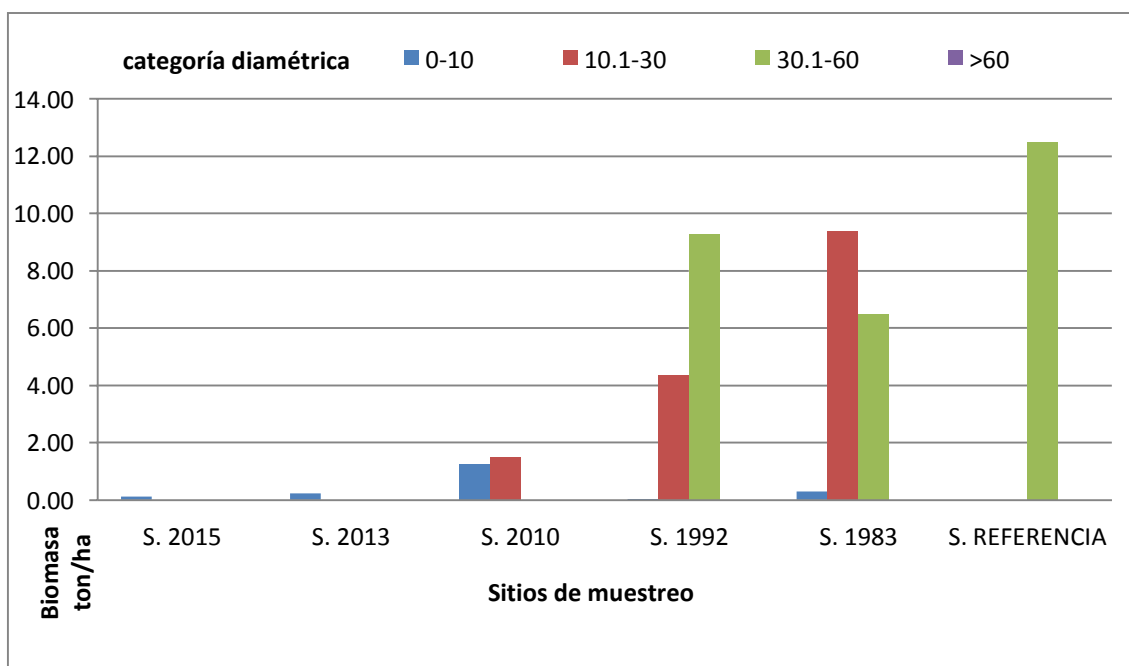
Figura 32. Gráfico biomasa total (Ton/ha).

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Del sitio reforestado en 1983 al 1992 existe una diferencia negativa muy significativa de biomasa de 2.5 ton/ha, la reforestación con mayor presencia de biomasa es la de 1983 con 16.14 ton/ha contra 12.49 ton/ha (sitio de referencia), lo que significa que es más de 3.64 ton/ha, aun cuando la reforestación tiene 107 individuos más.

Las aportaciones por categorías diamétricas se comportan de la siguiente manera: Para las reforestaciones del 2015 y 2013 la categoría 0-10 cm es del 100% de BA, la 2010 el 45% mientras que la 1992 y 1983 no representa ni el 5% de AB. La reforestación de 1983 contiene su mayoría BA en el segmento de 10.1-30 cm con el 58% mientras que en el resto de los sitios no figuran, por último, el sitio de referencia contiene la totalidad de AB está en la categoría de los 30.1-60 cm (figura 31).

Figura 33. Gráfico distribución de biomasa (Ton/ha) por segmento diamétrico.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Para el caso del sotobosque todas las muestras se procesaron en laboratorio, cada muestra se picó a manera de partes menores a 15 cm de longitud para colocarlas al interior de bolsas de estraza y así evitar que la muestra se quemara durante el secado en la estufa. La biomasa del sotobosque de cada sitio es el peso seco directo como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Biomasa total del sotobosque

Sitio de muestreo	peso seco g
2015	72.5
2013	81.3
2010	38.1
1992	16.3
1983	14.1
Bosque de Referencia	20.2

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).



Figura 34. Preparación de la muestra.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)



Figura 35. Se observa la colocación de muestras en bolsa de papel estraza.

Fuente: Elaboración propia (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019)

2.11. Almacenes de carbono.

Una vez obtenido la biomasa se calculó el contenido de carbono que de acuerdo con Schlesinger (1997) es del 45 al 50 % del peso seco total, para este caso el valor será de 0.5. El procedimiento consiste en multiplicar el valor de la biomasa por 0.5. El contenido de biomasa y carbono se determinó por individuo, posteriormente por cada sitio y después se extrapoló a hectárea.

A continuación se muestra en la tabla 7, las concentraciones de carbono capturado por categoría diamétrica en cada uno de los sitios de muestreo.

Tabla 7. Contenido de carbono por categoría diamétrica y sitio de muestreo.

Categoría diamétrica	2015	2013	2010	1992	1983	S. REFERENCIA
0-10	0.61	1.18	6.24	0.18	1.58	0.00
10.1-30	0.00	0.00	5.42	21.66	46.91	0.00
30.1-60	0.00	0.00	2.09	46.27	32.26	62.47
>60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbono (Ton/ha)	0.61	1.18	13.77	68.12	80.77	62.47

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

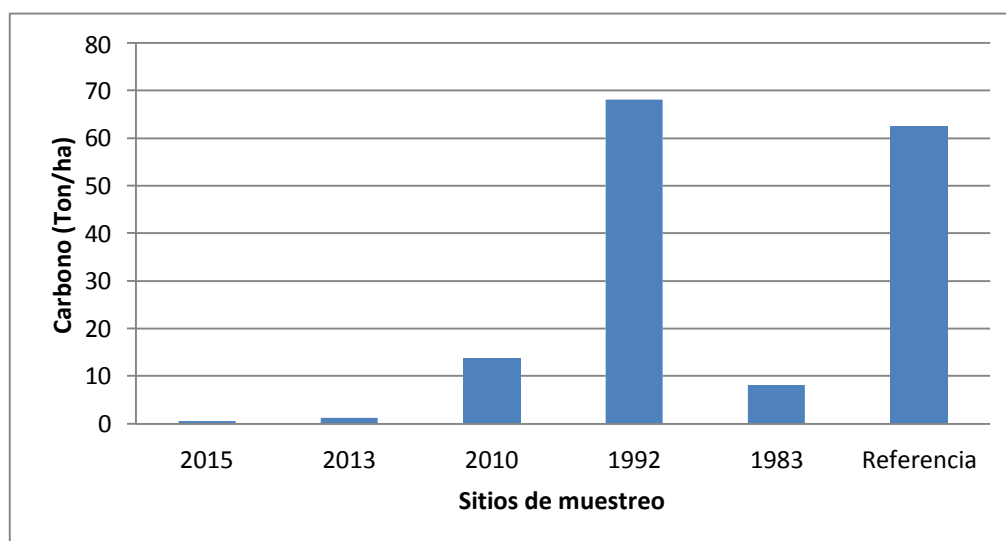


Figura 36. Gráfico Contenido de carbono aéreo total por sitio de muestreo.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

La cantidad de carbono almacenado total está comprendido en 226.93 Ton/ha, del cual el 35.59% lo aporta el sitio 1983, el 30.02% la sitio 1992, el sitio de referencia con 27.53%, Sitio 2010 6.07%, Sitio 2013 con 0.52% y Sitio 2015 0.27%.

El carbono del sotobosque se ve reflejado al multiplicar el peso seco (biomasa) por el factor de correlación existente (0.5) sugerido por el Programa Mexicano del Carbono.

Tabla 8. Contenido de carbono en el sotobosque.

Sitio de muestreo	Carbono (Ton/ha)
2015	0.3625
2013	0.4065
2010	0.1905
1992	0.0815
1983	0.0705
Bosque de Referencia	0.101

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Como se puede observar en la tabla 8, el almacenamiento de carbono para el sotobosque es bajo en comparación para el resto de segmentos de biomasa aérea y para este caso en contraste con el arbóreo. Según Schlesinger (1997) el sotobosque a base de gramíneas no funciona como almacenamiento eficiente de carbono, es más un sistema de transición ya que el C está constantemente pasando hacia el mantillo y de este al suelo siendo mineralizado por la microbiota del suelo.

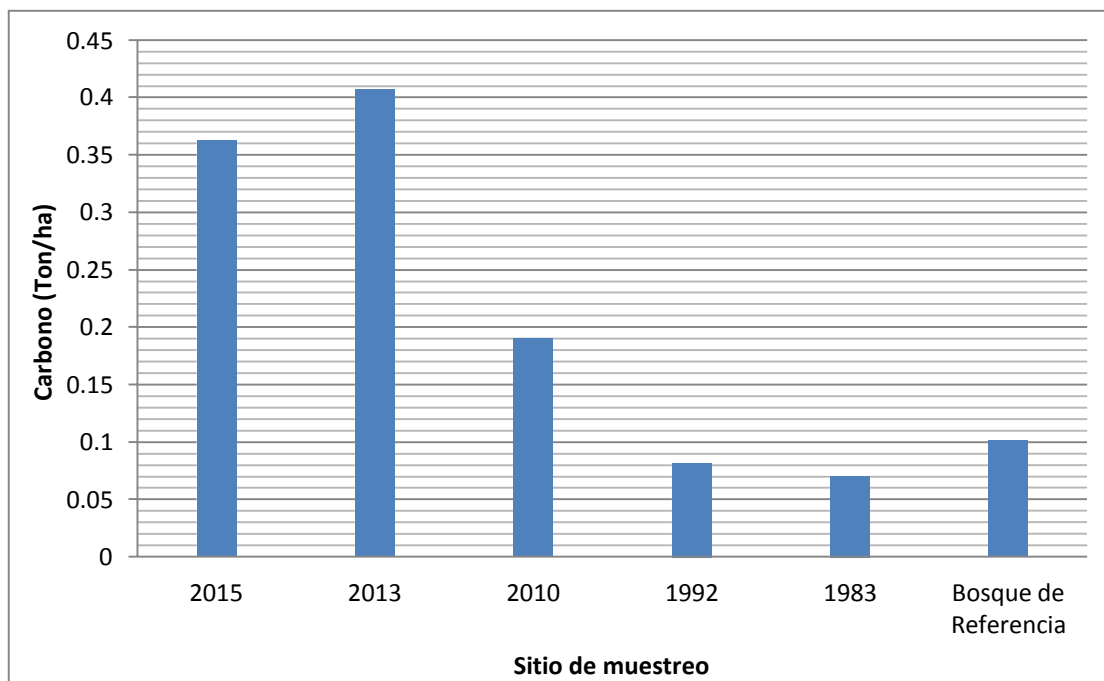


Figura 37. Gráfico Contenido de carbono total por sitio de muestreo en sotobosque.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Con la finalidad de analizar la correlación existente entre el carbono arbóreo y el carbono del sotobosque se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson, así mismo de acuerdo con Trentini (2017), en las plantaciones (para este caso reforestaciones), se genera un impacto de apertura simultánea de claros en el bosque para la luminosidad competitiva entre las especies por la lenta adaptación a la condición de poca radiación y necesitan de luz para desarrollarse. Los sitios 2015 y 2013 cuenta con 0.57 y 0.99m²/ha de AB respectivamente, al contrastarlo con el sotobosque de cada uno vemos que contienen relativamente más carbono pues presentan condiciones un poco más favorables al tener arboles de menor tamaño, equidistantes y no competir tanto por nutrientes con respecto al resto de los sitios que, si bien también son reforestaciones, aunque con mayor edad por lo tanto la demanda de nutrientes aumenta. Los sitios 1992 y 1983 ostentan un AB de 25.27 y 33.71 m²/ha respectivamente, así como individuos de mayor diámetro

comparados con las anteriores mencionadas (2015-2013) y aquí la concentración de carbono se ve disminuida al grado de no alcanzar ni el 0.1 Ton/ha.

De acuerdo con los resultados expresados bajo la aplicación del coeficiente de correlación de Pearson el valor arrojado es -0.92, es decir una correlación negativa, lo que quiere decir, que la correlación existente corresponde a las condiciones presentadas dentro de la zona de estudio, ya que cuenta con apertura de claros en el bosque, lo que se traduce en mayor luz, disponibilidad de nutrientes, mayor humedad, etc.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Para un análisis más detallado se plantearon tres diferentes modelos tendenciales sobre el comportamiento de BA, con los que podemos realizar predicciones a diferentes periodos determinados y estimar el comportamiento en cada uno de los sitios con base a las practicas que se realizan en cada uno de ellos y poder realizar una serie de recomendaciones para potencializar el incremento de biomasa y por consiguiente el aumento en la capacidad de captura de carbono.

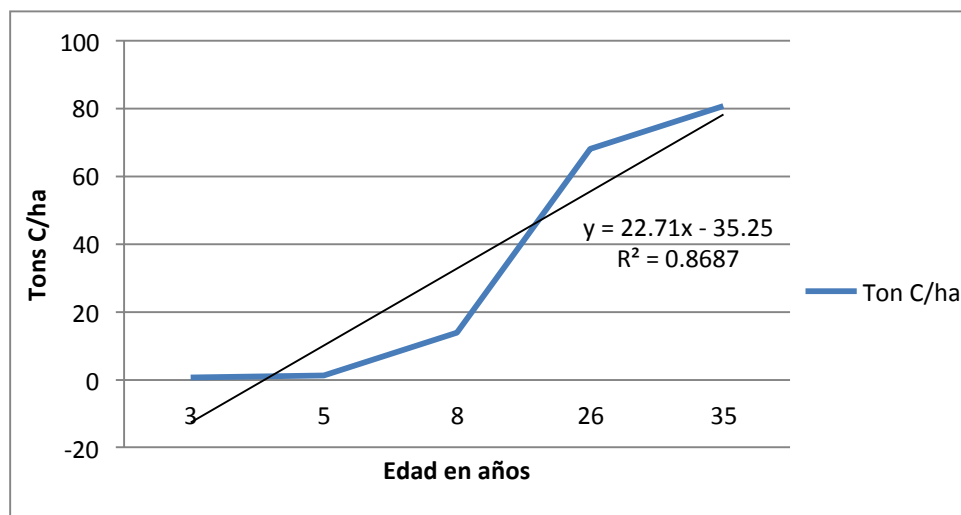


Figura 38. Gráfico Modelo lineal.

Fuente:

Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

El modelo lineal nos arroja un coeficiente de determinación (R^2) de 0.868, si proyectamos la ecuación a un cumplimiento de 50 años cada reforestación tendrá un almacenamiento de 110.03 Ton C/ha.

Tabla 9. Proyección de almacenamiento de carbono por modelo lineal.

Edad en años	Ton C/ha
38	82.77
41	89.59
44	96.40
47	103.21
50	110.03

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

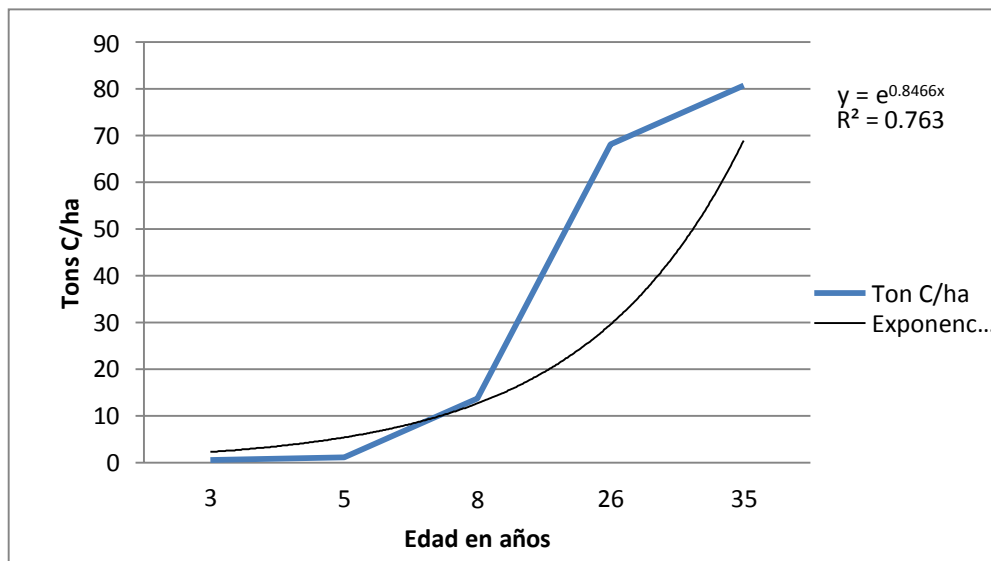


Figura 39. Gráfico Modelo exponencial. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Al desarrollar este modelo exponencial cuya R^2 es menor que el anterior (0.763), bajo la misma dinámica de 50 años de vida las reforestaciones almacenarían 2.41×10^{18} Ton C /ha. Al ser una ecuación exponencial el resultado arrojado se

eleva sobre los límites naturales por lo que consideramos que no sería el más conveniente para su empleo.

Tabla 10. Proyección de almacenamiento de carbono por modelo exponencial.

Edad (años)	Carbono (Ton/ha)
38	9.36×10^{13}
41	1.18×10^{15}
44	1.50×10^{16}
47	1.90×10^{17}
50	2.41×10^{18}

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

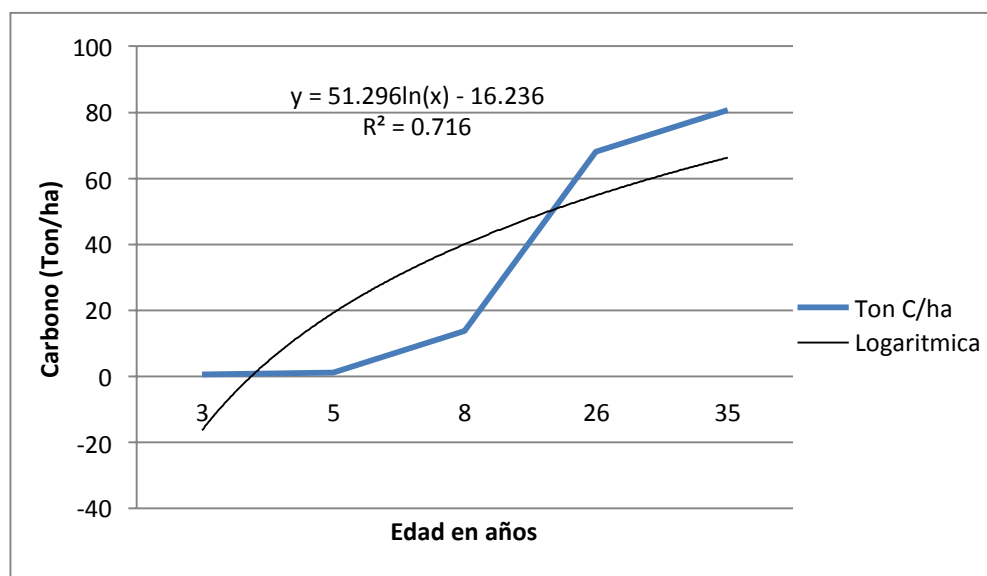


Figura 40. Gráfico. Modelo logarítmico.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Desarrollando la ecuación a 50 años, el almacenamiento de carbono es de 184.41 Ton/ha. Este modelo nos arroja datos que corresponden con el comportamiento de la cubierta arbórea, sin embargo de acuerdo a lo que se ha visto en este estudio y otros correspondientes a la misma temática como el de Deb R. (2014) en “Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico” la curva que de tendencia se queda corta pues los arboles de 35 a 45 años aun continuan almacenando grandes cantidades de carbono contrario a lo mostrado en el gráfico.

Tabla 11. Proyección de almacenamiento de carbono por modelo logarítmico.

Edad en años	Carbono (Ton/ha)
38	170.34
41	174.23
44	177.86
47	181.24
50	184.41

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

Por otro lado, el modelo lineal ajustado a este estudio, al graficarlo, intercepta al menos en tres ocasiones nuestra curva de datos lo que lo hace más cercano a los valores reales que obtuvimos, considerando también un coeficiente de 0.868 que es lo suficiente aceptable para el estudio.

El incremento de biomasa y la capacidad de almacenamiento de carbono están en relación con factores locales como lo son la composición de especies vegetales, densidad de individuos por hectárea, prácticas de manejo, mezcla de edad y usos de suelo y regionales, que se refieren al clima, composición edáfica, y los fenómenos meteorológicos extremos (McPherson *et al.*, 2013).

Una vez desarrollados los tres modelos tendenciales consideramos que el más congruente con nuestras estimaciones de carbono es el modelo lineal. Si bien el modelo exponencial tiene R^2 aceptable (0.763), no es del todo útil aplicarlo para a todo el ecosistema forestal, ya que de acuerdo con Figueroa (2010) las coníferas no presentan un crecimiento exponencial en cuanto a grosor de fuste, sin embargo, si en altura dentro de los primeros 10-15 años de vida tomando en cuenta que estos individuos cuentan con los factores regionales ideales.

Una variable determinante para que un individuo arbóreo acumule el mayor contenido posible de carbono es su condición de vigor y sanidad: si el árbol se encuentra enfermo o plagado el crecimiento se manifiesta lento o en ocasiones nulo, por lo tanto, su producción de biomasa será mínima y en consecuencia, almacenará poco carbono, los bosques con escaso vigor presentan bajos niveles de biomasa en contraste con los bosques de buen vigor (Flores, 2010).

Como se pudo observar se obtuvieron diferentes valores en reforestaciones con edades no tan significativas, el caso específico de las correspondientes al 2015, 2013 y 2010, entre ellas existe una disparidad de datos y número de árboles con 48, 50 y 136 respectivamente lo que nos representa una densidad de 480, 500 y 1360 Ind/ha. Con base a las reglas de operación que se han venido publicando en esos años, la densidad por hectárea debe ser a 1100 ind/ha y en cumplimiento con el mínimo del 80% de sobrevivencia quedando a 880 ind/ha. El factor de crecimiento y sobrevivencia se vieron perjudicadas por agentes externos como lo fueron las fuertes heladas presentadas en los últimos 4 años atrás y los incendios que físicamente se encuentran evidentes en el fuste de los individuos muestreados.

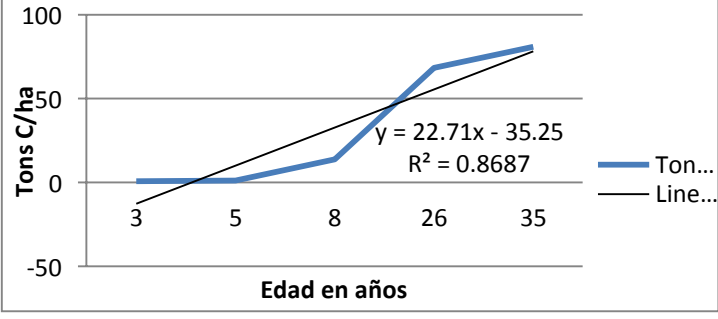
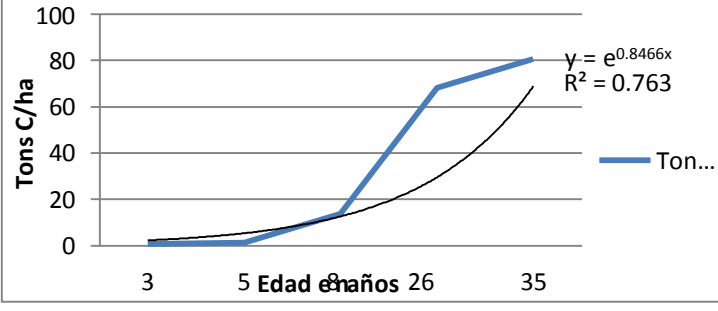
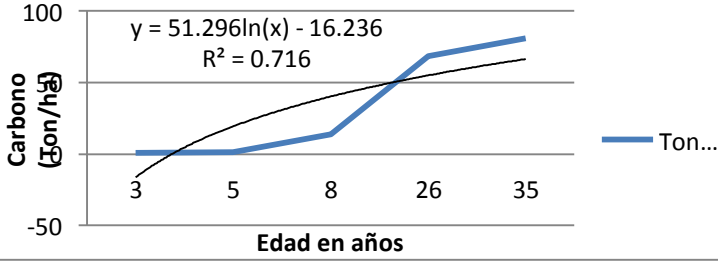
Si se desea incrementar la capacidad de retención y almacén de carbono se recomienda aumentar la densidad por sitio entre 1100 y 1500 individuos por hectárea aprovechando que en las reforestaciones más adultas se puede formar estratos codominantes y de supresión para un modelo forestal apropiado.

Por otro lado las reforestaciones de 1992 y 1983 son las que aportan mayor cantidad de carbono (6.8 y 8.0Ton /ha), es importante tomar en cuenta que la diferencia en densidad es mayor con 81 individuos a favor de la 1983, sin embargo, las categorías diamétricas juegan un papel muy importante en el análisis ya que 15 individuos de DN entre 30.1-60 cm en la reforestación de 1992 acumulan la misma cantidad que 93 de DN entre 10.1-30 cm en la de 1983 (4.6Ton C/ha). Se comprueba las afirmaciones de Nowak (1994) “los árboles sanos con DN mayor a 77 cm almacenan noventa veces más carbono que los árboles con DN menor a 8 cm”.

El sitio que fue tomado como referencia reporta un total de 15 individuos con especies ligeramente variadas y una mezcla pobre (2 *Arbutusxalapensis*, 1 *Fraxinus* y 13 *Pinus hartwegii*) aun así almacenan 6.2 Ton C/ha encontrándose por debajo de las 2 reforestaciones más antiguas del estudio. Debe tomarse con cautela la condición de referencia de este sitio ya que indudablemente ha estado sujeto a presiones antrópicas que incidieron sobre estructura, sin embargo, dentro del área de estudio no se encontraron espacios arbóreos mejor conservados. La comparación entre sitio de referencia y reforestaciones toma lugar en los contrastes de densidad de población arbórea versus estructura diamétrica y longevidad. Si se quiere almacenar carbono potencialmente, lo más conveniente será tener pocos árboles con diámetros de medianos a grandes (30-60 cm) que muchos árboles de tallas juveniles (<30 cm). Los árboles más longevos capturan mayor proporción de C y lo almacenan por más tiempo (Crane & Nowak, 2002).

Sin embargo, un bosque debe estar en balance y contar con sus estratos arbóreos formados, su estrato de regeneración, arbolado joven (con mayores tasas de almacenamiento), transiciones adultas y árboles padres (grandes cantidades de carbono capturado), así se cumpliría con la representación de la mayoría de las categorías diamétricas de un bosque manejado (Mass, 2009).

Tabla 12. Cuadro comparativo de modelos matemáticos

Modelo matemático	Gráfico
Modelo lineal	 <p>Gráfico del Modelo lineal. El eje Y representa Tons C/ha (rango de -50 a 100) y el eje X representa Edad en años (valores 3, 5, 8, 26, 35). La línea azul muestra los datos reales y la línea negra muestra el modelo lineal. La ecuación del modelo es $y = 22.71x - 35.25$ con $R^2 = 0.8687$.</p>
Modelo exponencial	 <p>Gráfico del Modelo exponencial. El eje Y representa Tons C/ha (rango de 0 a 100) y el eje X representa Edad en años (valores 3, 5, 8, 26, 35). La línea azul muestra los datos reales y la línea negra muestra el modelo exponencial. La ecuación del modelo es $y = e^{0.8466x}$ con $R^2 = 0.763$.</p>
Modelo logarítmico	 <p>Gráfico del Modelo logarítmico. El eje Y representa Carbono (Ton/ha) (rango de -50 a 100) y el eje X representa Edad en años (valores 3, 5, 8, 26, 35). La línea azul muestra los datos reales y la línea negra muestra el modelo logarítmico. La ecuación del modelo es $y = 51.296\ln(x) - 16.236$ con $R^2 = 0.716$.</p>

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo (J.L. Galeana & C.A. Velasco, 2019).

CONCLUSIONES.

El sitio de muestreo de 1983 es el que más aporta con 80.7 Ton C/ha y el de menor almacenamiento es el 2015 con 0.6 Ton C/ha. El principal factor influyente es la edad de las reforestaciones con 35 y 3 años respectivamente, por otro lado, si comparamos entre las dos de mayor aporte que son la 1983 y la 1992 aquí la diferencia en almacenamiento es menor (12.6 Ton C/ha) correspondería a 1.4 Ton C/ha anual tomando en cuenta la edad entre ellas. Al estar ambos sitios en la transición arbórea de juventud a madurez, el almacenamiento es mayor en el sitio que cuenta si bien con pocos individuos arbóreos, de tallas mayores y mayor disponibilidad de luminosidad y nutrientes. Cabe mencionar que estos dos sitios corresponden a las reforestaciones y están por encima de los datos que arroja el bosque de referencia considerando que este sitio es maduro en transición la senectud. En otras palabras, se entiende que existe una correlación positiva entre la edad del sitio y la tasa de incorporación, estos resultados son congruentes con los reportados en las investigaciones de Figueroa (2010), Mass (2009) y Zamora (2003).

De mantenerse la tendencia actual de desarrollo arbóreo expresada hasta el momento, la tasa de incorporación de almacenamiento de carbono arrojada de 1.4 Ton/ha anual se vería reflejada en las reforestaciones jóvenes (2010, 2013 y 2015) de buena manera, sin embargo siguiendo el manejo silvícola adecuado y apegado a las recomendaciones derivadas de esta investigación se podría aspirar a excelentes resultados sumando así de manera significativa en la política pública de la gaceta 2030 lanzada por el poder legislativo.

Estas reforestaciones cuentan con el mínimo de mantenimiento aplicado como lo es dentro de los primero 2 años el monitoreo de sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario, después de la tercera anualidad se dejan al crecimiento y

comportamiento habitual con sólo la protección de un cerco para impedir el paso del ganado

Este estudio evidencia el impacto tan significativo de las buenas prácticas de mantenimiento que son necesarias que se apliquen a las reforestaciones en igual o mayor magnitud del manejo que se les da a las plantaciones forestales comerciales ya que el adecuado mantenimiento favorece en el óptimo desarrollo de los individuos. Para el caso de las reforestaciones más recientes (2010-2015) no se encontró evidencia de poda, liberación de competencia por nutrientes con gramíneas ni aclareo.

Si bien al ejecutar podas o aclareo están eliminando consigo biomasa almacenada, el beneficio es mayor al liberar espacios ocupados por árboles enfermos, de escaso desarrollo o con malformaciones que podrían competir con individuos más vigorosos reduciendo su potencial de crecimiento e incorporación de biomasa y carbono. Lo anterior nos deja visto la importancia que tiene un bosque al ser manejado y que como parte de su plan y/o programa de manejo, se incorpore el concepto de captura de carbono como una alternativa de aprovechamiento y fuente de ingresos para los productores forestales, aplicando las políticas estructurales que solicita la LGDFS vigente.

RECOMENDACIONES.

Las reforestaciones y el bosque de los bienes comunales de Santiago Tlacotepec necesitan la implementación de acciones de manejo y mantenimiento básico como lo es la poda de ramas muertas y de baja altura para que el fuste obtenga un desarrollo potencial y de mejor calidad de madera, producción de partes sexuales (flores y conos) y servirán de mejor hábitat para la fauna que se refugia en las copas de los individuos.

Las buenas prácticas de silvicultura también ayudan en la prevención y combate de incendios forestales; preventivamente al eliminar las ramas bajas vivas y muertas evita que se forme la llamada escalera vertical del incendio para el tránsito a un incendio superficial de copa, en el combate beneficia a las brigadas que desarrollan el control y manejo del fuego pues al no haber ramas bajas y arbolado equidistante ideal les provee de mejor visibilidad y comunicación entre brigadistas. Liberación de competencia con hierbas y gramíneas, esto principalmente en las reforestaciones, también colabora en la retención de nutrientes y humedad vital para el suelo y la vegetación de alrededor, mismos aclareos para liberar espacios y competencia por luz, facilitando que cada individuo aproveche la energía en incremento de diámetro.

La biomasa removida en las acciones mencionadas en el párrafo anterior, deberán manejarse con capacidad de aprovechamiento *in situ*, es decir, se pueden ocupar para habilitar curvas a nivel para arrastre de partículas por acción hídrica, reforzamiento de obras de conservación de suelo e infiltración

La información producto del presente trabajo de investigación es una herramienta de apoyo para la obtención fundamento y soporte en los programas de conservación, restauración y mantenimiento forestal y almacenes de carbono.

La conservación de los bosques en conjunto con la preservación de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la importancia de proteger y promover los medios de vida tradicionales de las comunidades forestales, dar fortalecimiento a las políticas en el ámbito de la gestión sostenible de los bosques fundamentados

en los instrumentos como las leyes sobre el Cambio Climático y de Desarrollo Forestal Sustentable y la Estrategia Nacional de REDD+

Como dato alentador el Protocolo REDD+ dice:

“La condición actual de sumidero e CO₂ puede calificarse como –frágil-, debido a que las áreas forestales se encuentran sujetas a alta influencia humana y climática, tales como afectaciones por ciclones y huracanes, sequías, incendios forestales, aprovechamientos clandestinos, extracción de leña para consumo doméstico, avance de la frontera agropecuaria, cambio de uso de suelo, entre otros, que pueden reducir significativamente la superficie forestal, o en la mayoría de los casos impactar directamente en cambios de la densidad forestal y la capacidad de absorción de CO₂, con resultados adversos” (CONAFOR, 2015).

“ Es por esta razón los esfuerzos REDD+ requieren fortalecerse al interior de cada país, con el propósito de evaluar adecuadamente las tasa de crecimiento de bosques naturales, las afectaciones por actividades humanas que degradan o fomentan los almacenes de CO₂ , orientar las políticas o actividades que permitan impulsar el incremento de áreas forestales y de esta forma asegurar la reducción de emisiones de GEI, adicionalmente a otros servicios ambientales para la preservación de la biodiversidad, recursos asociados y culturales de las sociedades que depende de ellos, como está plasmado en la ENARED+, la Ley de Cambio Climático y la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable.”

BIBLIOGRAFÍA

- Alcantara, V., Lefevre, C., Rekik, F., & Wiese, L. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. (R. Cuevas, S. Federici, L. Montanarella, & M. Taboada, Edits.) Roma, Italia. Recuperado el 2017
- Bazán, B., Boixaderas, N., Campos, P., De la Rubia, M., Fernández, M., Lopez, M., . . . Torres, M. (2003). *Biología !* (Vol. I). (C. 121, Ed.) México, D.F., Balderas: LIMUSA, S.A. de C.V.
- Bazan, M., Paz, F., Saynes, V., & Wong, J. (2014). *Estado actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México*. Serie Síntesis Nacionales. Texcoco: PMC A.C. Recuperado el 2017
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. Instituto de Hidrología, Calentamiento Global y Estudio Ambientales, Meteorología. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Birdsey, V., Colditz, R., Dai, Z., Greenberg, D., Kurz, W., Mascorro, V., & Olguin, M. (2016). *Modelización y Evaluación Integradas de la Dinámica del Carbón Forestal en América del Norte: herramientas para monitorear, registrar en informes y proyectar emisiones y remociones de gases de efecto invernadero en el sector forestal*. Montreal: Comisión para la Cooperación Ambiental. Recuperado el 2017
- Bocco, G., Urquijo, P. S., & Vieyra, A. (2011). *Geografía y Ambiente en América Latina* (I ed., Vol. I). (S. Escobar, Ed.) Morelia: Raúl Marcó del Pont Lalli.
- Brown, S., Dixon, R., Houghton, A., Solomon, M., Trexler, Y., & Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263; 184-190.
- Caballero, M., Lozano, A., & Ortega, B. (2007). Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una Perspectiva desde las Ciencias de la Tierra. (I. d. Geofísica, Ed.) *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 8. doi:1067/6079
- Caballero, M., Lozano, S., Ortega, B., & Vázquez, L. (2010). *Evidencia de Cambio Climático y Ambiental en registros glaciares y cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial*. Sociedad Geológica Mexicana. Recuperado el 2018

- Centro Internacinal para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2011). *CIIFEN*.
Obtenido de
http://ciifen.org/index.php?opinion=com_conten&view=article&id=399%3Aboletin-ciifen-junio-2011&catid=65%3Ahistorial-de-boletin-ciifen&Itemid=72&lang=es
- Challenger. (1998). *Utilización de los Ecosistemas Terrestres de México, Pasado Presente y Futuro*.
Sierra madre, México: CONABIO-Instituto de Biología.
- Chittaranjan, K. (2007). *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. (H. G. DR. Sabino Shrock, Ed.) University Park, PA USA: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Coles, P. (2003). *Captura de Carbono*. Recuperado el 2016, de Oficina de Información Pública:
http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=10326&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- Compañía Energética Global. (2015). *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero*.
Obtenido de
https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- CONAFOR. (julio de 2015). Fortalecimiento REDD+ y Cooperacion Sur-Sur.
PROTOCOLO Estimación de la reservas de carbono en la biomasa forestal en México.
Zapopan, Jalisco, México: Gobierno de Noruega.
- CONAFOR. (2015). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. Zapopan, Jalisco: SEMARNAT.
- CONANP. (26 de 04 de 2019). *SIMEC.CONANP*. Recuperado el 27 de 06 de 2019, de
<https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=104®=7>
- Crane, D., & Nowak, D. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA.
Enviromental Pullution, 116.
- Cruz, I., & Ressler, R. (2012). *Deteccion y monitoreo de Incendios Forestales mediante imágenes de satélite*.
México, D.F. 100:12-13: CONABIO. Biodiversidad .
- De Jong, B., Masera, O., & Ordóñez, A. (2001). *Forestry Mitigation Options for Mexico: Firding Synergies Between National Sustainable Development Priorities and global concens*. Cambridge: Mitigation and adaptation strategies for global change. Recuperado el 2017
- Deb R. Aryal, B. H.-G.-O.-V. (2014). Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Simposio Internacional del Carbono en México*, 12.
- Europarl. (07 de 03 de 2018). *Parlamento Europeo*. Recuperado el 18 de 09 de 2018

- FAO. (2015). *Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la*. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/silviculture-in-natural-forests/basic-knowledge/es/>
- Fernández, A., & Martínez, J. (2004). *Cambio Climático: una visión desde México* (Primera ed.). (S. d. Naturales, Ed.) México, D.F.: D.R. Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 2017, de <http://www.iiies.unam.mx/wp-content/uploads/2016/03/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico-.pdf>
- Figueroa Navarro, C. (2010). *Almacenamiento de carbono en bosques manejados de Pinus patula en el ejido "La Mojonera" Zacualtipán, Hidalgo*. Montecillo, Edo México: COLPOS. Recuperado el 2019
- Foro Ambiental. (2016). *Roza, Tumba y Quema destruye miles de hectáreas en México*. (ADMIN, Editor) Recuperado el 2018, de <https://foroambiental.com.mx/roza-tumba-y-quema-destruye-miles-de-hectareas-en-mexico/>
- Gamarra, J. (2016). *Estimación del contenido de Carbono en Plantaciones Eucalyptus Globulus Labil*. Junin, Perú: Simposio Internacional Medición Y Monitoreo de La Captura de Carbono En Ecosistemas Forestales. Recuperado el 2017, de http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/35_Gamarra.PDF
- García, D., Nogués, F., & Rezeau, A. (2010). *Energías Renovables; Energía de la Biomasa* (Vol. 1). Zaragoza, España: Prensas Universitarias. Recuperado el 2017
- Garduño, R., & Geffroy, E. (2008). Calentamiento Global. *Materiales Avanzados*, 10. Obtenido de <http://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero10.pdf>
- Gayoso, B., Guerra, J., & Schlegel, B. (2001). *Medición de la Capacidad de la Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promocino en el Mercado Mundial* (Segunda ed.). Valdivia: Academic Press.
- Global Entrepreneurship Monitor. (2006). *GEM Summary Results*. MA. USA and London UK: Babson. Obtenido de https://entreprenorskapsforum.se/wp-content/uploads/2010/02/GEM-Global-Report_2006.pdf
- INEGI. (2009). *Promtuario de información geográfica municipal de los estados unidos mexicanos para Toluca*. Ciudad de México: INEGI.
- INEGI. (2016). *Archivos digitales shp,kml,xml*. México, D.F: INEGI.

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático. (2017). *Evaluación Estratégica del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*. Coordinación de Evaluación. México, D.F.: SEMARNAT.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2009). *Climate Change*. Cambridge: Cambridge University.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mass, S. F. (2009). *Estimación de la Captura de Carbono en Zonas Forestales El caso del Parque Nacional Nevado de Toluca*. Toluca, Estado de México, México: Dirección de Difusión y Promoción de la Investigación y los Estudios Avanzados.
- Monroe, J., Pozo, M., & Wicander, R. (2008). *Geología. Dinámica y Evolución de la Tierra*. (USA, Ed.) Madrid, España: COPYRINGHT. Recuperado el 2017, de https://books.google.com.mx/books?id=z54Pu6w_UwAC&pg=PA4&dq=la+dinamica+de+la+vida+en+el+planeta+tierra&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjn1oWCjNjiAhUHnq0KHffMDiAQ6AEIKTAA#v=onepage&q=la%20dinamica%20de%20la%20vida%20en%20el%20planeta%20tierra&f=false
- Ordoñez, R. (2010). *Cambio, Creatividad e innovación: Desafíos y Respuestas* (1ra ed., Vol. I). Buenos Aires, Argentina: Ediciones Granica México S.A. de C.V. doi:CDD 658.4
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Documento de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Forestales. *FRA 2015 Terminos y Definiciones*, 1-6.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2005). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/fishery/topic/16310/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). La Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO presenta en Flandes los resultados del proyecto de gestión del Pacífico Sudeste. *Servicio de Prensa*. Recuperado el 2018, de http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view-tv-release/news/spincam_ioc_unesco_to_discuss_ocean_governance_and_blue_eco/
- Parlamento Europeo. (2018). *Parlamento Europeo Noticias*. doi:20180703STO07123

- PROBOSQUE. (1 de 04 de 2018). Recuperado el 03 de 03 de 2019, de Protectora de Bosques: http://probosque.edomex.gob.mx/inspeccion_vigilancia
- Programa Mexicano del Carbono. (2018). *Programa Mexicano del Carbono ReD Tematica del CONACYT*. Recuperado el 25 de 01 de 2019, de http://www.pmc carbono.org/pmc/publicaciones/bases_datos.php
- Richardson , K., Steffen, W., & Liverman, D. (2011). *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions*. New York, USA: Hardback. doi:363.73874-dc22
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40*. Dirección General de Políticas para el Cambio Climático. México, D.F.: SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Diario Oficial de la Federación.
- Seeberg, C. (2010). *fao.org*. (FAO, Ed.) Recuperado el 2019, de <http://www.fao.org/3/i1632s/i1632s.pdf>
- Trentini, C. (2017). *Impacto del raleo sobre la vegetación del sotobosque y aspectos funcionales del suelo plantaciones de Pinus Taeda en Misiones*. Misiones, Buenos Aires, Argentina: UBA.
- Trentini, C. P. (24 de abril de 2017). IMPACTO DEL RALEO SOBRE LA VEGETACIÓN DEL SOTOBOSQUE Y ASPECTOS FUNCIONALES DEL SUELO EN PLANTACIONES DE PINUS TAEDA EN MISIONES, ARGENTINA. Buenos aires, Buenos Aires, Argentina.
- Vargas, J. (2012). *Análisis de una cronosecuencia de bosques tropicales del corredor biológico*. Osa, Costa Rica: Cambridge.
- Vázquez, A. (s.f.). *El Mercado de los Bonos de Carbono*. INCAM. Recuperado el 2019, de http://www.ceja.org.mx/IMG/El_mercado_de_los_bonos_de_carbono.pdf
- World Resources Institute [WRI]. (2001). *World Resources Institute*. Recuperado el 2018, de <https://www.wri.org/blog/2017/11/la-pérdida-de-cobertura-arborea-mundial-ascendi-al-51-porcentaje-en-2016>
- World Resources Institute. (2014). RELEASE: Países de Latinoamérica y el Caribe lanzan la Iniciativa 20x20 para restaurar 20 millones de hectáreas de tierra degradada. *MAKING BIG IDEAS HAPPEN™*. Obtenido de <https://www.wri.org/news/2014/12/release-paises-de-latinoam%C3%A9rica-y-el-caribe-lanzan-la-iniciativa-20x20-para-restaurar>

Zamora Colazo, J. (2003). *Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque pino del ejido "La Majada" municipio de Periban de Ramos, Michoacán*. Periban, Michoacán, México: UMSNH. Recuperado el 2018