

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN VEGETACIÓN ARBUSTIVA BAJA, EN
SACATEPÉQUEZ
TESIS DE GRADO

RODRIGO MALDONADO SÁNCHEZ
CARNET 10594-12

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN VEGETACIÓN ARBUSTIVA BAJA, EN
SACATEPÉQUEZ
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
RODRIGO MALDONADO SÁNCHEZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
DR. EDWIN JOSUÉ CASTELLANOS LÓPEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. PEDRO ARNULFO PINEDA COTZOJAY

Guatemala, noviembre de 2018

Honorable Consejo de
La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Presente

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago contar que he procedido a revisar el Informe final de Tesis del estudiante Rodrigo Maldonado Sánchez , que se identifica con el carné 1059412, titulado: **“Estimación del contenido de carbono en la vegetación arbustiva baja en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez”** el cual considero cumple con los requisitos establecidos por la Facultad, por lo que solicito sea revisado por la terna que designe el Honorable Consejo de la Facultad, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Ambiental en el grado Académico de Licenciado.

Atentamente



Dr. Edwin Castellanos
Colegiado No. 1910
Colegio de Farmacéuticos y Químicos



Universidad
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 061072-2018

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante RODRIGO MALDONADO SÁNCHEZ, Carnet 10594-12 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06209-2018 de fecha 13 de noviembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN VEGETACIÓN ARBUSTIVA BAJA, EN SACATEPÉQUEZ

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 14 días del mes de noviembre del año 2018.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

DEDICATORIA

A:

Dios, que nunca me deja solo, dándome siempre un guiño de Esperanza.

Todos aquellos que trabajan, aman y velan por el cuidado de nuestro medio ambiente, a pesar de las dificultades que atraviesan.

Los que estuvieron, que por una u otra razón ya no están, pero que me apoyaron y estuvieron pendientes, manifestándome su cariño y acompañamiento.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, que en su Gran Poder nos manifiesta los Milagros de su creación, y quien infundió en mi este amor por el medio ambiente y al que espero conocer cara a cara luego de una Buena Muerte.

María, Madre de Dios y Madre nuestra que, en los momentos de Soledad, me llenaba de Esperanza tendiéndome su mano Inmaculada por medio del Santo Rosario.

Santo Domingo de Guzmán, San Judas Tadeo y San Francisco de Asís, por su ayuda e intercesión en este trabajo.

Mis papás y a mi hermano por su ayuda y en especial a mi mamá, por sus ánimos y siempre impulsarme a no desistir en lo que me propuse, demostrándome un apoyo incondicional.

Mis abuelos y mis tíos, que siempre estuvieron pendientes y siempre que podían me echaron la mano, buscando soluciones y apoyándome en todo.

Mis amigos, en especial Karen, Dafne, Elena y Beto, por su verdadera amistad y las palabras de aliento. Por siempre mostrarme su apoyo y acompañarme en este camino de la vida.

La Universidad Rafael Landívar, por ser mi alma mater y brindarme las experiencias para enamorarme más de mi carrera y apasionarme más por el cuidado la casa común.

El Centro de Estudios Ambientales y Biológicos de la Universidad del Valle, por su ayuda para poder realizar este trabajo.

La Municipalidad de San Antonio Aguas Calientes, por su accesibilidad y apoyo para realizar el trabajo de campo, en especial a Don Dolores, guardabosque que me acompañó, ayudó y compartió su experiencia.)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Antecedentes	3
2.1.1 Estudios sobre contenido de carbono	3
2.1.2 Inventarios Nacionales de GEI	5
2.2 Marco Conceptual	6
2.2.1 Las plantas y el carbono.....	6
2.2.2 Gases de efecto invernadero.....	7
2.2.3 Fuentes de emisión.....	8
2.2.4 Factores de emisión	9
2.2.6 Bosques y cambio climático	12
2.2.7 Desaparición de cobertura forestal	13
2.2.8 Bienes y servicios forestales afectados.....	13
2.2.9 Deforestación en Guatemala.....	15
2.2.10 Causas de la deforestación	16
2.2.11 Impactos del Cambio Climático en los bosques de Guatemala	17
2.2.12 Mapeo Forestal	17
2.2.13 Instituciones con metodologías para estimación de carbono	18
2.2.14 Estrategias ambientales.....	19
2.2.15 Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional.....	20
2.2.16 Acciones de Mitigación Apropriadas para cada País	22
2.3 Marco Referencial	23
2.3.1 Municipio de San Antonio Aguas Calientes.....	23
2.3.2 Población	23
2.3.3 Hidrografía	23
2.3.4 Economía.....	24
2.3.5 Pobreza.....	24
2.3.6 Educación.....	24
2.3.7 Salud	24
2.3.8 Tradiciones.....	25
2.4 El Astillero	25

2.4.1 Administración	25
2.4.2 Hidrología	26
2.4.3 Vegetación	26
2.4.4 Inventario de carbono	26
3. PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
3.1 Definición del problema	28
3.2 Justificación	28
4.OBJETIVOS.....	30
4.1 Objetivo General:	30
4.2 Objetivos Específicos:	30
5. METODOLOGÍA	31
5.1 Ambiente	31
5.2 Unidad de análisis.....	31
5.3 Tipo de investigación.....	32
5.4 Instrumentos.....	32
5.5 Procedimiento	33
5.5.1 Fase inicial de gabinete.....	33
5.5.2 Fase de campo.....	33
5.5.3 Fase final de gabinete	34
5.6 Análisis de la información.....	34
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
6.1 Identificación del área en campo que concuerden espacialmente con la Vegetación arbustiva baja representada en el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012.....	38
6.2 Propuesta de metodología.	39
6.2.1 Mediciones y muestreo de campo	40
6.2.2 Análisis de laboratorio de maleza y hojarasca	40
6.2.3 Análisis de laboratorio de suelo	41
6.2.4 Ecuaciones para estimar el contenido de carbono.....	42
6.3 Estimación del contenido de carbono en la vegetación arbustiva baja.....	42
6.4 Comparación con resultados del estudio realizado por CEAB en 2011	45
7. CONCLUSIONES.....	48
8. RECOMENDACIONES	50
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
11.ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de Emisiones y Absorciones Nacionales de Gases de Efecto Invernadero para los años 1990, 1994, 2000 y 2005 en Gg, miles de toneladas.	6
Tabla 2. Resultados del carbono almacenado en los diferentes reservorios muestreados en cada parcela, expresados en toneladas de carbono por hectárea.	43
Tabla 3. Resultados obtenidos en el análisis de los reservorios muestreados en ambos trabajos en el Astillero, expresados en toneladas de carbono por hectárea.	46
Tabla 4. Ecuaciones más comunes las cuales son utilizadas para los bosques mixtos del altiplano occidental de Guatemala.....	55
Tabla 5. Datos generales de las parcelas muestreadas en el Astillero de San Antonio Aguascalientes para el presente trabajo.....	55
Tabla 6. Análisis de datos de la maleza en las parcelas muestreadas en el Astillero.	56
Tabla 7. Análisis de datos de la hojarasca en las parcelas muestreadas en el Astillero.....	57
Tabla 8. Análisis de datos de suelo en las parcelas muestreadas en el Astillero.....	58
Tabla 9. Análisis de datos de los arbustos en las parcelas muestreadas en el Astillero.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del carbono en el cual se aprecia cómo es capturado por plantas para la fotosíntesis y cómo es emitido a la atmósfera por medio de fábricas, transporte, respiración de plantas y animales, así como su descomposición (Guioteca, 2014).	7
Figura 2. Mapa de Ecosistemas de Arbustales y Herbazales realizado en el 2001 por el INAB (INAB, 2001).	11
Figura 3. Cobertura forestal de Guatemala para el período 2006-2010 (CONAP, INAB, URL, UVG, 2012)	16
Figura 4. Parcela rectangular de muestreo de carbono. (Castellanos, Quilo, & Mato, 2010)	35
Figura 5. Separación, peso húmedo total y colecta de muestras de la maleza y hojarasca en la primera subparcela. (Castellanos, Quilo, & Mato, 2010)	35

Figura 6. Parcelas realizadas dentro del Astillero. Todas las parcelas se realizaron dentro del área identificada como matorrales por el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012. (CEAB, 2018).39

Figura 8. Medición y delimitación de una de las parcelas en las que se trabajó con la ayuda de uno de los guardabosques del Astillero. (Maldonado, 2017)65

Figura 9. Toma de muestra de maleza en una de las parcelas. (Maldonado, 2017)65

Figura 10. Vista de parcelas deforestadas en medio de área boscosa, para utilizarse en cultivos agrícolas. (Maldonado, 2017)66

Figura 11. Vista desde una de las cimas del Astillero, apreciándose los volcanes de Fuego y Acatenango. (Maldonado, 2017)66

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN VEGETACIÓN ARBUSTIVA BAJA, EN SACATEPÉQUEZ

RESUMEN

La estimación del contenido de carbono que se encuentra en la vegetación arbustiva baja en el Astillero municipal de San Antonio Aguas Calientes fue la causa principal de esta investigación. Para poder estimar dicho contenido, se realizaron parcelas de carbono, en ellas se midieron arbustos y se muestreó suelo, maleza y hojarasca, analizándolas en laboratorio para la obtención de datos. Por medio de visitas se identificó que las áreas en las que se realizan las parcelas concuerdan con la clase 3.2.2 Vegetación arbustiva baja (guamil y matorral) representada en el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012, GIMBUT 2014. El contenido de carbono en las parcelas realizadas es bajo, comparado con el ecosistema de bosque. El carbono total de la vegetación arbustiva baja en el Astillero es de 7,161.2 toneladas de carbono, mientras que un ecosistema de bosque puede capturar 45,634 toneladas. La estimación del contenido de carbono por medio de los 4 reservorios antes mencionados ha variado con el paso del tiempo. Comunicar y hacer partícipes a las comunidades de los esfuerzos que se realizan para la medición de carbono, la conservación de bosques y espacios naturales dentro del área, promover la importancia de dichos espacios respecto a los bienes y servicios ambientales que proveen, es una tarea por realizar.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con vocación forestal, ya que el 63% de su territorio tiene dicha vocación (Veliz, 2016). A pesar de ser un país forestal, el país presenta una tasa de deforestación del 1%, lo que significa 38,597 ha anuales (IARNA-URL, 2012) y cada año se pierde más cobertura de bosque. Con esta pérdida de bosque se pierden hábitats, se degradan los recursos y se liberan emisiones de gases de efecto invernadero.

Uno de los efectos de la deforestación son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las cuales han causado grandes e irreparables impactos al medio ambiente, así como a la forma de vida del ser humano. Con el aumento de las emisiones de GEI, la radiación solar no puede dejar la atmósfera y por lo tanto se queda atrapada en ésta, provocando el calentamiento global y desembocando en el cambio climático, el cual, entre sus múltiples impactos tiene la presencia de eventos extremos y uno de éstos es la sequía, la cual propicia la muerte de flora y los incendios forestales. Guatemala, por la posición geográfica en la que se encuentra y las condiciones socioeconómicas que se dan en el país, es uno de los países más vulnerables al cambio climático (CEAB-UVG, 2015), por lo que es necesario buscar medidas de mitigación y adaptación.

Además de los efectos del calentamiento global sobre los bosques, existe la presión debido a las actividades humanas sobre este recurso. Cada día la deforestación avanza debido a la tala ilegal para la venta de maderas, narcotráfico o cambio del uso de la tierra, ya sea para ganadería o cultivos. En el caso de Guatemala, la falta de un buen control y vigilancia ha hecho que inclusive se deforeste en áreas protegidas con fin de crear asentamientos humanos o para áreas de cultivos de subsistencia.

Con el fin de disminuir la pérdida del área boscosa del país, actualmente se está implementando la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+), la cual tiene como objetivo implementar acciones de campo que disminuyan las emisiones de GEI que se emiten por la deforestación de los bosques. Todo este proceso debe estar vinculado con otros a nivel nacional, tales como las Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático en donde están incluidos los Inventarios Nacionales de GEI (INGEI) y otros

programas y proyectos para la reducción de emisiones y adaptación y mitigación al cambio climático.

Para poder obtener los resultados sobre las emisiones y absorciones de GEI, es necesario tener dos variables, los datos de actividad y los factores de emisión, como lo son los usos de la tierra más representativos en el territorio nacional: bosques (33.74), arbustales (23.48%), agricultura anual (11.09%) y permanente (11.34) (GIMBUT, 2014).

Debido a la falta de información referente a los factores de emisión locales en los distintos usos de la tierra, el presente trabajo estimará el contenido de carbono almacenado en los arbustales del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes en Sacatepéquez, ya que no se cuenta con información sobre este tipo de vegetación. Además, se verificará en campo este tipo de vegetación, identificada por sensores remotos, con el fin de estimar la coincidencia entre la clasificación y campo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En las últimas décadas, han adquirido gran interés los estudios en la captura del carbono que se lleva a cabo por parte de la vegetación en la corteza terrestre, ya que por este medio se reduce la cantidad de CO₂ que se encuentra presente en la atmósfera y da paso al calentamiento global, junto con otros GEI. Dichos estudios no solo se realizan para poder entrar en el mercado de carbono y obtener beneficios financieros, sino también pretenden implementar mejores medidas de mitigación ante el cambio climático, por medio de iniciativas y programas que buscan la conservación de bosques, su buen manejo y recuperación.

2.1.1 Estudios sobre contenido de carbono

En Guatemala la primera iniciativa que se tuvo para conocer el contenido de carbono en bosques guatemaltecos fue en 1997 por parte de instituciones extranjeras para el área de la Biósfera Maya. Es en los meses de junio y julio del año 1997 en que se realizan las primeras mediciones de carbono (CEAB-UVG, IARNA-URL, INAB, 2011).

Seguidamente se desarrollaron varias tesis en torno a este tema, tanto en la Universidad de San Carlos de Guatemala, como en la Universidad del Valle y en el año 2000 es publicado el Manual de Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso de Suelo por Lilian Márquez.

Entre algunos trabajos que se elaboraron en los siguientes años, se puede mencionar el elaborado por el Centro de Estudios Ambientales y Biológicos de la Universidad del Valle (CEAB-UVG) y CARE en 2006 denominado: Estimación del Contenido de Carbono en Bosques del Altiplano Occidental de Guatemala. En este trabajo se estimó el contenido de carbono en 2004 para 18 bosques del proyecto MIBOSQUE, en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos, Totonicapán y Huehuetenango, empleando parcelas de 250m² con una distribución al azar. La cuantificación del carbono en dichos bosques fue por medio del software que fue desarrollado por la UVG. La cantidad de carbono capturada por los árboles fue de 801,544 toneladas de carbono, sin incluir las raíces de los árboles (CEAB-UVG, CARE, 2006).

En 2010, se publicó por el CEAB-UVG, la metodología para la estimación del contenido de carbono tanto en bosques como en sistemas agroforestales para Guatemala. La metodología que se presenta fue trabajada con base en los procedimientos forestales estandarizados que se utilizan, (en especial el Estándar Voluntario de Carbono, el cual se encuentra en la sección de metodologías para la medición de carbono) pero siendo adecuada a las condiciones locales del país.

Es en el año 2011 que es publicado el primer mapa nacional sobre el carbono capturado por plantaciones y bosques naturales de Guatemala, elaborado por miembros de la Universidad del Valle, Universidad Rafael Landívar y el Instituto Nacional de Bosques (INAB) con el apoyo de, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT). En dicho trabajo se estableció que para el año 2006, el total de carbono que se encuentra almacenado en los bosques del territorio nacional es de 414 millones de toneladas, siendo los departamentos de Petén y Alta Verapaz los departamentos que capturan la mayor cantidad de carbono (69%). También se logró identificar en durante el período 2001-2006, la pérdida de cobertura forestal significó un total de 276.6 millones de CO₂ (CEAB-UVG, IARNA-URL, INAB, 2011).

Otro proyecto es el de Reducción de Emisiones por Deforestación Evitada en la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya en Guatemala, mejor conocido como GuateCarbon, el cual inició en enero de 2012 y se desarrolla en la Reserva de la Biósfera Maya en Petén. Este proyecto busca cuantificar y comercializar las emisiones evitadas de CO₂, por medio de actividades que disminuyan la deforestación. El área total que abarca GuateCarbon es de 717 mil ha. Actualmente el proyecto está bajo validación para obtener una certificación por medio de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) (GuateCarbon, 2014).

Muchos de los siguientes trabajos referentes a la captura de carbono se realizaron con base en Mapa Nacional de carbono capturado, como lo es el Mapa de Cambios en Uso de la Tierra 2001 – 2010 para Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, publicado por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT) en 2014. En este reporte se concluye que la pérdida en el contenido de carbono debido a los cambios en los usos de la tierra para el período 2001-2010 en el territorio nacional es de 46.4 millones de toneladas de carbono.

Esto se debe a la diferencia que hay entre la captura de carbono (5.6 millones de toneladas de carbono) gracias a la regeneración de bosques y el aumento de áreas con vegetación y la emisión de 52.0 millones de toneladas en áreas donde ya sean los bosques y/o la vegetación natural se perdió. (GIMBUT, 2014)

2.1.2 Inventarios Nacionales de GEI

Los inventarios Nacionales de GEI (INGEI) surgen como una iniciativa en el marco de la primera Comunicación nacional y Plan de Acción sobre el Cambio Climático. Dichos inventarios se han realizado por medio de las guías propuestas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En los inventarios se encuentran las estimaciones de emisiones y absorciones de los GEI que se dan en Guatemala por parte de las actividades energéticas, procesos industriales, actividades agropecuarias, el cambio del uso de la tierra y el manejo de desechos tanto sólidos como líquidos. La unidad de medida utilizada para los gases emitidos o bien absorbidos en los INGEI es el gigagramo (Gg), el cual es equivalente a 1000 toneladas (MARN, 2001).

Las actividades energéticas se refieren a la quema de biomasa, en especial la leña que sigue siendo la base de la matriz energética en el país y combustibles fósiles y sus derivados para la producción de energía. Las emisiones en los procesos energéticos provienen de las industrias del cemento, la producción de cal, alimentos, bebidas y el asfaltado de carreteras. Las actividades agropecuarias emiten sus emisiones debido a los fertilizantes, pesticidas y formas de cultivo como el arroz. De igual manera el metano que es generado por las heces del ganado. En el cambio de uso de la tierra es de especial importancia al momento de hacer el inventario, ya que la cobertura forestal es vital para la absorción del CO₂, pero debido a la deforestación y cambio del uso de la tierra, la captura de CO₂ ha disminuido y ha incrementado la emisión de algunos GEI. Por último, están las emisiones en los desechos, las cuales tienen una importancia en las emisiones de metano generadas por la descomposición de residuos orgánicos, así como en la generación de aguas residuales (MARN, 2001).

Se han realizado 4 inventarios a nivel nacional, el primero presentado en el año 2001 utilizando el año de 1990 como base. El segundo, que tomó como base el año de 1994, el tercero

presentado en el año 2007, con base al año 2000 y el cuarto inventario publicado en 2012 con base al año 2005 (MARN, 2015).

Tabla 1. Resumen de Emisiones y Absorciones Nacionales de Gases de Efecto Invernadero para los años 1990, 1994, 2000 y 2005 en Gg, miles de toneladas.

Año	CO ₂	CO ₂	CH ₄	COVD				
	Emisiones	Absorciones	Metano	N ₂ O	NO _x	M	SO ₂	CO
1990	7,489.62	-42,903.73	199.56	20.71	43.79	105.95	74.50	961.66
1994	18,474.938	-39,583.645	192.745	11.720	48.446	235.257	74.607	958.066
2000	22,911.204	-37,456.815	211.255	16.902	75.945	176.926	98.458	1,211.924
2005	20,817.879	-24,492.061	259.397	16.712	95.434	414.576	90.488	1,433.583

(MARN, 2015)

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Las plantas y el carbono

Las plantas tienen un papel primordial en el ciclo del carbono, ilustrado en la Figura 1, ya que la realizar la fotosíntesis, fijan el CO₂. Durante este proceso, las plantas toman el CO₂, agua y con energía solar, producen oxígeno (el cual es liberado a la atmósfera). De igual forma en el proceso de la respiración, las plantas emiten CO₂ en menor cantidad de la que capturan y agua en forma de vapor a la atmósfera. Es así como el carbono es almacenado en las plantas y es intercambiado con la atmósfera a través de los procesos de fotosíntesis y respiración. Otra parte del CO₂ que se encuentra presente en la atmósfera es liberado por los animales al momento de la respiración. Al morir tanto plantas como animales, emiten nuevamente CO₂ a la atmósfera. Todo este proceso se puede apreciar en la Figura 1, ya que son partes del ciclo del carbono. A pesar de que algunas bacterias y animales contribuyen a la disminución de CO₂, no se compara con la cantidad de CO₂ que es capturado por la vegetación (Fernández, 2004).

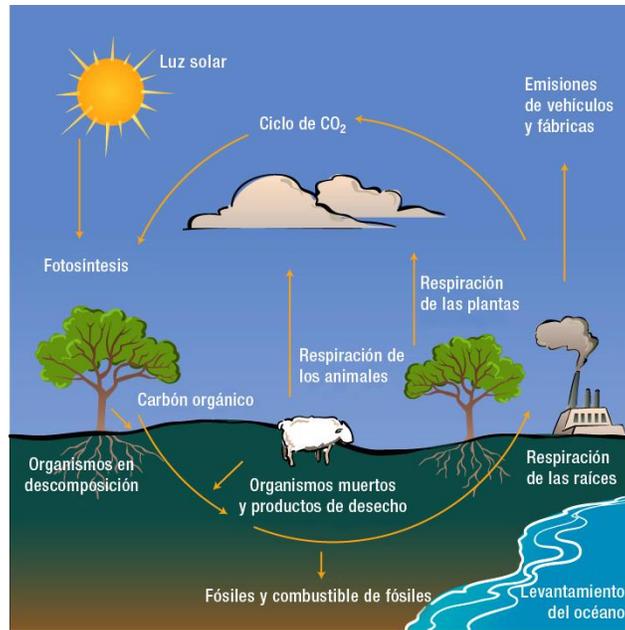


Figura 1. Ciclo del carbono en el cual se aprecia cómo es capturado por plantas para la fotosíntesis y cómo es emitido a la atmósfera por medio de fábricas, transporte, respiración de plantas y animales, así como su descomposición (Guioteca, 2014).

2.2.2 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI), son gases que están presentes en la atmósfera de la Tierra y sus fuentes de emisión son tanto de origen natural como de origen antropogénico. Estos gases son los encargados de atrapar la radiación que proviene del sol para calentar la superficie de la Tierra y permitir que se dé la vida en ésta. Pero el aumento de la presencia de estos gases en la atmósfera hace que sea menor la radiación que sale del planeta, haciendo que se retenga más el calor y provocando un efecto invernadero en toda la corteza terrestre, la cual desemboca en el calentamiento global y por ende en el inminente cambio climático que se está viviendo.

Entre los gases de efecto invernadero se encuentran el vapor del agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃). De igual manera, también hay otros gases cuya presencia en la atmósfera pueden ocasionar el efecto invernadero. Estos gases son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM) y los precursores de aerosoles como el dióxido de azufre (SO₂) (MARN, 2012).

2.2.3 Fuentes de emisión

- H₂O: El vapor de agua proviene de la evaporación que se da la misma en la superficie terrestre. Estando en la atmósfera, el calor irradiado por la superficie terrestre es capturado por las moléculas de agua. Estas moléculas irradian este calor en todas direcciones antes de que sea devuelto al espacio, haciendo que el vapor de agua sea responsable de dos terceras partes del efecto invernadero natural. Cabe mencionar que el vapor de agua no es emitido por fuentes antropogénicas, pero el aire calentado puede llegar a retener más la humedad. (European Commission, 2011)
- CO₂: El dióxido de carbono como se ha mencionado previamente y como se ilustra en la Figura 1, proviene de la combustión de biomasa y combustibles fósiles, así como la respiración de plantas y animales. Es con este gas que los bosques tienen un papel importante, ya que ellos capturan el CO₂ de la atmósfera y lo almacenan en su estructura. (Instituto Nacional de Ecología, 2006)
- N₂O: El óxido nitroso proviene a nivel antropogénico de las zonas en donde se trabaja la agricultura extensiva. Una manera de reducir las emisiones de óxido nitroso en las plantaciones es por medio de policultivos, introduciendo las leguminosas, ya que estas plantas tienen una asociación con las bacterias Rhizobium, las cuales son fijadoras de nitrógeno (Universidad del Valle, 2006).
- CH₄: la principal fuente de emisiones de metano son las heces y los eructos del ganado. El cultivo de arroz también es una fuerte fuente de metano, debido a la descomposición anaerobia que se da por los microorganismos del suelo de la materia orgánica que queda bajo las aguas del área donde se cultiva esta planta. El metano que se genera en los cultivos de arroz se incorpora a la atmósfera por tres vías: por el burbujeo en las aguas de cultivo, por difusión desde la superficie del agua y a través de los tejidos de las plantas durante el crecimiento (Universidad del Valle, 2006).
- NO_x: Los óxidos de nitrógeno provienen principalmente del transporte vehicular, especialmente de aquellos automóviles cuyo motor es diésel. En una menor escala de

emisiones, pero también representativa, se encuentran las instalaciones de combustión como lo son los sistemas de calefacción (Consortio Sanitario de Barcelona, 2015).

- CO: El monóxido de carbono proviene de la combustión incompleta de todos los compuestos que posean carbono en sus componentes, así como la oxidación de metano, del cual ya se han mencionado sus principales fuentes. La principal fuente a nivel de combustión incompleta es el transporte vehicular (European Commission, 2011).
- COVDM: Las fuentes de los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano son los procesos en los cuales se utilizan solventes derivados del petróleo, como fábricas de pinturas, barnices y adhesivos (Instituto Nacional de Ecología, 2006).
- SO₂: La fuente primaria del dióxido de azufre son las erupciones volcánicas, en menor escala las espumas marinas y los polvos terrestres, pero también existen fuentes antropogénicas. Entre las fuentes de origen humano está la quema de combustibles, así como el procesamiento de minerales (Figueruelo & Marino, 2004).

2.2.4 Factores de emisión

Los factores de emisión son una herramienta que ha sido desarrollada para estimar la relación de emisiones contaminantes liberados con una determinada actividad. Estos factores pueden ser clasificados en dos tipos: los factores que son basados en los procesos y los factores que van a ser basados en censos. (INECC, 2005)

Los factores que son basados en procesos son regularmente basados en fuentes representativas, ya que no siempre se tiene el recurso financiero para hacer un muestreo para cada emisión de cada proceso. Los factores de emisión de las fuentes representativas se expresan como unidades de masa de contaminante emitido por unidad de proceso. Las unidades que se utilizan más seguido es el consumo de energía, unidades de producción, número de dispositivos, entre otros. (INECC, 2005)

Los factores que son basados en censos son los que estiman las emisiones de fuentes que no pueden ser caracterizadas por una actividad o procesos en específico y por lo tanto entran en los factores basados en procesos. En otras palabras, estos factores se basan en censos socioeconómicos o de población. Este tipo de factor resulta ser menos costoso, ya que en muchos casos se cuenta con datos de censos poblacionales. La desventaja que presenta este tipo de factor, es que fue desarrollado en Europa o Estados Unidos, por lo que no se ajusta exactamente a la realidad y condición socioeconómica de cada país. (INECC, 2005)

2.2.5 Arbustales

Según la RAE, un arbusto es: “planta leñosa, de menos de cinco metros de altura, sin un tronco preponderante, porque se ramifica a partir de la base” (Real Academia Española, 2016).

En el Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala (aprobado por el equipo técnico en la realización del Mapa Forestal 2006 y transcrito a partir de tal informe), se define a un arbusto como: “Planta leñosa con fuste y copa definida con crecimiento secundario que en su estado de madurez alcanza una altura mínima de 5 metros y un diámetro máximo de 10 cm.” (INAB, CONAP, IARNA-URL, UVG, MARN, 2012). Esta será la definición a utilizar al momento de referirse a arbustales, tanto con los sensores remotos como para el trabajo en campo.

En 2001, INAB publica el Mapa de Ecosistemas Vegetales de Guatemala, en el cual se establece que el país cuenta con 7 ecosistemas de arbustales. Estos ecosistemas son clasificados primordialmente por la humedad que se encuentra en el suelo, su fenología, y por la asociación que tienen con bosques de latifoliadas, bosques mixtos y de coníferas (Figura 2):

- Arbustal pantanoso dominado por carrizal con árboles dispersos
- Arbustal pantanoso no dominado por carrizal con árboles dispersos
- Arbustal clímax altimontano
- Arbustal deciduo xerofítico
- Arbustal deciduo no xerofítico
- Otros arbustales con latifoliadas
- Otros arbustales con mixtos o coníferas.

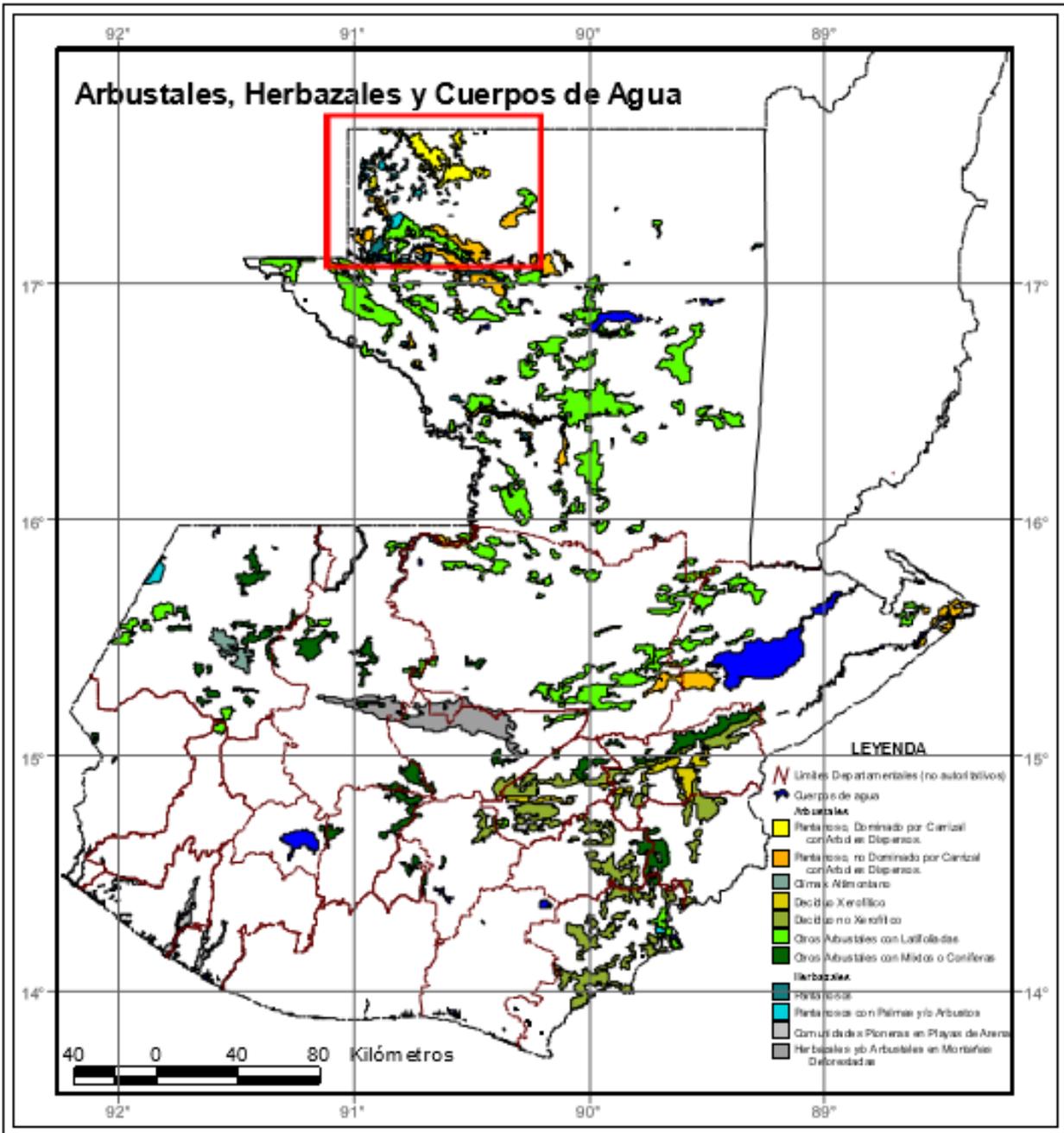


Figura 2. Mapa de Ecosistemas de Arbustales y Herbazales realizado en el 2001 por el INAB (INAB, 2001).

En el territorio guatemalteco, los arbustales (Matorrales / guamiles), abarcaban un total de 2, 392,500 ha, lo cual significaba el 22.6% (GIMBUT, 2004).

Los departamentos que han sufrido mayores pérdidas de cobertura en esta categoría (ordenados de mayor a menor) son Alta Verapaz (184,777 ha), Huehuetenango (114,788 ha), Petén (54,271 ha), Jalapa (37,027 ha) e Izabal (30,309 ha). Esta pérdida implica una deforestación en áreas en que se presentan diversos ecosistemas y áreas protegidas y sobre todo, es una fuente de emisión de GEI (DIGEGR-MAGA, 2015).

La mayor presencia de vegetación arbustiva baja es en el corredor seco del país. Esta área abarca un total de 9,362 km², representando el 9% del territorio nacional, abarcando 13 departamentos y 71 municipios. El corredor seco se conforma por dos regiones diferentes: El Corredor seco occidental y el corredor seco oriental (PNUD, 2013).

El corredor seco oriental se ubica en los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, El Progreso y Zacapa, cubriendo así un 54% del corredor seco (5, 236 km²). En el corredor seco oriental el 56% de su territorio se encuentra desprovisto de bosques, siendo cubierto únicamente un 23% por diferentes ecosistemas. Dentro de este porcentaje de ecosistemas presentes, el 14% de los ecosistemas presentes son arbustos y pastizales (PNUD, 2013).

En el departamento de Sacatepéquez la vegetación arbustiva baja abarca un total de 9,909.99 ha. La distribución de este tipo de vegetación se da en todo el departamento, pero son Alotenango y Ciudad Vieja los municipios con menor presencia de arbustales. Según el CEAB (2016), el municipio con mayor presencia de Arbustales es Antigua Guatemala con 1,761.62 ha.

En Guatemala no se ha realizado ningún estudio o investigación sobre la cantidad de carbono que captura la vegetación arbustiva baja, por lo que no se puede determinar la cantidad de carbono que se emite cada vez que se deforestan áreas donde predomina esta vegetación.

2.2.6 Bosques y cambio climático

Con el inminente cambio climático que se está viviendo, es necesario mencionar el papel importante que desempeñan los bosques como medidas de mitigación, en especial por la captura del CO₂ que es emitido a la atmósfera.

Los bosques desempeñan cuatro funciones principales en el cambio climático: actualmente los bosques contribuyen a casi un sexto de las emisiones de carbono mundial cuando han sido desbrozados, explotados en exceso o degradados; los bosques reaccionan sensiblemente a los cambios del clima; cuando han sido sosteniblemente ordenados, los bosques producen combustible como una alternativa más benigna que los combustibles fósiles; y por último, los bosques poseen el potencial de absorber un décimo de las emisiones mundiales de carbono previstas para la primera mitad de este siglo en sus biomásas, suelos y productos y almacenarlos, en principio, a perpetuidad (FAO, 2012).

2.2.7 Desaparición de cobertura forestal

Los bosques son fundamentales para el bienestar del planeta: cubren el 30% de la superficie terrestre y se estima que en ellos vive entre el 50% y el 90% de todas las especies del planeta. A pesar de que el humano depende en sí, de los bienes y servicios de los bosques en especial por el oxígeno que producen en la fotosíntesis, alrededor del 20% de la población mundial (1.600 millones de personas) depende de ellos para su supervivencia (Global Forest Coalition , 2009).

Pero los bosques están desapareciendo rápidamente. Entre 2000 y 2005 se perdieron al menos 7,3 millones de ha, y el ritmo parece estar aumentando: en los bosques tropicales primarios de diecisiete países clave, la tasa de deforestación fue un 25% mayor entre 2000 y 2005 que entre 1990 y 2000 (Global Forest Coalition , 2009).

Detener la deforestación es de vital importancia para las comunidades dependientes del bosque y para la biodiversidad. Pero también es crítico lograrlo si queremos tener alguna esperanza de frenar el cambio climático.

2.2.8 Bienes y servicios forestales afectados

Los bosques llevan a cabo un papel importante en la vida de los organismos presentes en el planeta y una función muy importante es la regulación que tienen sobre el clima, en especial por el carbono que capturan de la atmósfera para poder realizar la fotosíntesis y así desarrollarse. Debido a la deforestación acelerada que se ha dado en los últimos años, los bosques han dejado de capturar el carbono y liberarlo, ya que al momento de talar un árbol, el carbono que ha capturado y retenido

durante toda su etapa de vida es liberado nuevamente a la atmósfera. Para el año 2009, se identificó que la deforestación es la causante de la emisión del 18% de GEI por causas antropogénicas, superando para ese entonces, las emisiones provenientes de los medios de transporte a nivel mundial (Global Forest Coalition , 2009).

- Suelo

Existe una interacción entre bosques y suelo, ya que aparte de proveer anclaje y nutrientes a la planta, también se da el intercambio de carbono que absorben los bosques. Según la FAO, aproximadamente, dos tercios del carbono contenido en los ecosistemas forestales pueden ser hallados en los suelos (FAO, 2015) .

Pero este carbono también es liberado al momento en que el suelo cambia de uso y el bosque es talado. Al momento en que un bosque es talado y el suelo queda sin cobertura vegetal, éste tiene una mayor exposición a la luz del sol, calentándose y liberando el carbono que tenían capturado (Global Forest Coalition , 2009).

- Lluvia

En algunos casos los bosques ayudan a que haya más precipitación en algunas áreas, como lo es el caso del bosque nuboso, el cual propicia el movimiento del agua de las nubes hacia el suelo. Al haber una deforestación en este tipo de bosques se pierde esa facilidad de agua brindada por este tipo de bosque, sin mencionar la infiltración en aguas subterráneas (Global Forest Coalition , 2009).

- Ecosistemas

La deforestación también tiene un impacto sobre los ecosistemas y la producción de alimentos, que dependen de la lluvia, al igual que al momento de deforestar, se pierde la diversidad biológica de una determinada área, así como los nichos ecológicos se ven desocupados y especies invasoras aprovechan la oportunidad para poder establecerse, cambiando las interacciones de ese ecosistema (Global Forest Coalition , 2009).

2.2.9 Deforestación en Guatemala

Las Naciones Unidas (2015), indican que la tala de árboles es la causa de un 20% de emisiones de GEI a la atmósfera a nivel mundial. Esta tala se debe principalmente al cambio del uso de la tierra para cultivos agrícolas (Naciones Unidas, 2015). En Guatemala, el Perfil Ambiental de Guatemala, elaborado por el IARNA-URL, presenta que en el año de 1950 la cobertura forestal era de un 64.05% y para el año 2012 este porcentaje disminuyó a un 34.2%. Esta alarmante cifra demuestra que se perdió casi la mitad de cobertura boscosa en un período de 62 años (IARNA-URL, 2012).

Del total de áreas deforestadas en el país, un 42% de éstas se dan en 5 “frentes”: Frente Petén Sur-La Libertad-Montañas Mayas, Frente Sana Ana-Tikal-Yaxhá, Frente Melchor de Mencos. Frente La Palotada y Frente Manabique, ubicado en Punta de Manabique. Como se puede apreciar, 4 de éstos frentes se encuentran en Petén, en el área de la biosfera Maya. (IARNA-URL, 2012)

Para el período 2006-2010, el Perfil Ambiental de Guatemala indica que los departamentos que presentaron una mayor pérdida en su cobertura forestal fueron: Petén, Izabal, Chiquimula, Baja Verapaz y Guatemala. Sin embargo, también se presentaron departamentos que tuvieron una ganancia en su cobertura, como lo son: Huehuetenango, Quiché, Escuintla, Alta Verapaz y Suchitepéquez. Durante este período (2001-2006), la deforestación neta promedio anual estimada fue de 48,084 ha.

La metodología empleada en el año 2012 por IARNA, INAB y la FAO, establecen que Guatemala cuenta con un déficit de aproximadamente 6 millones de metros cúbicos anuales de leña y es de esperarse, ya que la leña sigue siendo la base de la matriz energética en Guatemala. Esta es considerada una de las principales causas de degradación de ecosistemas y pérdida de cobertura forestal, siendo la deforestación una de las principales causas de emisión de GEI, tanto en Guatemala, como en toda Latinoamérica (MARN, 2016).

2.2.11 Impactos del Cambio Climático en los bosques de Guatemala

Existen estudios que demuestran que los cambios en el clima han causado numerosas alteraciones en los bosques. Los bosques, al igual que las personas, las sociedades y las actividades relacionadas responden con sensibilidad al cambio climático por ser ecosistemas de grandes dimensiones que se encuentran a menudo en lugares marginales, su vida es prolongada y muchas veces han sido objeto de extracciones exhaustivas. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) calificó los bosques boreales, de montaña, mediterráneos, de manglares y pluviales tropicales, como los ecosistemas más propensos a ser afectados por el cambio climático (INAB, 2013).

Entre algunos de los impactos a los bosques, el INAB plantea algunos como las perturbaciones en los ecosistemas debido a los eventos de clima extremos, la simplificación de la composición de los ecosistemas debido a la aparición de especies oportunistas o invasoras, así como la pérdida de la biodiversidad debido a los cambios de temperatura y variables climáticas y el desplazamiento de ecosistemas y el límite de éstos, debido a los cambios en la precipitación y la temperatura (INAB, 2013)

2.2.12 Mapeo Forestal

Para poder generar datos de la cobertura forestal y las áreas para medición de carbono fueron necesarias las imágenes satelitales para poder obtener datos más precisos. En Guatemala, la información empleada para la generación de datos y mapas, es obtenida de por medio de satélites LANDSAT (LAND de tierra y SAT de satélite). El conjunto LANDSAT consta de 8 satélites, pero se encuentran en uso el 5 y el 8. Estos satélites que son operados por la NASA, han estado observando la superficie terrestre desde los años 70, pasando por el mismo punto cada 16 días, proveyendo imágenes con una resolución de 30 metros en seis diferentes bandas de luz (tres visibles y tres infrarrojas). También por medio de una banda de luz infrarroja térmica y una banda pancromática se obtiene una resolución adecuada para realizar mapeos de áreas extensas con el detalle ideal para escalas 1:50,000 (INAB, CONAP, URL-IARNA, UVG, MARN, 2012).

En 1988 se obtiene el primer mapa de cobertura forestal para Guatemala como una iniciativa de la FAO a través de la oficina del Plan Forestal de Guatemala (PAFG). Por medio de la

clasificación de las imágenes LANDSAT-TM, se pudieron identificar diversos tipos de cobertura boscosa. Once años más tarde, el INAB determina las asociaciones, que son fragmentos de bosques con otros usos del suelo y también el MAGA genera el primer Mapa del Uso de la Tierra. Es en el año 2001 que la UVG, CONAP e INAB llevan a cabo el proyecto sobre la “Dinámica de la Cobertura Forestal en Guatemala durante los años 1991-1996 y 2001 y Mapa de Cobertura Forestal 2001 (Montenegro & Castellanos, 2015).

2.2.13 Instituciones con metodologías para estimación de carbono

- **IPCC**

El IPCC crea tres niveles diferentes de aproximaciones para poder calcular el contenido de carbono en los ecosistemas. El primer nivel no necesita recolección de datos, ya que se pueden usar valores de referencia de tablas del IPCC. La desventaja es que no se puede diferenciar los tipos de bosques en las regiones a estimar, posee un alto nivel de error ($\pm 50\%$) y los resultados son muy generales. El segundo nivel, usa valores de referencia más específicos, como lo son datos nacionales, cuenta con una división de estratos forestales y tiene modelos generales de emisiones. El tercer y último nivel es el más preciso de todos, ya que se basa en parcelas permanentes y modelos específicos, presenta un modelo detallado de emisiones, presentando la única desventaja que es un alto costo (Vallejo & Rodríguez, 2008).

- **Winrock International**

En la última década, la Unidad de Servicios Ecosistémicos de Winrock (ECO-WI, por sus siglas en inglés) ha desarrollado metodologías y procedimientos para brindar datos confiables de los procesos que son realizados, entre ellas está la Primera Metodología REDD certificada. (Winrock International , 2016)

- **Estándar Verificado de Carbono**

El VCS (Por sus siglas en inglés) surge en marzo del 2005, con el fin de poder ordenar el mercado voluntario de carbono y credibilidad a los certificados de reducción de emisiones voluntarias. Para poder asegurarse que el cálculo de la reducción de las emisiones logradas fuera uniforme, se desarrollaron metodologías para los distintos tipos de proyectos, con el fin de poder

especificar cómo se pueden calcular y reducir las emisiones de GEI. Si en dado caso algunas de las metodologías que ya existen no es factible al proyecto, los encargados de dicho proyecto pueden desarrollar una nueva metodología y validarla por medio del VCS Methodology Approval Process. (VCSA, 2015)

- **Climate Action Reserve**

CAR (por sus siglas en inglés), cuenta con la metodología o protocolo para medición de carbono FPP (The Forest Project Protocol). Al igual que el VCS, esta metodología cuenta con diferentes formas para estimar las emisiones y reducciones de GEI que están asociados a la reforestación, manejo forestal y otros proyectos. Entre las herramientas que provee están: la ecuación de biomasa, proveniente del Servicio Forestal de Inventario y Análisis de Estados Unidos (FIA por sus siglas en inglés), un documento de Excel para cálculos y monitoreo de datos, formatos de reportes, la guía de cuantificación de carbono, entre otros. (CAR, 2016)

2.2.14 Estrategias ambientales

REDD+

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, entró en vigor en 1994 y ha sido casi universalmente ratificada con 195 países miembros o partes de la Convención. El objetivo principal de la CMNUCC es reducir las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero en la atmósfera para prevenir el cambio climático causado por intervenciones antropogénicas (humanas). A través del foro de la CMNUCC y sus Conferencias de las Partes (COP) los Estados miembros vienen negociando acuerdos orientados a la mitigación y adaptación de la comunidad global a los impactos del cambio climático. Lo anterior incluye el mecanismo REDD+, inicialmente establecido en el Plan de Acción de Bali (COP13) en 2007, y el cual ha continuado desarrollándose en las COP posteriores (MARN, 2016).

REDD+ fue creado por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), siendo un mecanismo de financiamiento cuyo fin es disminuir las emisiones de GEI que se emiten por la deforestación de bosques en países en vías de desarrollo. Sus siglas significan Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación. (Bonilla, 2015)

Los objetivos que persigue REDD+ son los siguientes: Reducir las emisiones provenientes de la deforestación, reducir las emisiones provenientes de la degradación forestal, conservar las reservas forestales de carbono, hacer un manejo sostenible de los bosques e incrementar las reservas forestales de carbono. El mecanismo REDD+ utiliza Niveles de Referencia, los cuales son puntos de referencia para evaluar el desempeño de cada país en la ejecución de actividades de REDD+ (FAO, 2015).

Para los países que buscan implementar el mecanismo REDD +, se debe de realizar por medio de tres fases:

- **Fase 1.** Preparación (también conocida como REDD+ Readiness)
En esta fase, se hace referencia al desarrollo de estrategias nacionales o planes de acción, políticas y medidas y desarrollo de capacidades (The Forests Dialogue, 2009).
- **Fase 2.** Implementación de las políticas y medidas, estrategias nacionales y planes para atacar las causas de la deforestación.
La segunda fase, como lo dice, busca implementar estrategias y planes para disminuir la deforestación. Estas acciones son implementadas según el desempeño que tengan, promoviendo la ampliación de las inversiones de los sectores público y privados en áreas como la capacidad institucional, la gobernanza forestal, restauración del paisaje, un buen manejo forestal, la tenencia de la tierra y promoción de buenas prácticas agrícolas y agricultura sostenible (The Forests Dialogue, 2009).
- **Fase 3.** Actividades basadas en resultados demostrados mediante medición, reporte y verificación. Básicamente esta última fase trata sobre el análisis de resultados y las acciones que se llevarán a cabo en base a éstos, como lo es el mercado de carbono (The Forests Dialogue, 2009).

2.2.15 Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional

Las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDCs por sus siglas en inglés), son un acuerdo que se tuvo con la finalidad de poder reducir las emisiones de GEI por parte

de la Comunidad Internacional para poder evitar que el calentamiento global sobrepase los 2°C. Durante la Conferencia de las Partes (COP20), que se llevó a cabo en Lima en diciembre de 2014 se establecieron los lineamientos para la elaboración de las INDCs para cada país, sea desarrollado o en vías de desarrollo. Entre los acuerdos acordados, está que todos los países deben de presentar sus INDCs, sin la obligatoriedad de presentar medidas de mitigación para estas; los países en desarrollo pueden presentar junto con sus contribuciones, las medidas de adaptación que proponen o han adoptado, así como los daños y pérdidas que han tenido (Centro del Sur, 2015).

Para los países en vías de desarrollo se estableció un formato para las INDCs para las medidas de mitigación. A continuación se presentan los puntos que deben de llevar este formato para los países en vías de desarrollo como lo es Guatemala:

- Preámbulo: Dependiendo de los recursos financieros y tecnológicos con los que se cuentan, se puede indicar el grado de aplicación de la contribución de mitigación prevista señalado.
- Situación y contexto político nacional: Se presenta la información de manera breve, concisa y a nivel nacional sobre las INDCs, y la manera en que se abordaran éstas contribuciones a los planes y estrategias nacionales.
- Tipo de contribución relacionada con la mitigación y con la evitación de emisiones: Se presentan las medidas o bien, los objetivos con los que se pretende reducir las emisiones. Dichas medidas pueden ser sectoriales, aplicándose a algún programa o proyecto que ya se tenga.
- Calendario de aplicación: Básicamente en esta parte es señalar la fecha de inicio y de finalización para las contribuciones. Para referirse a los objetivos y metas deberían indicarse el año de referencia y el año fijado para el cumplimiento del objetivo.
- Ámbito y cobertura: Pueden incluirse el ámbito de los gases incluidos y los sectores o fuentes emisoras.
- Hipótesis y enfoques metodológicos: Le compete al país definir la hipótesis sobre el trabajo y las metodologías que empleará para contabilizar las emisiones.
- Procesos de planeación: Pueden incluirse el ámbito de los gases incluidos y los sectores o fuentes.

- Medios de aplicación: Pueden especificarse los recursos nacionales disponibles y el apoyo externo necesario en relación con la estimación de los costos financieros, de transferencia de tecnología y de fomento de la capacidad para un conjunto determinado de medidas de mitigación.

(Centro del Sur, 2015)

Sin embargo, los países en desarrollo han tenido la libertad de escoger entre varias opciones sobre las medidas de mitigación que han planeado o a las que se han comprometido. Entre dichas medidas de mitigación están desde el aumento de la superficie forestal y la mejora de la eficiencia energética hasta la reducción del nivel de GEI por unidad de PIB. Algunos países decidieron incluir una, dos o más de estas medidas en sus promesas, y casi todos los países mencionaron también que estas contribuciones estaban sujetas a la condición de recibir apoyo financiero y tecnológico (Centro del Sur, 2015).

2.2.16 Acciones de Mitigación Apropriadas para cada País

Las Acciones de Mitigación Apropriadas para cada País (NAMAs por sus siglas en inglés), buscan reducir las emisiones de GEI, de manera medible, reportable y verificable. Las NAMAs pueden ser a corto plazo como lo son proyectos o planes, o bien políticas, estrategias o programas de reducción de emisiones a largo plazo (GIZ, 2011).

Por medio de las NAMAs se pretende cumplir con la reducción de emisiones de GEI entre el 15 – 30 % para el año 2020, según lo establecido por el IPCC. Con estas reducciones, se estaría evitando la emisión de 40 mil toneladas de CO₂ equivalente (GIZ, 2011).

Las NAMAs pueden ser clasificadas según la fuente de financiamiento por medio de la cual se estén llevando a cabo:

- NAMAs Unilaterales: son las acciones financiadas totalmente con recursos propios del país en donde se busca implementar dichas acciones. La fuente de los recursos puede ser tanto privada como pública o bien una combinación de ambas. El registro de este tipo de NAMAs,

hace posible el reconocimiento del esfuerzo de los países en desarrollo que voluntariamente buscan trabajar las acciones de mitigación ante el Cambio Climático (Mendieta, 2013).

- NAMAs con apoyo: estas NAMAs son aquellas que cuentan con un apoyo internacional, el cual puede ser financiero, técnico o bien por medio de la construcción de capacidades. El apoyo para estas acciones puede ser de países desarrollados, fondos privados o multilaterales o bien bancos de desarrollo (Mendieta, 2013).

2.3 Marco Referencial

2.3.1 Municipio de San Antonio Aguas Calientes

El departamento de Sacatepéquez, ubicado en la región central del país, cuenta con 16 municipios, siendo San Antonio Aguas Calientes el municipio donde se encuentra el astillero donde se desarrollará el trabajo de investigación. El municipio de San Antonio Aguas Calientes cuenta con una superficie de 17 km². Se encuentra ubicado a 7 kilómetros de la cabecera departamental (Antigua Guatemala) y a 53 kilómetros de la ciudad capital. Este municipio limita al norte con Santa Catarina Barahona, al sur con San Miguel Dueñas y Ciudad Vieja y al este con Antigua Guatemala y San Miguel Dueñas.

2.3.2 Población

Para el año 2008, la población del municipio de San Antonio Aguas Calientes era de 9,706 habitantes. La densidad poblacional es de 766.75 hab/km². La población se compone de un 52% de mujeres y un 48% de hombres. El Índice de Desarrollo Humano para el año 2010 era de 0.701. (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2010)

2.3.3 Hidrografía

El municipio de San Antonio Aguas Calientes se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río Achiguate y la subcuenca del río Guacalate, el cual desemboca sus aguas en el océano Pacífico. Dentro del municipio también se encuentran los ríos Nimayá y Agua Colorada. En el municipio se presentan dos zonas de recarga hídrica. La primera con una precipitación de 1588 mm a 1972 mm, ubicada en el casco urbano y la segunda que se encuentra en las faldas de las

montañas y cerros, teniendo una precipitación de. 2000 a 2499 mm. (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia , 2010)

2.3.4 Economía

Las principales actividades económicas dentro del municipio son: Industria Manufacturera Textil y Alimenticia, Comercio por Mayor y Menor, Restaurantes y Hoteles, Agricultura, Caza, Silvicultura y Pesca. Los principales productos agrícolas del territorio son las legumbres, verduras, hortalizas, las cuales son destinadas para el comercio local en un 15% y para otros mercados el 80%, sus principales mercados son la Antigua Guatemala, la ciudad capital, en la exportación hacia El Salvador. De igual forma tienen una amplia producción de artesanías, así como de tejidos típicos de alta calidad. (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia , 2010)

2.3.5 Pobreza

Para el año 2006, se estimó que un 51% de la mitad de la población vivía en pobreza y un 15% en extrema pobreza (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011), sin diferenciar entre población rural o urbana. En 2010, para el municipio de San Antonio Aguas Calientes, el índice de pobreza general se sitúa en un 40.4% y el de pobreza extrema en 3.8%. (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia , 2010)

2.3.6 Educación

A partir del año 2000, se dio una ampliación en la cobertura de la educación a nivel nacional lo que ayudó a incrementar la tasa neta de escolaridad en el departamento de Sacatepéquez, teniendo la población en 2009, un nivel de escolaridad primaria de 93%, básico de 52% y diversificado de 28% (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011). A nivel municipal, San Antonio cuenta de 94.21% de escolaridad primaria, 62.17% de básicos y solo un 3.78% de diversificado. La tasa de analfabetismo es de 8.61%. (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia , 2010)

2.3.7 Salud

En Guatemala, a principios del siglo XXI, por cada mil niños que nacen, 34 mueren antes de cumplir un año y 45 antes de llegar a los cinco años. Las enfermedades respiratorias y la diarrea

son las principales causas de que la tasa de mortalidad infantil sea tan alta. Más de la quinta parte de los niños menores de cinco años del país han presentado síntomas, pero solo el 44% de los casos de una infección respiratoria aguda recibe tratamiento, mientras que menos de dos terceras partes de los casos de diarrea son atendidos. También es importante la cobertura de vacunación en niños para la prevención de la mortalidad y morbilidad. Aproximadamente una cuarta parte de los niños menores de dos años en el país tienen pendiente una o más vacunas (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011).

2.3.8 Tradiciones

El 13 de junio, se celebra la feria patronal en honor a San Antonio de Padua, por lo que se realizan actos religiosos, culturales, sociales y deportivos. El templo se encuentra al oriente de la plaza central, en los cuatro extremos de la misma se observa la presencia de capillas que utilizan como descanso (estaciones) en la festividad del Corpus Christi que, regularmente, coincide con la fiesta patronal y en la cual desfila el baile de gigantes y otras actividades culturales. El plato típico característico del lugar es el pepián y estofado de tres carnes. (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia , 2010)

2.4 El Astillero

El Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez, cuenta con un área aproximada de 168.66 ha. Dentro del Astillero la zona de vida predominante es el Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical. La precipitación promedio anual es de de 800 mm a 1000 mm. La temperatura promedio es de 14°C a 20°C. A nivel edafológico, los suelos que se encuentran son andisoles, constituidos de Alotenango y ceniza volcánica. Dicho suelo es moderadamente fino y cuenta con la característica de tener un buen drenaje. La topografía del astillero va de quebrada a escarpada, existiendo pendientes de 20 a 70 grados y una elevación de 1500 a 2400 msnm. Los límites del Astillero, colindan con el municipio de Pastores al norte, al sur y este con la cabecera municipal de San Antonio y al oeste con el municipio de Santa Catarina Barahona. (CEAB-UVG, Asociación Sotz'il, 2011)

2.4.1 Administración

Actualmente, el Astillero Municipal, se encuentra bajo la administración de la Municipalidad de San Antonio Aguas Calientes, ya que aún no cuenta con la declaratoria de área protegida por

parte del CONAP. Las comunidades de dicho Municipio no cuentan con alguna organización que se dedique a la conservación específica del Astillero. Eventualmente se realizan campañas de reforestación con escuelas y entidades públicas, como la Policía Nacional.

2.4.2 Hidrología

El astillero pertenece a la vertiente del Pacífico. Es una importante zona de recarga hídrica, debido a la existencia de mantos acuíferos de los cuales se extrae agua para suministrar al municipio de San Antonio Aguas Calientes. De igual forma, existen pequeños nacimientos de agua que mantienen un caudal pequeño, pero perenne. (López S., 2017)

Lastimosamente, las áreas de los riachuelos provenientes de los nacimientos o bien en el área donde se entuban para dar a una cisterna, se encuentran contaminados por desechos sólidos (observación en campo).

2.4.3 Vegetación

En cuanto a ecosistemas vegetales, Sacatepéquez cuenta con 3% de bosque latifoliado, 33% de bosque mixto, 5% de bosque arbustal y herbazal, mientras el 58% de su territorio presenta uso agrícola. El Astillero de San Antonio Aguas Calientes cuenta con diferentes tipos de vegetación en distintos lugares como reflejo de las diferentes condiciones micro climáticas que permiten la existencia de diferentes nichos ecológicos. La mayoría de estos resultan de la interacción de temperatura, precipitación y relieve. La fisionomía varía desde bosque latifoliados nubosos, bosques latifoliados húmedos, bosques de pino-encino, bosque de ciprés e ilamo y bosque de ciprés y bosque seco. Los arbustales dentro del Astillero Municipal, ocupan un total de 116.34 ha. (CEAB-UVG, Asociación Sotz'il, 2011)

2.4.4 Inventario de carbono

En el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, se han realizado diferentes estudios por el CEAB. Uno de ellos fue en 2011 el estudio de la dinámica forestal y un inventario de carbono para todo el Astillero. Para dicho estudio, se utilizaron imágenes obtenidas por los satélites LANDSAT 5 y 7. Estos satélites proporcionan ortofotos (fotografías aéreas) con una resolución degradada de 1m X 1m lo que permite muy buen nivel de detalle para identificar los cambios de bosque. (CEAB-UVG, Asociación Sotz'il, 2011)

Respecto a la dinámica forestal del año 2001 al 2006 se obtuvo una ganancia en la cobertura forestal de 7.2% y una pérdida de 3.2% en la misma, dando como resultado una ganancia neta de 2.4%. (CEAB-UVG, Asociación Sotz'il, 2011)

Respecto al inventario de carbono, se analizaron 24 parcelas mediante la metodología para la Estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala. Se tomaron en cuenta los reservorios de carbono en maleza, hojarasca, suelo, árboles jóvenes y arbustos y árboles grandes. Analizando dichos datos y por medio de un analizador de carbono y nitrógeno en el suelo se obtuvieron los primeros datos de carbono para todo el Astillero. El promedio estimado de la densidad de carbono capturado en el bosque de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez es de 236.35tC/Ha, acumulando un aproximado de 14,911 toneladas de carbono, en base a las 63.09 ha de bosque reportadas para el año 2006. También se concluyó que el Astillero Municipal no es económicamente rentable para el aprovechamiento de madera, ya que su composición es 98% de especies latifoliadas y los pocos individuos de coníferas se encuentran por debajo de los 40cm de DAP. (CEAB-UVG, Asociación Sotz'il, 2011)

3. PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Definición del problema

A nivel nacional se cuenta con mapas de cobertura forestal y uso de la tierra, que han ayudado a identificar diferentes áreas forestales y de cultivos, las cuales han sido verificadas en campo y han servido para realizar estimaciones de la cantidad de carbono que secuestra cada uso de la tierra.

Una vegetación que ha sido poco estudiada en lo que respecta a la captura de carbono, es la vegetación arbustiva baja, la cual representa el 22.6 % de la cobertura vegetal en Guatemala, según los estudios realizados por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT) en 2014.

Al no haber sido analizado este tipo de vegetación, se desconoce la estimación del contenido de carbono en los arbustales y cómo afecta, a nivel de emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio de uso de la tierra en áreas que poseen dicha vegetación.

3.2 Justificación

Actualmente en Guatemala se trabaja en construir la Estrategia Nacional REDD+. Uno de sus componentes tiene asignada la elaboración de niveles de referencia de emisiones (NRE), en este caso del sector de Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS).

Para llegar a esos NRE se debe de cumplir con dos cosas: a) datos de actividad, b) factores de emisión. Los datos de actividad se obtienen de los mapas de cobertura forestal y otros usos de la tierra en los cuales hay que diferenciar las categorías del IPCC (tierras forestales, tierras agrícolas, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras) y el segundo, de realizar muestreo de campo para estimar el contenido de carbono.

El país cuenta con información de mayor precisión para las tierras forestales, sin embargo, no se cuenta con información sobre los arbustales. Por lo tanto, la presente investigación generará datos para la verificación de mapas vs. campo, además de estimar el contenido de carbono existente en los arbustales, con el propósito de evaluar si a nivel nacional debe hacerse un mayor esfuerzo

en conservar las áreas que poseen vegetación arbustiva baja, teniendo como premisa, el contenido capturado de carbono, ya que los arbustos representan el 22.6% del territorio nacional.

La información del presente estudio será un primer paso a nivel nacional para fortalecer los datos, gestionar, planificar, diseñar e implementar acciones que estén en línea de lo propuesto por la Estrategia nacional REDD+, las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (INDCs por sus siglas en inglés), y las acciones de mitigación apropiadas a cada país (NAMAs, por sus siglas en inglés), los Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero (INGEI), entre otros, ya que es uno de los primeros trabajos enfocados únicamente a la medición de carbono en la vegetación arbustiva.

4.OBJETIVOS

4.1 Objetivo General:

Estimar el contenido de carbono en vegetación arbustiva baja en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.

4.2 Objetivos Específicos:

- Proponer la metodología de medición de carbono en arbustales de Guatemala, en base a la verificación de campo.
- Estimar el contenido de carbono para arbustales, con base 4 componentes: arbustos, suelo, maleza y hojarasca.

5. METODOLOGÍA

5.1 Ambiente

El Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, se encuentra ubicado en el municipio de San Antonio Aguas Calientes, departamento de Sacatepéquez en la región central del país, colindando con el municipio de Pastores al norte, al sur y este con la cabecera municipal de San Antonio y al oeste con el municipio de Santa Catarina Barahona.

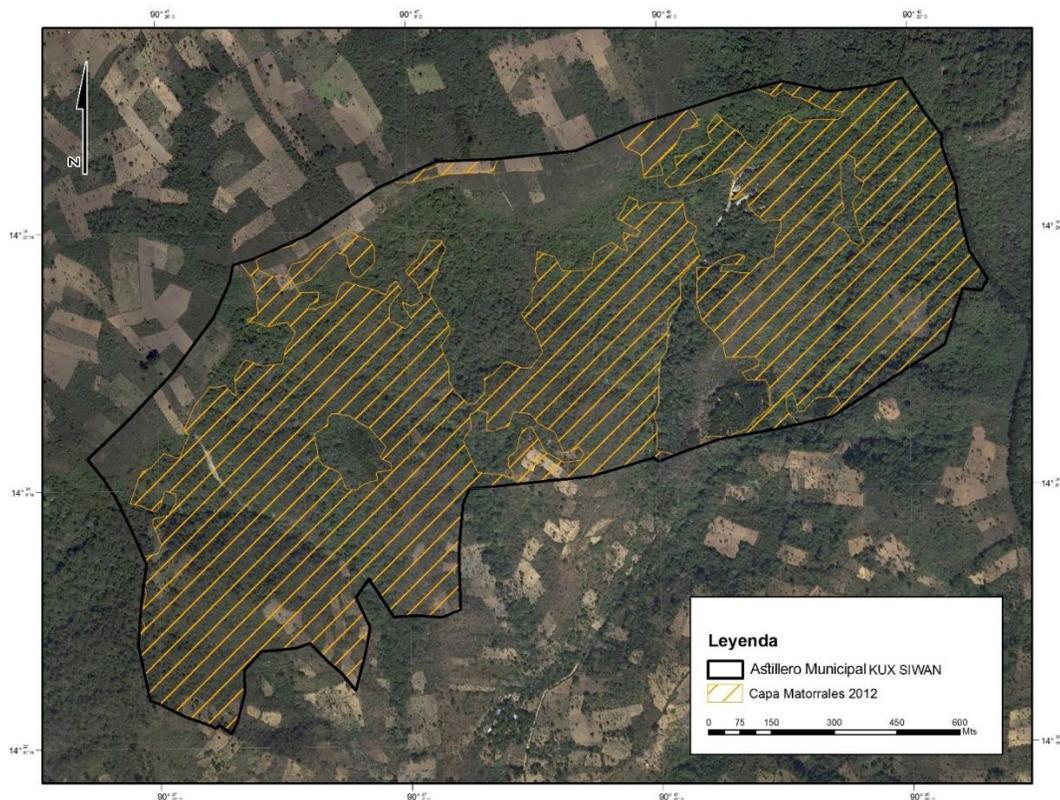


Figura 4. Mapa de vegetación Arbustiva presente en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes en el departamento de Sacatepéquez para el año 2012. (CEAB – UVG, 2016)

5.2 Unidad de análisis

Parcela de 5 m de ancho por 5 m de largo, lo que da un área de 25m^2 en donde se evaluaron los arbustales, midiendo diámetro a la altura del pecho y altura. Dentro de este mismo espacio se delimitó una parcela de un metro cuadrado (1m^2) en el cual se estimó el carbono de maleza, hojarasca y suelo (Figura 5).

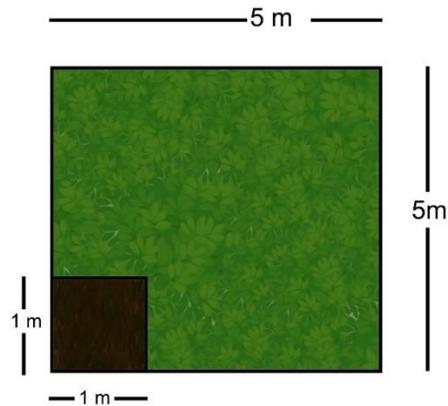


Figura 5. Diagrama de la medición de parcela para estimar el contenido de carbono de la vegetación arbustiva baja. Elaboración Propia.

5.3 Tipo de investigación

La presente investigación es cuantitativa, ya que por medio de mediciones se pretende obtener información numérica para generar datos.

5.4 Instrumentos

- Material cartográfico (fotografías aéreas, documentos cartográficos, imágenes satelitales)
- GPS
- Brújula
- Hipsómetro
- Clinómetro
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica
- Rastrillos
- Formularios para la colecta de datos
- Marcadores
- Palanganas
- Balanzas
- Bolsas de papel y bolsas de plástico
- Calibradores

- Contenedor para muestras de suelo (cilindro de 188cm³)
- Balanzas de precisión (electrónicas)
- Horno de convección.
- Analizador de Carbono (Flash EA 1112 de Elantech)

5.5 Procedimiento

5.5.1 Fase inicial de gabinete

1. Revisión bibliográfica sobre el contenido de carbono y los diferentes proyectos e iniciativas que se han tenido respecto a este tema en Guatemala.
2. Se realizó un corte de la información del Mapa del Uso de la Tierra (GIMBUT, 2014) sobre arbustales del municipio de San Antonio Aguas Calientes y conocer el área y porcentaje que representa en el departamento.

5.5.2 Fase de campo

1. Se verificó que el uso de la tierra coincida con lo indicado en el mapa y por lo tanto con la definición de arbustal.
2. Se planteó realizar 30 parcelas de muestreo de carbono (cantidad en la cual una muestra se normaliza) con el fin de generar los primeros datos.
3. Se elaboró una propuesta metodológica (colocada en la sección 6.6 Análisis de la información del presente trabajo) para poder estimar el contenido de carbono almacenado en arbustales, teniendo como base la metodología propuesta por el CEAB-UVG para estimación de carbono.
4. Se levantaron parcelas de 500 m² (20 x 25 m) implementando los procedimientos de la metodología del CEAB-UVG.
5. Se realizó enmiendas a la metodología de campo en base a la experiencia.
6. Se levantaron 30 parcelas implementando los procedimientos de la metodología propuesta (metodología detallada en el inciso 6.6 del presente capítulo).
7. Se realizó la medición en 4 reservorios de carbono: arbustos, maleza, hojarasca y suelo.
8. Se determinó la materia seca (biomasa seca) y el carbono por medio de análisis de laboratorio.

5.5.3 Fase final de gabinete

1. Se estimó la densidad de carbono (tC/ha) general, para un sistema de vegetación arbustiva baja.
2. Se estimó el contenido de carbono total (tC) almacenado en las áreas de arbustales del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes.
3. Se realizó la georeferencia de los resultados.

5.6 Análisis de la información

La metodología utilizada para la medición de carbono en vegetación arbustiva, tuvo como base la planteada por el CEAB-UVG 2010 para estimación de carbono en bosques y sistemas agroforestales. Dicha metodología hizo uso de dos subparcelas para las mediciones.

- **Mediciones y muestreo de campo**

Al comenzar a realizar la parcela, se tomó la posición geográfica por medio de un gps. Para la medición de la pendiente en el área donde se realizó cada parcela, se hizo uso de un clinómetro. Seguidamente, el punto en que se tomó la posición con el gps fue utilizado como punto de partida para hacer la medición de 5 x 5 m. Luego de delimitar la parcela, se dividió en 2 subparcelas, como se puede apreciar en la figura 4, para la toma de muestras: maleza, hojarasca y suelo y arbustos.

La primera subparcela constó de 1x1m. Se arrancó de la raíz la maleza que se encuentra en dicha subparcela y se colocó en bolsas para luego pesarla y obtener el peso húmedo. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento con la hojarasca (Figura 5). Para la toma de muestra de suelo se utilizó un cilindro de cobre, cuyo volumen es de 188 cc. Se insertó el cilindro en el suelo y luego el contenido se colocó en una bolsa debidamente identificada.

La segunda subparcela constó de 5x5m y en esta parcela se miden los arbustos. Se tomó el diámetro a partir de la base (10 cm por encima del suelo) de la planta. Para tomar el diámetro se puede hacer uso de un Vernier o un micrómetro.

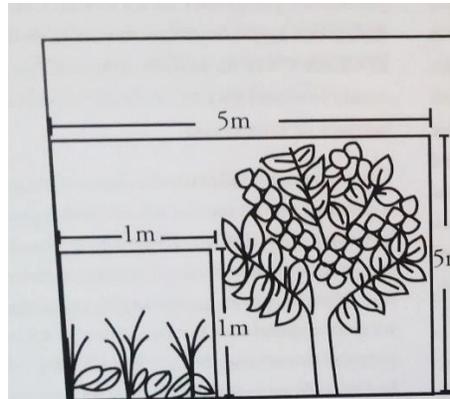


Figura 4. Parcela rectangular de muestreo de carbono. (Castellanos, Quilo, & Mato, 2010)

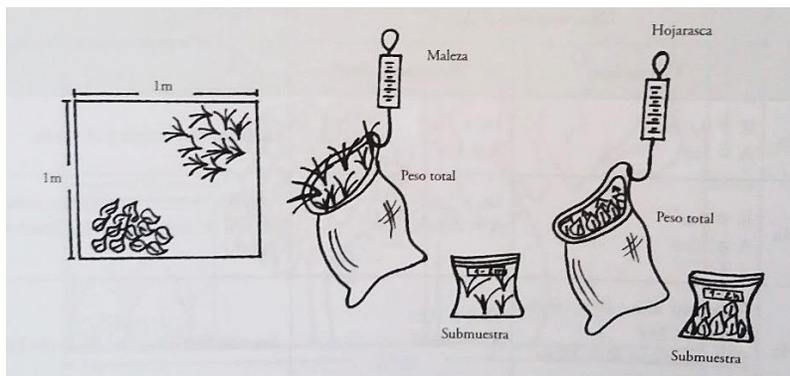


Figura 5. Separación, peso húmedo total y colecta de muestras de la maleza y hojarasca en la primera subparcela. (Castellanos, Quilo, & Mato, 2010)

- **Análisis de laboratorio de maleza y hojarasca**

Al tener todas las muestras, éstas fueron llevadas al laboratorio para determinar el contenido de humedad y con esto poder calcular el peso seco total. Para la materia vegetal se pesó la muestra para saber el peso húmedo de la muestra. Se recomienda hacer este pesaje en el campo.

Las muestras fueron colocadas en bolsas de papel y luego dentro de un horno de convección de 40° a 60°C. La temperatura empleada en este trabajo fue de 40°. Durante el período de días en que se lleva a cabo el secado, se debe de observar constantemente el peso de las mismas hasta que alcancen un peso constante, lo que indicará que es el peso final en seco.

- **Análisis de laboratorio de suelo**

Las muestras de suelo tomadas en campo se colocaron en un recipiente abierto (palangana) para que éstas se sequen. Las muestras no se colocaron al sol ni en un horno, ya que se oxidaría el carbono.

Al estar secas las muestras, se procesaron por medio de un tamiz #10, el cual cuenta con aberturas de 2mm, para poder separar rocas del suelo. Se pesó por separado el suelo y las rocas. El peso de las rocas no es incluido en los cálculos que se realizan posteriormente, ya que se asume que las cantidades de carbono que poseen no son pertinentes.

Antes de ir al análisis de carbono, el suelo pasó por un tamiz #100 el cual tiene aberturas de 100 micrómetros. Con esta tamizada se buscó obtener una muestra más homogénea para el análisis de carbono. Se colocó 1 g de la muestra de suelo en el horno a 60°C por una hora para estimar la humedad. Mientras tanto, una segunda muestra fue utilizada para conocer el porcentaje de carbono en el suelo por medio del analizador de carbono y nitrógeno FlashEA 1112 de Elantech. Luego de calibrar el analizador, se colocaron las muestras del suelo dentro de éste, el cual determinó automáticamente el porcentaje de carbono y nitrógeno. Al obtener los datos del analizador se procedió a calcular la densidad de carbono en el suelo mediante la siguiente ecuación:

$$tC/ha = Prof. \times D \times \%CO$$

Donde tC/ha es la densidad de carbono en el suelo, Prof. es la profundidad de muestreo en cm y %CO es el contenido porcentual de carbono orgánico en el suelo.

- **Cálculos y estimación de biomasa seca**

Contando con el peso húmedo y el peso seco de las muestras se puede obtener el porcentaje de materia seca a partir de la siguiente ecuación:

$$MS = PS / PH$$

Donde MS es la materia seca de la muestra, PS es el peso seco de la muestra en gramos y PH el peso húmedo de la muestra en gramos.

La conversión del peso húmedo de campo a biomasa se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$BT = PHc * MS$$

Donde BT es la biomasa total seca en kg de la hojarasca, maleza, arbustales o árboles jóvenes, PHc es el peso húmedo total registrado en campo en kg y MS es la materia seca de la muestra.

- **Contenido de carbono en maleza y hojarasca**

La conversión de biomasa seca a carbono se realiza por medio del factor de conversión estándar que propone el IPCC de 0.5. Para la maleza y la hojarasca medidas en la primera subparcela, el contenido de carbono es convertido a toneladas para luego dividirlo dentro del área de muestreo utilizando la siguiente ecuación:

$$tC/ha = (BT * 0.5 / 1000) / \text{área de la parcela en ha}$$

El resultado de la ecuación anterior es conocido como Densidad de Carbono, la cual se promedia con el resultado de las otras parcelas. Este promedio es utilizado para calcular el Contenido de Carbono Total en estos componentes multiplicándolo por el área total del bosque.

- **Contenido de carbono en arbustos**

Existen 2 maneras de poder hacer la estimación: cortando todo el material de la subparcela, es decir cortar el árbol y pesar por separado su tronco, ramas, ramillas y hojas o bien por medio de ecuaciones de biomasa. Para obtener la biomasa de los arbustos del presente estudio se utilizó la siguiente ecuación:

$$Y = 0.2035 * (DAP)^{2.3196}$$

(Pearson, Walker, Brown, & S., 2005)

En los anexos se presenta un cuadro con algunas de las ecuaciones utilizadas para los bosques mixtos del altiplano occidental de Guatemala.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Identificación del área en campo que concuerde espacialmente con la Vegetación arbustiva baja representada en el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012.

Por medio de visitas de campo, se logró identificar que las áreas en las que se realizan las parcelas sí concuerdan con la clase 3.2.2 Vegetación arbustiva baja (guamil y matorral) representada en el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012, GIMBUT 2014. Como se observa en la figura 6, todas las parcelas se realizaron dentro del área que se encuentra denominada como vegetación arbustiva por el GIMBUT, 2014. A pesar de que el área es denominada como arbustal, no se encontró, bajo qué lineamientos y parámetros se estableció dicha clase o qué especies definen o caracterizan esta clase.

Se identificó, que en las faldas del astillero se encuentran áreas de cultivo (mayoritariamente café y maíz) e incluso se comienzan trabajos de urbanización previo a llegar a las entradas del astillero. Muchas veces, las urbanizaciones representan una mayor presión a los recursos naturales, ya que éstos serán extraídos con mayor frecuencia y de no tener un control y manejo sostenible puede llevar a la degradación ambiental del astillero.

También, es importante remarcar la presencia de plagas como el gorgojo en los parches de cipreses que hay dentro del astillero. Otro factor por mencionar es el problema de los desechos sólidos, ya que dentro de los senderos e incluso en una de las caídas de agua del manantial del astillero, se encuentra una gran presencia de desechos sólidos, en su mayoría plásticos (bolsas, envoltorios de chucherías y botellas).

Por el lado positivo, se realizan jornadas de reforestación y concientización con árboles nativos, así como árboles frutales con el objetivo de recuperar el área para la fauna silvestre propia del lugar.

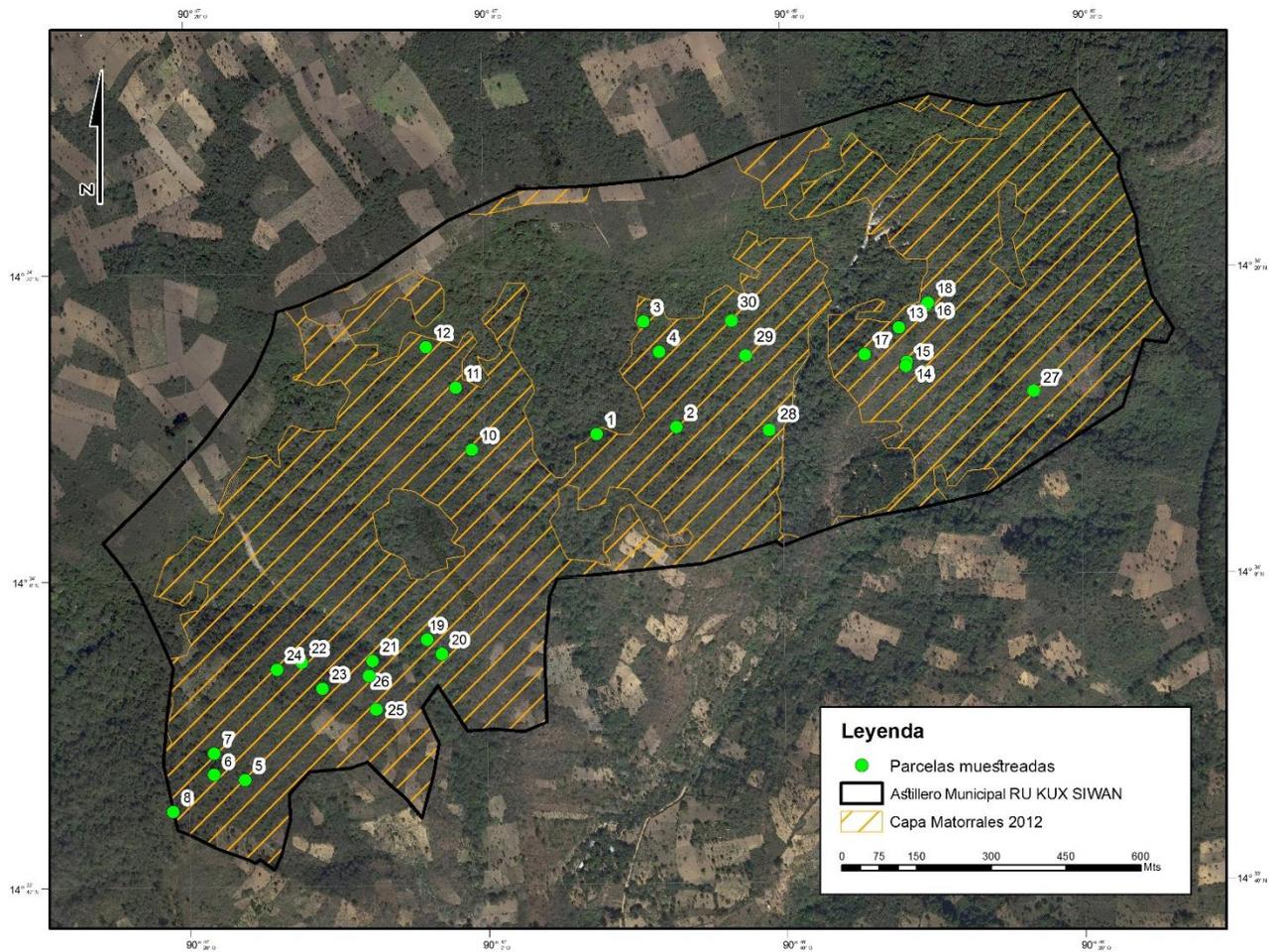


Figura 6. Parcelas realizadas dentro del Astillero. Todas las parcelas se realizaron dentro del área identificada como matorrales por el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012. (CEAB, 2018).

6.2 Propuesta de metodología.

La metodología base para la estimación de carbono en vegetación arbustiva fue la que ha sido empleada por el CEAB, la cual sigue lineamientos internacionales, incluyendo metodologías del IPCC para la estimación de carbono en bosques. Se hizo una prueba de la metodología tal y como se plantea para bosques, pero se realizaron ajustes para que dicha metodología fuera viable para la vegetación arbustiva. La propuesta de la metodología hace uso de dos subparcelas para las mediciones.

6.2.1 Mediciones y muestreo de campo

Al comenzar a realizar la parcela, se tomó la posición geográfica por medio de un gps. Para la medición de la pendiente en el área donde se realizó cada parcela, se hizo uso de un clinómetro. Seguidamente del punto en que se tomó la posición con el gps fue utilizado como punto de partida para hacer la medición de 5 x 5 m. Luego de delimitar la parcela, se dividió en 2 subparcelas, para la toma de muestras: maleza, hojarasca y suelo y arbustos.

La metodología del CEAB, propone que las parcelas a considerar sean de 25 x 10 m. Sin embargo, el tamaño de las parcelas fue reducido a 5 x 5 m, ya que las mediciones se encuentran establecidas para árboles, debido a que los árboles se encuentran más dispersos que los arbustales. La vegetación arbustiva, al contrario de los árboles, por su naturaleza y distribución se encuentran más juntos los individuos en el campo. Por lo tanto, el nuevo tamaño de la parcela fue suficiente para coleccionar una cantidad representativa de individuos (arbustos) por lo que se consideró que la parcela grande 25 x 10 m tomaría mucho tiempo y coleccionaría una muestra más grande de lo necesario.

La primera subparcela constó de 1x1m. En dicha parcela se tomó muestra de los reservorios de maleza, hojarasca y suelo. Se arrancó de la raíz la maleza que se encuentra en dicha subparcela y se colocó en bolsas para luego pesarla y obtener el peso húmedo. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento con la hojarasca. Para la toma de muestra de suelo se utilizó un cilindro de cobre, cuyo volumen es de 188 cc. Se insertó el cilindro en el suelo y luego el contenido se colocó en una bolsa debidamente identificada.

La segunda subparcela constó de 5x5m y en esta parcela se midieron los arbustos. Se tomó el diámetro a partir de la base (10 cm por encima del suelo) de la planta. Para tomar el diámetro se puede hacer uso de un Vernier o un micrómetro.

6.2.2 Análisis de laboratorio de maleza y hojarasca

De cada muestra de campo se tomó una submuestra, la cual fue llevada al laboratorio para determinar el contenido de humedad y con esto poder calcular el peso seco total. Luego de haber realizado los pesajes de las muestras, éstas fueron colocadas en bolsas de papel y luego dentro de un horno de convección de 40° a 60°C. La temperatura empleada en este trabajo fue de 40°.

Durante el período de días en que se lleva a cabo el secado, se estuvo monitoreando constantemente el peso de las mismas hasta que alcanzaron un peso constante, lo que indica que es el peso final en seco. Los datos de cada parcela para el contenido de carbono en maleza y hojarasca se encuentran en los cuadros 6 y 7 de los anexos.

6.2.3 Análisis de laboratorio de suelo

Las muestras de suelo tomadas en campo se colocaron en un recipiente abierto (palangana) para que éstas se secaran en su totalidad. Para su secado, las muestras no se colocaron al sol ni en un horno, ya que se oxidaría el carbono. Es importante deshacer todos los gránulos de tierra que pueda haber, para que la muestra se seque más rápido y evitar complicaciones al momento de pasarlas por los tamices.

Al estar secas las muestras, se procesaron por medio de un tamiz #10, el cual cuenta con aberturas de 2mm, para poder separar rocas del suelo. Se pesó por separado el suelo y las rocas. El peso de las rocas no es incluido en los cálculos que se realizan posteriormente, ya que se asume que las cantidades de carbono que poseen no son pertinentes.

Antes de ir al análisis de carbono, el suelo pasó por un tamiz #100 el cual tiene aberturas de 100 micrómetros. Con esta tamizada se buscó obtener una muestra más homogénea para el análisis de carbono. Posteriormente, se colocó 1 g de la muestra de suelo en el horno a 60°C por una hora para estimar la humedad. Mientras tanto, una segunda muestra fue utilizada para conocer el porcentaje de carbono en el suelo por medio del analizador de carbono y nitrógeno FlashEA 1112 de Elantech.

Al momento de colocar una muestra en el horno de convección, se corrigió la temperatura y tiempo de la muestra dentro del horno, ya que la metodología proponía una temperatura de 105°C por 2 horas, demasiado elevada para este análisis, por lo que se cambió a 60°C y una hora, para que así no se oxidara el carbono que se encontraba en las muestras de suelo y se obtuvieran los resultados para el análisis del trabajo.

Luego de calibrar el analizador, se colocaron las muestras del suelo dentro de éste y determina automáticamente el porcentaje de carbono y nitrógeno. Para el presente trabajo se hizo uso únicamente de los datos de carbono, los cuales se encuentran detallados en el cuadro 8 de los anexos.

6.2.4 Ecuaciones para estimar el contenido de carbono

Al obtener los datos del analizador se procedió a calcular la densidad de carbono en el suelo, así como los cálculos y estimación de biomasa seca y carbono en los reservorios de maleza, hojarasca y arbustos. Para dichos cálculos se utilizaron las ecuaciones que se encuentran en el capítulo 6, inciso 6.6 del marco teórico de esta investigación.

Para la estimación del contenido de carbono en los arbustos, existen 2 maneras de poder hacer la estimación: cortando todo el material de la subparcela, es decir cortar el arbusto y pesar por separado su tronco, ramas, ramillas y hojas o bien por medio de ecuaciones de biomasa. Estas ecuaciones deben de desarrollarse a nivel local, para cada especie. No siempre son utilizadas, debido al gran trabajo de campo que implica formular una de estas ecuaciones, por lo que a veces por practicidad y el tiempo establecido para el trabajo, se utilizan ecuaciones genéricas que han sido desarrolladas por otros investigadores. La ventaja de las ecuaciones genéricas es que ahorran tiempo y hacen aproximaciones a los casos locales, sin embargo las especies forestales para estas ecuaciones no son las mismas que las que se desean trabajar. Para obtener la biomasa de los arbustos del presente estudio se utilizó la siguiente ecuación:

$$Y = 0.2035 * (DAP)^{2.3196}$$

(Pearson, Walker, Brown, & S., 2005)

6.3 Estimación del contenido de carbono en la vegetación arbustiva baja

El contenido de carbono en un tipo de vegetación se ve fuertemente relacionado con las especies que posee, y en el caso de árboles y arbustos, depende de la densidad de especies en el área y el tamaño de cada especie.

Como se puede identificar en el cuadro 2, el contenido de carbono en las parcelas realizadas es bajo, comparado con lo que puede estimar un ecosistema de bosque. El carbono total de la

vegetación arbustiva baja en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes es de 6,888.5 toneladas de carbono, mientras que un ecosistema de bosque puede capturar 45,634 toneladas (CEAB-UVG, CARE, 2006). Este dato se obtiene al multiplicar el promedio total por el área que ocupan los arbustales dentro del Astillero, que es 116.34 Ha, basándose en el Mapa de Bosques y Uso de la Tierra 2012.

El rango del valor va de 37.1283 tC/ha en la parcela 3, hasta el que es el mayor que se encuentra en la parcela 4, teniendo un valor de 99.6703 tC/ha. En dichas parcelas no se toma en cuenta si hay algún árbol, ya que el centro del estudio son los arbustos, los cuales no llegan a tener las dimensiones de un árbol per se, para poder almacenar grandes cantidades de carbono, por lo que si se compara con otros trabajos que han abarcado árboles en sus mediciones, se observa una gran variabilidad al momento de tomar en cuenta todo el carbono almacenado en los diferentes reservorios de la parcela, ya que contará con el carbono capturado por árboles. Cabe mencionar que en las parcelas muestreadas, no se contó con especies arbóreas, en algunas parcelas había una presencia mínima de árboles los cuales no son tomados en cuenta, ya que como se ha mencionado antes, se buscaba que el área fuera únicamente de vegetación arbustiva.

Tabla 2. Resultados del carbono almacenado en los diferentes reservorios muestreados en cada parcela, expresados en toneladas de carbono por hectárea.

PARCELA	tC/ha				TOTAL PARCELA
	Arbustos	Maleza	Hojarasca	Suelo	
1	5.189	0.003	0.093	79.977	85.261
2	4.415	0.006	0.040	58.626	63.087
3	2.638	0.007	0.021	34.463	37.128
4	2.549	0.007	0.022	97.093	99.670
5	2.558	0.004	0.027	64.638	67.227
6	2.726	0.004	0.033	53.067	55.831
7	2.159	0.004	0.021	43.230	45.413
8	2.794	0.006	0.021	37.969	40.790
9	2.823	0.008	0.011	41.137	43.980
10	2.648	0.009	0.031	83.792	86.479
11	3.460	0.006	0.017	73.013	76.496
12	2.994	0.006	0.011	73.517	76.528
13	3.487	0.014	0.017	59.898	63.416
14	3.722	0.010	0.017	44.643	48.392

PARCELA	tC/ha				TOTAL PARCELA
	Arbustos	Maleza	Hojarasca	Suelo	
15	3.812	0.009	0.022	48.300	52.143
16	3.716	0.011	0.017	40.214	43.959
17	3.257	0.006	0.021	41.274	44.558
18	2.781	0.007	0.027	65.239	68.054
19	3.864	0.013	0.027	62.756	66.661
20	1.156	0.010	0.022	86.988	88.176
21	2.866	0.020	0.034	40.388	43.308
22	2.455	0.015	0.051	38.477	40.998
23	2.277	0.001	0.026	93.719	96.024
24	2.056	0.001	0.027	41.628	43.712
25	2.302	0.002	0.026	71.311	73.641
26	1.035	0.005	0.013	39.267	40.320
27	1.224	0.010	0.011	46.086	47.330
28	1.694	0.009	0.024	50.838	52.565
29	2.417	0.005	0.022	38.684	41.127
30	1.914	0.007	0.014	42.091	44.026
PROMEDIO	2.766	0.007	0.026	56.411	59.210

(Elaboración propia, 2018)

Un factor que influye en la densidad de carbono son las especies de plantas encontradas en las parcelas, el espacio que ocupan en el área, así como las condiciones climáticas (viento, precipitación, temperatura, etc), entre otras. De igual forma, el terreno, por las pendientes que posee, es muy rocoso y al momento de tomar la muestra de suelo se encontraron varias piedras, dificultando incluso un poco la toma de la muestra, haciendo que algunas veces se cambiara la ubicación para tomar la muestra de suelo, siempre dentro de la misma parcela, ya que el cilindro empleado para este fin debe de llenarse por completo al momento de introducirlo en el suelo.

Un dato importante a tomar en consideración es que, en años anteriores el área que está delimitada hoy en día como el Astillero, fue dada en concesiones a los pobladores para trabajar la tierra, con el cambio de un jefe edil en años posteriores, se retiraron dichas concesiones. Por lo que muchas áreas que hoy en día tienen arbustales, podrían encontrarse en una fase de sucesión ecológica, buscando regresar al bosque que originalmente se encontraba en dicha área o bien si el área sufrió algún otro tipo de perturbación, como tala de árboles o algún incendio.

A pesar de que dentro del área sí se encuentra área boscosa, entre ellas reforestaciones con ciprés (*Cupressus sp*) y pino (*Pinus sp.*) y encino (*Quercus sp*), se desconoce si el astillero siempre ha tenido una vegetación arbustiva o bien, se encuentra en una fase de recuperación.

No hay un fácil acceso a la información sobre especies arbustivas en Guatemala, por lo que la identificación de algunas de las especies muestreadas fue compleja. Entre las especies encontradas están: *Wigandia urens kunth*, *Mimosa alvida*, *Hauya elegans*, *Hoffmannia macrisiphon*, *Arachnotryx skutchii*, *Cestrum evandium* y *Rhus terebinthifolia* Schltdl. & Cham.

Dentro de las especies, se menciona, la *Wigandia urens kunth*, la cual puede ser encontrada en terrenos abandonados o lugares que sufrieron algún tipo de perturbación. Lo que sugiere que algunas parcelas donde se encontró dicha planta, fueron perturbadas o bien se encuentra en una fase de recuperación. Por otro lado, especies como *Arachnotryx skutchii*, es un arbusto que suele encontrarse en la cadena volcánica del país. Por lo tanto no se descarta la posibilidad de que partes de astillero posean áreas en la que la vegetación arbustiva es la que siempre ha estado ahí.

Como se refleja en los resultados, la cantidad de emisiones de GEI no es tan representativa a nivel de la vegetación arbustiva baja, si se tomara en cuenta la deforestación de este ecosistema o sencillamente el cambio del uso de la tierra. Si bien es cierto que no representa una gran cantidad de emisiones de GEI comprado con un ecosistema de bosque, el cual secuestra 45,634 toneladas de carbono (CEAB-UVG, CARE, 2006), no quiere decir que se debe de cambiar el uso de la tierra en las áreas que cuentan con vegetación arbustiva baja, ya que siguen desempeñando un papel importante a nivel de bienes y servicios ambientales; tales como anclaje de suelo, hábitat, refugio y alimentación para diferentes tipos de fauna y cobertura vegetal para el suelo, por mencionar algunas y lo importante: aunque sea en pequeñas cantidades, son sumideros de carbono.

6.4 Comparación con resultados del estudio realizado por CEAB en 2011

Al comparar el presente estudio con el estudio previo realizado en 2011 por CEAB-UVG, se observa una variación en los datos obtenidos por CEAB y los del presente estudio. La metodología empleada en ambos estudios es la misma, bajo los mismos parámetros y análisis, al igual que el área delimitada del Astillero es la misma. Algo que se debe de mencionar previo a la comparación,

es que en el trabajo de CEAB-UVG, se realizaron 24 parcelas de carbono para todo el astillero, no solo áreas de vegetación arbustiva. En los anexos, en la Figura 7 se identifican las áreas donde se realizaron las parcelas por CEAB en 2011, estando únicamente 3 parcelas fuera del área de arbustales.

En dicho estudio, se tomaron en cuenta los arbustos que se encontraban en las parcelas, más no eran el objetivo principal como lo son en el presente estudio de investigación. En el cuadro 3 se encuentran los resultados comparativos del trabajo realizado por CEAB en 2011 y el presente estudio y en los cuales se incluye la desviación estándar para cada reservorio muestreado.

Tabla 3. Resultados obtenidos en el análisis de los reservorios muestreados en ambos trabajos en el Astillero, expresados en toneladas de carbono por hectárea.

	Promedio tC/ha				
	Arbustos	Maleza	Hojarasca	Suelo	Total
CEAB 2011	0.13 ± 0.18	0.72 ± 1.26	6.14 ± 4.50	66.08 ± 16.01	100.06 ± 87.82
RMS 2017	2.766 ± 0.922	0.007 ± 0.00423	0.026 ± 0.0152	56.411 ± 18.22	59.210 ± 18.34

(Elaboración propia, 2018)

Los datos de ambos trabajos presentan diferencias y si bien los estudios tienen 6 años de diferencia, se plantean a continuación discusiones para cada uno de los reservorios de carbono analizados.

En los arbustos de las parcelas muestreadas por CEAB, el porcentaje de carbono es muy bajo: esto puede deberse a que contaran con una baja cantidad de especies arbustivas, o bien por su DAP (menor a 2.5cm) no hayan sido tomadas en cuenta. También es de mencionar la dinámica de los arbustos, que en este período de tiempo han crecido por lo tanto tienen más follaje, sus ramas y troncos son de mayor tamaño, por lo que pueden almacenar una mayor cantidad de carbono haciendo que el dato del 2016 reflejado en la tabla aumente con comparación al del 2011. Otro dato a mencionar y que va relacionado con el crecimiento de los arbustos, es la tala de árboles, ya que existe la posibilidad que el dosel de los árboles fuera muy denso, no permitiendo pasar suficiente luz para un mejor desarrollo de los arbustales. Al quitar dichos árboles, se abre un

espacio de luz lo cual propiciaría el crecimiento de otras especies que antes no contaban con la suficiente energía lumínica para su crecimiento.

En la maleza influye mucho el factor de sombra y temporada climática en que se tomaron las muestras. Respecto a la sombra, puede que por falta de luz, no se desarrolle grandemente la maleza, o bien las diferentes especies de maleza respondan a ciertas características climáticas y/o edáficas que influyeran en su crecimiento. Al igual que se mencionó con los arbustos, puede ser que la apertura del dosel del bosque por la tala de árboles haya propiciado el crecimiento de más maleza. La época en que se toman las muestras también va a ser de mucha influencia en lo que reflejan ambos estudios, ya que durante la época lluviosa tienden a proliferar más las malezas por la abundancia de disponibilidad hídrica, mientras que en época seca, la presencia de malezas por el calor y poca disponibilidad hídrica es menor.

Respecto a la hojarasca, se puede basar en 2 factores: las especies que se encuentran en la parcela y la pendiente de la parcela. En las especies es claro que dependiendo del tipo de planta que sea va a producir cierta cantidad de hojarasca, tomando también el tamaño de la hoja, ya que no es lo mismo una acícula de pino, que una hoja de chichicaste. El otro factor es la pendiente, que al haber una mayor pendiente, menor cantidad de hojarasca se encontrará. Se puede apreciar en la tabla 3 (anexos), que las parcelas tomadas en el año 2017 presentaron un grado alto de pendientes. No está demás el mencionar los posibles incendios que se pueden haber dado, eliminando la hojarasca de las áreas.

Al hacer el análisis de la desviación estándar para el reservorio de suelo, en los datos de ambos estudios, se puede apreciar que se encuentran dentro de los mismos rangos, haciendo notar que es el único de los 4 reservorios analizados que no presenta diferencias en sus datos.

Por último, el total que se muestra en la tabla del estudio de CEAB en 2011, tiene incluido el carbono secuestrado por los árboles, ya que dicho estudio buscaba conocer el carbono en todo el astillero y por lo tanto, sus parcelas, aunque estuvieran en áreas de arbustales, tomaron en cuenta los árboles presentes para conocer el carbono total, teniendo así un resultado mayor en su promedio de toneladas de carbono que el del presente trabajo.

7. CONCLUSIONES

La propuesta de metodología para la medición de carbono de arbustales en Guatemala, tiene como base la metodología empleada por CEAB, teniendo como su principal ajuste el cambio de tamaño de las parcelas.

El carbono total que es capturado por la vegetación arbustiva baja en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes es de 6,888.5 toneladas de carbono.

Los componentes que más carbono capturan dentro de la vegetación arbustiva baja son los arbustos (44.50%) y el suelo (55.00%).

La estimación del contenido de carbono en la vegetación arbustiva baja en el Astillero Municipal, no representa una fuente importante de emisiones de GEI si se deforestara dicha área a comparación con un ecosistema de bosque.

La diferencia de promedios en el reservorio de arbustos, puede deberse al crecimiento de la vegetación arbustiva en el período de tiempo transcurrido entre ambos trabajos (2011 – 2017), ya sea por causas antropogénicas como tala de árboles y por lo tanto apertura del dosel y más acceso a luz o bien la dinámica de crecimiento de arbustos que no ha sido estudiada en dicho astillero.

En el reservorio de maleza, la diferencia del dato entre ambos estudios puede ser porque la época en que se tomaron las muestras es diferente, así como el acceso de luz por la apertura del dosel del bosque.

El dato de hojarasca fue el tercer reservorio que presentó una variación entre los datos de ambos estudios, lo cual puede deberse a las especies que se encuentren en las parcelas (por tamaño de sus hojas), así como la pendiente del terreno, ya que por la escorrentía de lluvias y el paso de fauna, puede variar.

El reservorio de suelo no presenta diferencia tan marcada en los datos de ambos trabajos, evidenciando que el suelo continúa teniendo una cantidad constante del carbono a través de los años en las áreas donde se encuentra la vegetación arbustiva baja, así como ser el mayor captador de carbono de los 4 reservorios analizados.

El promedio total de toneladas de carbono del estudio realizado por CEAB en 2011 es mayor al del presente trabajo, ya que en él se incluye el carbono secuestrado por árboles, por lo tanto la cifra será mayor que si solo se tomara en cuenta arbustales.

La estimación del contenido de carbono en arbustos en las parcelas realizadas, muestra una baja captura de carbono por parte de dicha vegetación a comparación con la cantidad que captura un ecosistema forestal, no obstante, no le resta importancia a que se deben de conservar dichas áreas y especies, ya que aunque sea en menor cantidad, contribuyen al secuestro de carbono y desempeñan también funciones importantes dentro del nicho ecológico en el que se hallan.

8. RECOMENDACIONES

Al ser este un estudio pionero en la estimación del contenido de carbono en la vegetación arbustiva, identificar otras áreas con la misma vegetación para obtener más datos y poder compararlos con el presente estudio.

Realizar más estudios y disponer de una forma más accesible información sobre las especies arbustivas que se pueden encontrar en la flora del país, ya que muchas veces se toma como arbustos a toda aquella planta menor de 5 mts de altura, incluyendo árboles que se encuentran en crecimiento.

Ampliar más en las metodologías empleadas para el análisis de carbono en el suelo, para conocer otras formas de medir el carbono en dado caso no se pueda tener acceso al analizador utilizado en este trabajo.

Realizar estudios para conocer las causas exactas del aumento de la cantidad de carbono en los reservorios de maleza, hojarasca y arbustos.

Buscar promover y educar sobre las buenas prácticas agrícolas para la conservación del suelo, ya que es este componente es el que posee más cantidad de carbono.

Realizar estudios y planes de manejo de las áreas de arbustales que se encuentran en el Astillero, para que las reforestaciones que se hagan en dichas áreas sean con especies arbustivas nativas.

Comunicar y hacer partícipes a las comunidades de los esfuerzos que se están realizando para la medición de carbono, conservación de bosques y espacios naturales dentro de las poblaciones y comunidades, enseñándoles la importancia de dichos espacios respecto a los bienes y servicios ambientales que proveen a las poblaciones humanas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonilla, C. (2015). *Avances en la Preparación y Diseño de la Estrategia Nacional REDD+ en Guatemala*. Guatemala.
- CAR. (2016). *Climate Action Reserve: Forest Project Protocol*. Obtenido de Climate Action Reserve: <http://www.climateactionreserve.org/how/protocols/forest/>
- Castellanos, E., Quilo, A., & Mato, R. (2010). *Metodología para la Estimación del Contenido de Carbono en Bosques y Sistemas Agroforestales de Guatemala*. Guatemala: CEAB-UVG, CARE.
- CEAB-UVG. (Marzo de 2015). *Cambio Climático: Riesgo de Sequía e Inseguridad Alimentaria*. Obtenido de <http://www.marn.gob.gt/multimedios/914.pdf>
- CEAB-UVG, Asociación Sotz'il. (2011). *Dinámica de Cobertura Forestal Inventario de Carbono en el Astillero de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez*. Guatemala: CEAB-UVG.
- CEAB-UVG, CARE. (2006). *Estimación del Contenido de Carbono en Bosques del Altiplano Occidental de Guatemala*. Guatemala.
- CEAB-UVG, IARNA-URL, INAB. (2011). *Elaboración del primer mapa nacional sobre el carbono capturado por plantaciones y bosques naturales de Guatemala*. Guatemala: Serviprensa, S.A.
- Centro del Sur. (2015). *Informe sobre las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional (CPDN)*. Suiza: Centro del Sur.
- CONAP, INAB, URL, UVG. (31 de Marzo de 2012). *Mapa de la Dinámica de la Cobertura Forestal en la República de Guatemala 2006-2012*. Guatemala.
- Consorcio Sanitario de Barcelona. (2015). *Agencia de Salud Pública*. Obtenido de <http://www.aspb.cat/quefem/docs/oxidados.pdf>
- DIGEGR-MAGA. (2015). *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, a escala 1:50,000 de la República de Guatemala Año 2010*. Guatemala: MAGA.
- European Commission. (2011). *Understanding greenhouse gases*. Obtenido de European Commission Climate Action: http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf
- FAO. (15 de Junio de 2012). *Los bosques y el cambio climático*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/forestry/climatechange/53459/es/>
- FAO. (2015). *Consideraciones técnicas para la elaboración de Niveles de referencia de emisiones forestales/Niveles de referencia forestales en el marco de la CMNUCC*. Ginebra.

- FAO. (11 de Mayo de 2015). *Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>
- Fernández, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Figueruelo, J., & Marino, M. (2004). *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. España: Editorial Reverte.
- GIMBUT. (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y Mapa de cambios en uso de la tierra 2001- 2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero*. Guatemala.
- GIZ. (2011). *Medidas de mitigación apropiadas para cada país (MMAP)*. Obtenido de International Partnership on Mitigation and MRV: <http://mitigationpartnership.net/sites/default/files/giz2011-es-clima-mmmap.pdf>
- Global Forest Coalition . (2009). *Los Bosques y el Cambio Climático. Manual sobre el papel de los bosques en las negociaciones de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Grupo Océano. (2001). *Atlas Geográfico y Universal de Guatemala*. España: Grupo Editorial Océano.
- GuateCarbon. (2014). *El Proyecto*. Obtenido de GUATECARBON: <http://guatecarbon.com/el-proyecto/>
- Guioteca. (18 de Noviembre de 2014). *Ciclo del carbono, ¿sabes en qué consiste?* Obtenido de Guioteca ¿qué quieres saber?: <http://www.guioteca.com/educacion-para-ninos/ciclo-del-carbono-sabes-en-que-consiste/>
- IARNA-URL. (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar a través del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA).
- INAB. (2001). *Mapa de Ecosistemas Vegetales de Guatemala*. Guatemala.
- INAB. (2013). *Agenda del Instituto Nacional de Bosques sobre Cambio Climático*. Guatemala.
- INAB, CONAP, IARNA-URL, UVG, MARN. (2012). *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010*. Guatemala.
- INAB, CONAP, URL-IARNA, UVG, MARN. (2012). *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010*. Guatemala.
- INE. (2013). *Mapas de Pobreza Rural en Guatemala 2011 Resumen Ejecutivo*. Guatemala.

- INECC. (11 de Abril de 2005). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de Estimación de Emisiones mediante factores de emisión : <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/457/estimacion3.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología. (2006). *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, 1990-2002*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Kaimowitz, D. (2000). *Useful Myths and Intractable Truths: The Politics of the Link Between Forests and Water in Central America*. . Costa Rica: Center for International Forest Research.
- López S., O. (7 de Junio de 2017). Astillero Municipal San Antonio Aguas Calientes. (R. Maldonado, Entrevistador)
- MARN. (2001). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero Año Base 1990*. Guatemala.
- MARN. (2007). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero Año Base 2000* . Guatemala.
- MARN. (2012). *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero Año Base 2005* . Guatemala.
- MARN. (2015). *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN. (2016). *¿Qué es REDD+?* Obtenido de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales: http://www.marn.gob.gt/s/redd_/paginas/Qu_es_2
- Mendieta, M. (Febrero de 2013). *Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs) en Colombia*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Accion_nacional_Ambient_al_/Documento_de_NAMAs.pdf
- Montenegro, R., & Castellanos, E. (2015). Dinámica Forestal en seis bosques comunitarios comparada con la dinámica forestal observada en los respectivos municipio. *Revista UVG*, 116.
- Naciones Unidas. (2015). *Portal de la Labor del Sistema de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Obtenido de Datos y Cifras: <http://www.un.org/es/climatechange/facts.shtml>
- PNUD. (2013). *Evaluación del Bienestar Humano y Ambiente en el Corredor Secor Oriental de Guatemala*. Guatemala.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). *Cifras para el desarrollo humano Sacatepéquez*. Guatemala.
- Real Academia Española. (8 de Marzo de 2016). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=3R87pel>

- Rodas, O. (2004). *Hidrología y meteorología de bosques con énfasis en bosques nubosos: aplicaciones para Guatemala*. Guatemala: IARNA.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia . (Diciembre de 2010). Plan de Desarrollo San Antonio Aguas Calientes, Guatemala. Guatemala: SEGEPLAN.
- The Forests Dialogue. (Septiembre de 2009). *Financiando los mecanismos REDD-plus*. Obtenido de REDD+ Web Platform:
http://redd.unfccc.int/uploads/2_169_redd_20091217_tfd_investing_in_redd-plus_es_recommendations.pdf
- Universidad del Valle. (2006). *Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura*. Cali.
- Vallejo, A., & Rodríguez, P. (2008). Cuantificación de carbono en proyectos REDD. *Curso internacional Diseño de actividades REDD para la mitigación del cambio climático*. Costa Rica.
- VCSA. (2015). *Verified Carbon Standar: Methodologies*. Obtenido de Verified Carbon Standar:
<http://www.v-c-s.org/methodologies/what-methodology>
- Veliz, R. (Octubre de 2016). *Determinación de la capacidad de uso de la tierra y del uso de la tierra* . Guatemala, Guatemala.
- Villar, A. (Septiembre de 1999). La puerta florida del Altiplano. *Conozcamos Sacatepéquez*. Guatemala: Prensa Libre.
- Winrock International . (2016). *Winrock International: Publications & Tools*. Obtenido de Winrock International : <http://www.winrock.org/resources/redd-carbon-methodology-development-decade-leadership-winrock-international>

11. ANEXOS

Tabla 4. Ecuaciones más comunes las cuales son utilizadas para los bosques mixtos del altiplano occidental de Guatemala.

Tipo de Bosque	Precipitación (mm/año)	Ecuación	Rango de DAP (cm)	r ²	Referencia
Latifoliada genérica (seco)	900 - 1500	$Y = 0.2035 * (DAP)^{2.3196}$	1 - 63	0.97	Pearson <i>et al.</i> , 2005
Latifoliada genérica (húmedo)	1500 - 4000	$Y = \exp[-2.289 + 2.649 \ln(\text{dbh}) - 0.021 * (\ln(\text{dbh}))^2]$	5 - 148	0.98	Pearson <i>et al.</i> , 2005
Latifoliada local <i>Quercus</i> spp.	900 - 1500	$Y = 0.1773 * (2.2846^{DAP})$	11 - 45	0.86	CEAB-UVG
Conífera Local	1000 - 2500 aprox.	$Y = 0.1377 * (DAP)^{2.4038}$	5 - 52	0.94	CEAB - UVG

(Castellanos, Quilo, & Mato, 2010)

Tabla 5. Datos generales de las parcelas muestreadas en el Astillero de San Antonio Aguas Calientes para el presente trabajo.

No. Parcela	X	Y	Fecha	Altura (msnm)	Pendiente (°)
1	739052	1611850	04-07-17	1762	55
2	739212	1611864	04-07-17	1985	43
3	739145	1612076	04-07-17	2120	45
4	739177	1612015	04-07-17	2106	42
5	738346	1611155	05-07-17	1874	66
6	738284	1611166	05-07-17	1908	56
7	738284	1611208	05-07-17	1939	54
8	738202	1611091	05-07-17	1910	51
9	742627	1609144	17-07-17	1711	58
10	738801	1611818	17-07-17	1783	60
11	738769	1611943	17-07-17	1952	57

No. Parcela	X	Y	Fecha	Altura (msnm)	Pendiente (°)
12	738709	1612024	17-07-17	2048	58
13	739658	1612064	18-07-17	1974	49
14	739674	1611995	18-07-17	2021	47
15	739672	1611987	18-07-17	2032	42
16	739714	1612109	18-07-17	2015	49
17	739589	1612010	19-07-17	1680	50
18	739716	1612114	19-07-17	1691	58
19	738711	1611437	19-07-17	1761	61
20	738741	1611408	19-07-17	1757	62
21	738602	1611394	20-07-17	1786	53
22	738460	1611391	20-07-17	1761	51
23	738501	1611339	20-07-17	1866	46
24	738410	1611377	20-07-17	1868	52
25	738610	1611298	21-07-17	1752	51
26	738580	1611363	21-07-17	1821	46
27	739932	1611860	21-07-17	1832	42
28	739401	1611853	25-07-17	1834	45
29	739351	1612009	25-07-17	1860	50
30	739306	1612102	25-07-17	1872	52

(Elaboración propia, 2018)

Tabla 6. Análisis de datos de la maleza en las parcelas muestreadas en el Astillero.

Parcela	Peso Total Campo (kg)	Peso Húmedo Muestra Laboratorio (g)	Peso Seco Muestra Laboratorio (g)	Área parcela (ha)	Materia seca (g)	Biomasa total seca (kg)	Densidad de carbono (tC/ha)
P1	0.062	55	12	0.0025	0.2182	0.0135	0.0027
P2	0.172	151.5	25	0.0025	0.1650	0.0284	0.0057
P3	0.143	121	29	0.0025	0.2397	0.0343	0.0069
P4	0.142	126.5	29.5	0.0025	0.2332	0.0331	0.0066
P5	0.092	74.5	16	0.0025	0.2148	0.0198	0.0040
P6	0.087	75	19	0.0025	0.2533	0.0220	0.0044
P7	0.099	86	18	0.0025	0.2093	0.0207	0.0041
P8	0.08	66	25	0.0025	0.3788	0.0303	0.0061
P9	0.113	81	28.5	0.0025	0.3519	0.0398	0.0080
P10	0.131	64.5	21	0.0025	0.3256	0.0427	0.0085
P11	0.185	158	26	0.0025	0.1646	0.0304	0.0061
P12	0.16	116	20	0.0025	0.1724	0.0276	0.0055

Parcela	Peso Total Campo (kg)	Peso Húmedo Muestra Laboratorio (g)	Peso Seco Muestra Laboratorio (g)	Área parcela (ha)	Materia seca (g)	Biomasa total seca (kg)	Densidad de carbono (tC/ha)
P13	0.204	159	55	0.0025	0.3459	0.0706	0.0141
P14	0.227	167	36	0.0025	0.2156	0.0489	0.0098
P15	0.197	173	38	0.0025	0.2197	0.0433	0.0087
P16	0.26	188	41	0.0025	0.2181	0.0567	0.0113
P17	0.087	37.5	13.5	0.0025	0.3600	0.0313	0.0063
P18	0.2	134	24.5	0.0025	0.1828	0.0366	0.0073
P19	0.26	190	49	0.0025	0.2579	0.0671	0.0134
P20	0.157	93.5	29	0.0025	0.3102	0.0487	0.0097
P21	0.228	141	62.5	0.0025	0.4433	0.1011	0.0202
P22	0.275	194.5	54.5	0.0025	0.2802	0.0771	0.0154
P23	0.0208	28.5	5.5	0.0025	0.1930	0.0040	0.0008
P24	0.036	42.5	6.5	0.0025	0.1529	0.0055	0.0011
P25	0.059	40	7.5	0.0025	0.1875	0.0111	0.0022
P26	0.128	95	18	0.0025	0.1895	0.0243	0.0049
P27	0.168	112	32.5	0.0025	0.2902	0.0488	0.0098
P28	0.147	101	29.5	0.0025	0.2921	0.0429	0.0086
P29	0.133	98	17	0.0025	0.1735	0.0231	0.0046
P30	0.112	66	22	0.0025	0.3333	0.0373	0.0075

(Elaboración propia, 2018)

Tabla 7. Análisis de datos de la hojarasca en las parcelas muestreadas en el Astillero.

Parcela	Peso Total Campo (kg)	Peso húmedo Muestra Laboratorio (g)	Peso Seco Muestra Laboratorio (g)	Área parcela (ha)	Materia seca (g)	Biomasa total seca (kg)	Densidad de carbono (tC/ha)
P1	1.315	1275.5	451	0.0025	0.3536	0.4650	0.0930
P2	0.696	673.5	195	0.0025	0.2895	0.2015	0.0403
P3	0.331	317	99	0.0025	0.3123	0.1034	0.0207
P4	0.348	334	106.5	0.0025	0.3189	0.1110	0.0222
P5	0.207	203.5	131	0.0025	0.6437	0.1333	0.0267
P6	0.271	267	161.5	0.0025	0.6049	0.1639	0.0328
P7	0.207	202.5	100.5	0.0025	0.4963	0.1027	0.0205
P8	0.211	202.5	98.5	0.0025	0.4864	0.1026	0.0205
P9	0.124	104.5	47.5	0.0025	0.4545	0.0564	0.0113
P10	0.359	324	140	0.0025	0.4321	0.1551	0.0310
P11	0.248	235	79	0.0025	0.3362	0.0834	0.0167

Parcela	Peso Total Campo (kg)	Peso húmedo Muestra Laboratorio (g)	Peso Seco Muestra Laboratorio (g)	Área parcela (ha)	Materia seca (g)	Biomasa total seca (kg)	Densidad de carbono (tC/ha)
P12	0.164	143.5	47.5	0.0025	0.3310	0.0543	0.0109
P13	0.243	217	77	0.0025	0.3548	0.0862	0.0172
P14	0.311	289.5	81	0.0025	0.2798	0.0870	0.0174
P15	0.307	279	99.5	0.0025	0.3566	0.1095	0.0219
P16	0.187	146.5	68.5	0.0025	0.4676	0.0874	0.0175
P17	0.239	198.5	89	0.0025	0.4484	0.1072	0.0214
P18	0.285	240	113.5	0.0025	0.4729	0.1348	0.0270
P19	0.246	226.5	126	0.0025	0.5563	0.1368	0.0274
P20	0.207	171	92	0.0025	0.5380	0.1114	0.0223
P21	0.323	284	151.5	0.0025	0.5335	0.1723	0.0345
P22	0.445	410	235	0.0025	0.5732	0.2551	0.0510
P23	0.327	338.5	136.5	0.0025	0.4032	0.1319	0.0264
P24	0.342	321	125.5	0.0025	0.3910	0.1337	0.0267
P25	0.231	218	120.5	0.0025	0.5528	0.1277	0.0255
P26	0.172	156	60.5	0.0025	0.3878	0.0667	0.0133
P27	0.205	185.5	48	0.0025	0.2588	0.0530	0.0106
P28	0.254	212	99.5	0.0025	0.4693	0.1192	0.0238
P29	0.222	208	103	0.0025	0.4952	0.1099	0.0220
P30	0.186	140	52.5	0.0025	0.3750	0.0698	0.0140

(Elaboración propia, 2018)

Tabla 8. Análisis de datos de suelo en las parcelas muestreadas en el Astillero.

Parcela	Peso suelo fino (g)	Peso del gramo húmedo medido al horno (mg)	Tara petri (mg)	Peso después de calentar, con peso de petri (mg)	Peso seco (mg)	Densidad del suelo (g/cm ³)	Carbono orgánico (%)	Carbono en suelo (tC/ha)
P1	88.5	0.988	43.766	44.673	0.907	0.4707	16.9894	79.9769
P2	62.5	1.004	47.719	48.655	0.936	0.3324	17.6348	58.6264
P3	94.5	1.021	47.534	48.505	0.971	0.5027	6.8562	34.4632
P4	81.5	0.979	44.876	45.794	0.918	0.4335	22.3969	97.0928
P5	64.5	1.004	48.492	49.409	0.917	0.3431	18.8402	64.6378
P6	72.5	0.988	42.259	43.176	0.917	0.3856	13.7609	53.0673
P7	50	0.905	41.384	42.225	0.841	0.2660	16.2543	43.2296
P8	47.5	1.053	43.018	43.997	0.979	0.2527	15.0277	37.9690
P9	85	0.945	47.43	48.312	0.882	0.4521	9.0986	41.1371
P10	91.5	1.044	40.954	41.905	0.951	0.4867	17.2163	83.7920
P11	95	1.009	48.134	49.056	0.922	0.5053	14.4489	73.0132

Parcela	Peso suelo fino (g)	Peso del gramo húmedo metido al horno (mg)	Tara petri (mg)	Peso después de calentar, con peso de petri (mg)	Peso seco (mg)	Densidad del suelo (g/cm ³)	Carbono orgánico (%)	Carbono en suelo (tC/ha)
P12	79.5	1	40.724	41.639	0.915	0.4229	17.3853	73.5174
P13	66	0.985	46.955	47.827	0.872	0.3511	17.0618	59.8977
P14	92.5	1.12	42.319	43.35	1.031	0.4920	9.0734	44.6429
P15	95.5	1.002	39.087	40.011	0.924	0.5080	9.5082	48.2997
P16	91.5	1.014	41.123	42.075	0.952	0.4867	8.2625	40.2140
P17	84.5	0.995	47.338	48.249	0.911	0.4495	9.1828	41.2735
P18	74	1.006	47.011	47.917	0.906	0.3936	16.5742	65.2388
P19	82.5	0.908	47.183	48.014	0.831	0.4388	14.3007	62.7558
P20	89.5	1.041	42.233	43.199	0.966	0.4761	18.2723	86.9879
P21	88.5	1.408	44.493	45.81	1.317	0.4707	8.5795	40.3876
P22	91.5	1.051	41.444	42.43	0.986	0.4867	7.9056	38.4769
P23	85.5	0.92	42.295	43.127	0.832	0.4548	20.6073	93.7194
P24	70.5	1.02	46.892	47.838	0.946	0.3750	11.1009	41.6284
P25	75	1.003	46.966	47.932	0.966	0.3989	17.8754	71.3113
P26	81.5	0.98	40.952	42.102	1.15	0.4335	9.0580	39.2673
P27	88	1.014	42.254	43.258	1.004	0.4681	9.8456	46.0859
P28	68.5	1.009	47.128	48.035	0.907	0.3644	13.9526	50.8381
P29	90.5	0.93	39.892	40.735	0.843	0.4814	8.0359	38.6836
P30	82	1.008	42.275	43.222	0.947	0.4362	9.6501	42.0911

(Elaboración propia, 2018)

Tabla 9. Análisis de datos de los arbustos en las parcelas muestreadas en el Astillero.

Parcela	No. Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Área Muestra (ha)	Biomasa (kg)	Carbono (tC/ha)
01SA	1	3.90	2.50	0.0025	4.782	0.956
01SA	2	5.7	2.1	0.0025	11.532	2.306
01SA	3	2.9	2.3	0.0025	2.405	0.481
01SA	4	2.8	3	0.0025	2.217	0.443
01SA	5	3	2.8	0.0025	2.602	0.520
01SA	6	2.9	2	0.0025	2.405	0.481
02SA	1	2.9	1.9	0.0025	2.405	0.481
02SA	2	3.1	3	0.0025	2.808	0.562
02SA	3	3.2	2.9	0.0025	3.022	0.604
02SA	4	2.8	2.4	0.0025	2.217	0.443
02SA	5	2.6	3.2	0.0025	1.867	0.373
02SA	6	3.4	4	0.0025	3.478	0.696

Parcela	No. Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Área Muestra (ha)	Biomasa (kg)	Carbono (tC/ha)
02SA	7	2.5	3	0.0025	1.705	0.341
02SA	8	3.2	2	0.0025	3.022	0.604
02SA	9	2.4	2.5	0.0025	1.551	0.310
03SA	1	2.2	2	0.0025	1.267	0.253
03SA	2	1.9	2	0.0025	0.902	0.180
03SA	3	3	2.5	0.0025	2.602	0.520
03SA	4	2.7	3	0.0025	2.038	0.408
03SA	5	2.6	2.4	0.0025	1.867	0.373
03SA	6	3.1	3.5	0.0025	2.808	0.562
03SA	7	2.5	3.2	0.0025	1.705	0.341
04SA	1	3.5	4	0.0025	3.720	0.744
04SA	2	2.1	3	0.0025	1.138	0.228
04SA	3	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
04SA	4	2.7	2.5	0.0025	2.038	0.408
04SA	5	3.3	2.5	0.0025	3.246	0.649
05SA	1	2.5	2	0.0025	1.705	0.341
05SA	2	2.3	1.5	0.0025	1.405	0.281
05SA	3	3.1	2	0.0025	2.808	0.562
05SA	4	3	2.5	0.0025	2.602	0.520
05SA	5	2.6	3	0.0025	1.867	0.373
05SA	6	2.9	2.5	0.0025	2.405	0.481
06SA	1	2.9	3	0.0025	2.405	0.481
06SA	2	2.6	2	0.0025	1.867	0.373
06SA	3	2.8	2.5	0.0025	2.217	0.443
06SA	4	2	3.5	0.0025	1.016	0.203
06SA	5	3.5	3	0.0025	3.720	0.744
06SA	6	2.9	2	0.0025	2.405	0.481
07SA	1	2.5	2	0.0025	1.705	0.341
07SA	2	2.9	1.5	0.0025	2.405	0.481
07SA	3	3	2	0.0025	2.602	0.520
07SA	4	2.6	2.5	0.0025	1.867	0.373
07SA	5	2.8	1.5	0.0025	2.217	0.443
08SA	1	3	2	0.0025	2.602	0.520
08SA	2	2.7	3.5	0.0025	2.038	0.408
08SA	3	2.5	2.5	0.0025	1.705	0.341
08SA	4	3.1	3	0.0025	2.808	0.562
08SA	5	2.8	2.5	0.0025	2.217	0.443
08SA	6	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
09SA	1	2.8	3	0.0025	2.217	0.443
09SA	2	2.6	2	0.0025	1.867	0.373

Parcela	No. Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Área Muestra (ha)	Biomasa (kg)	Carbono (tC/ha)
09SA	3	2.9	3	0.0025	2.405	0.481
09SA	4	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
09SA	5	2.8	2	0.0025	2.217	0.443
09SA	6	3.1	2.5	0.0025	2.808	0.562
10SA	1	2.9	4	0.0025	2.405	0.481
10SA	2	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
10SA	3	3.1	3	0.0025	2.808	0.562
10SA	4	2.5	4	0.0025	1.705	0.341
10SA	5	3.5	3	0.0025	3.720	0.744
11SA	1	4.5	4	0.0025	6.664	1.333
11SA	2	2.5	3	0.0025	1.705	0.341
11SA	3	1.8	3	0.0025	0.796	0.159
11SA	4	2.8	4	0.0025	2.217	0.443
11SA	5	2.1	2.5	0.0025	1.138	0.228
11SA	6	3.9	3	0.0025	4.782	0.956
12SA	1	3	2.5	0.0025	2.602	0.520
12SA	2	2.8	2	0.0025	2.217	0.443
12SA	3	4.1	3.5	0.0025	5.370	1.074
12SA	4	3.9	4	0.0025	4.782	0.956
13SA	1	2.6	3	0.0025	1.867	0.373
13SA	2	1.8	2.5	0.0025	0.796	0.159
13SA	3	3.1	4	0.0025	2.808	0.562
13SA	4	2.9	3	0.0025	2.405	0.481
13SA	5	3.5	3	0.0025	3.720	0.744
13SA	6	2.6	3	0.0025	1.867	0.373
13SA	7	3.6	4.5	0.0025	3.972	0.794
14SA	1	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
14SA	2	2.8	3	0.0025	2.217	0.443
14SA	3	2.5	2	0.0025	1.705	0.341
14SA	4	2.9	2.5	0.0025	2.405	0.481
14SA	5	3.1	4	0.0025	2.808	0.562
14SA	6	2.6	2	0.0025	1.867	0.373
14SA	7	2.9	4	0.0025	2.405	0.481
14SA	8	3	3	0.0025	2.602	0.520
15SA	1	2.5	3	0.0025	1.705	0.341
15SA	2	3.5	4	0.0025	3.720	0.744
15SA	3	2.9	4	0.0025	2.405	0.481
15SA	4	2.3	3	0.0025	1.405	0.281
15SA	5	1.8	2	0.0025	0.796	0.159
15SA	6	1.5	2	0.0025	0.521	0.104

Parcela	No. Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Área Muestra (ha)	Biomasa (kg)	Carbono (tC/ha)
15SA	7	5	4	0.0025	8.509	1.702
16SA	1	2.6	2.5	0.0025	1.867	0.373
16SA	2	3.7	3	0.0025	4.232	0.846
16SA	3	1.8	2	0.0025	0.796	0.159
16SA	4	4.8	3	0.0025	7.741	1.548
16SA	5	3.1	2.5	0.0025	2.808	0.562
16SA	6	2.1	3	0.0025	1.138	0.228
17SA	1	2.5	2.5	0.0025	1.705	0.341
17SA	2	2.9	3	0.0025	2.405	0.481
17SA	3	4	3.5	0.0025	5.071	1.014
17SA	4	3	4	0.0025	2.602	0.520
17SA	5	3.8	3	0.0025	4.502	0.900
18SA	1	3.2	3	0.0025	3.022	0.604
18SA	2	3	2	0.0025	2.602	0.520
18SA	3	2.8	2.5	0.0025	2.217	0.443
18SA	4	2.5	3	0.0025	1.705	0.341
18SA	5	2.4	2	0.0025	1.551	0.310
18SA	6	3.1	4	0.0025	2.808	0.562
19SA	1	4.5	3	0.0025	6.664	1.333
19SA	2	2.9	2	0.0025	2.405	0.481
19SA	3	4.2	3.5	0.0025	5.679	1.136
19SA	4	3.2	2.5	0.0025	3.022	0.604
19SA	5	2.4	3	0.0025	1.551	0.310
20SA	1	1.5	2	0.0025	0.521	0.104
20SA	2	3.1	4	0.0025	2.808	0.562
20SA	3	2.4	3	0.0025	1.551	0.310
20SA	4	1.9	2	0.0025	0.902	0.180
21SA	1	2.8	2	0.0025	2.217	0.443
21SA	2	2.9	2.5	0.0025	2.405	0.481
21SA	3	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
21SA	4	3.2	2	0.0025	3.022	0.604
21SA	5	2.8	2.5	0.0025	2.217	0.443
21SA	6	2.6	3	0.0025	1.867	0.373
22SA	1	2.5	3.5	0.0025	1.705	0.341
22SA	2	3.7	2	0.0025	4.232	0.846
22SA	3	2.2	4	0.0025	1.267	0.253
22SA	4	4	2.5	0.0025	5.071	1.014
23SA	1	2.8	3	0.0025	2.217	0.443
23SA	2	2.6	2.5	0.0025	1.867	0.373
23SA	3	3.4	3	0.0025	3.478	0.696

Parcela	No. Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Área Muestra (ha)	Biomasa (kg)	Carbono (tC/ha)
23SA	4	2	2	0.0025	1.016	0.203
23SA	5	3.1	4	0.0025	2.808	0.562
24SA	1	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
24SA	2	2.9	2	0.0025	2.405	0.481
24SA	3	3.5	2	0.0025	3.720	0.744
24SA	4	2.4	3	0.0025	1.551	0.310
25 SA	1	3.6	3	0.0025	3.972	0.794
25 SA	2	2.8	4	0.0025	2.217	0.443
25 SA	3	2	5	0.0025	1.016	0.203
25 SA	4	2.5	2.5	0.0025	1.705	0.341
25 SA	5	3	2	0.0025	2.602	0.520
26 SA	1	2.5	2	0.0025	1.705	0.341
26 SA	2	2.4	3.5	0.0025	1.551	0.310
26 SA	3	1.9	2	0.0025	0.902	0.180
26 SA	4	2	2.5	0.0025	1.016	0.203
27 SA	1	3	3.5	0.0025	2.602	0.520
27 SA	2	2.5	3	0.0025	1.705	0.341
27 SA	3	2	2	0.0025	1.016	0.203
27 SA	4	1.8	2	0.0025	0.796	0.159
28 SA	1	2	2	0.0025	1.016	0.203
28 SA	2	2.5	3	0.0025	1.705	0.341
28 SA	3	2	2.5	0.0025	1.016	0.203
28 SA	4	3.2	3	0.0025	3.022	0.604
28 SA	5	1.7	2	0.0025	0.697	0.139
28 SA	6	2	2.5	0.0025	1.016	0.203
29 SA	1	3.1	3.5	0.0025	2.808	0.562
29 SA	2	3.5	4	0.0025	3.720	0.744
29 SA	3	2.4	2	0.0025	1.551	0.310
29 SA	4	2.3	2.5	0.0025	1.405	0.281
29 SA	5	3	3	0.0025	2.602	0.520
30 SA	1	3.1	3	0.0025	2.808	0.562
30 SA	2	2.5	2	0.0025	1.705	0.341
30 SA	3	1.8	2.5	0.0025	0.796	0.159
30 SA	4	2	2	0.0025	1.016	0.203
30 SA	5	3.3	3.5	0.0025	3.246	0.649

(Elaboración propia, 2018)

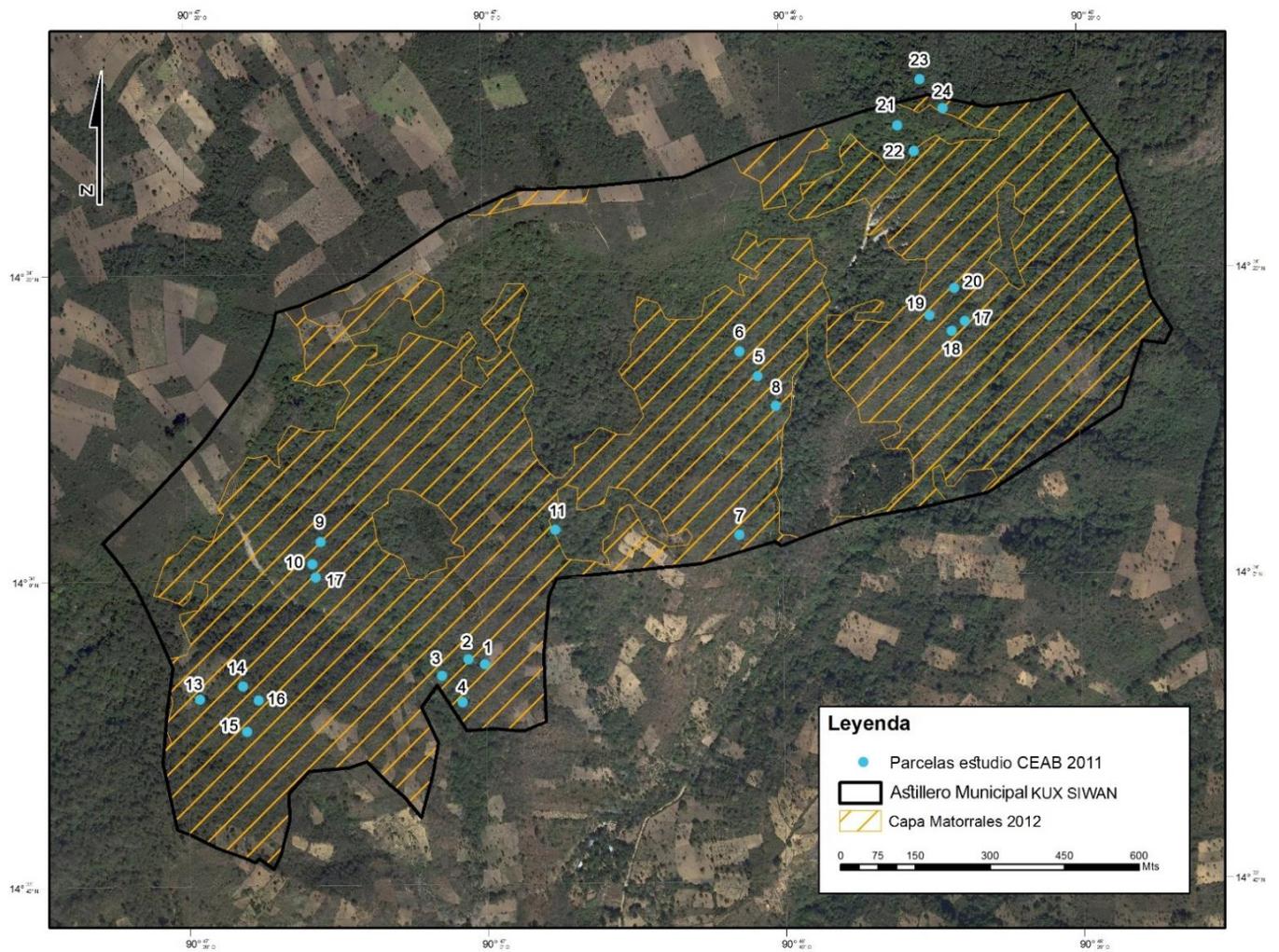


Figura 7. Parcelas realizadas dentro del Astillero por CEAB en su estudio del año 2011. (CEAB, 2018).



Figura 7. Medición y delimitación de una de las parcelas en las que se trabajó con la ayuda de uno de los guardabosques del Astillero. (Maldonado, 2017)



Figura 8. Toma de muestra de maleza en una de las parcelas. (Maldonado, 2017)



Figura 9. Vista de parcelas deforestadas en medio de área boscosa, para utilizarse en cultivos agrícolas. (Maldonado, 2017)

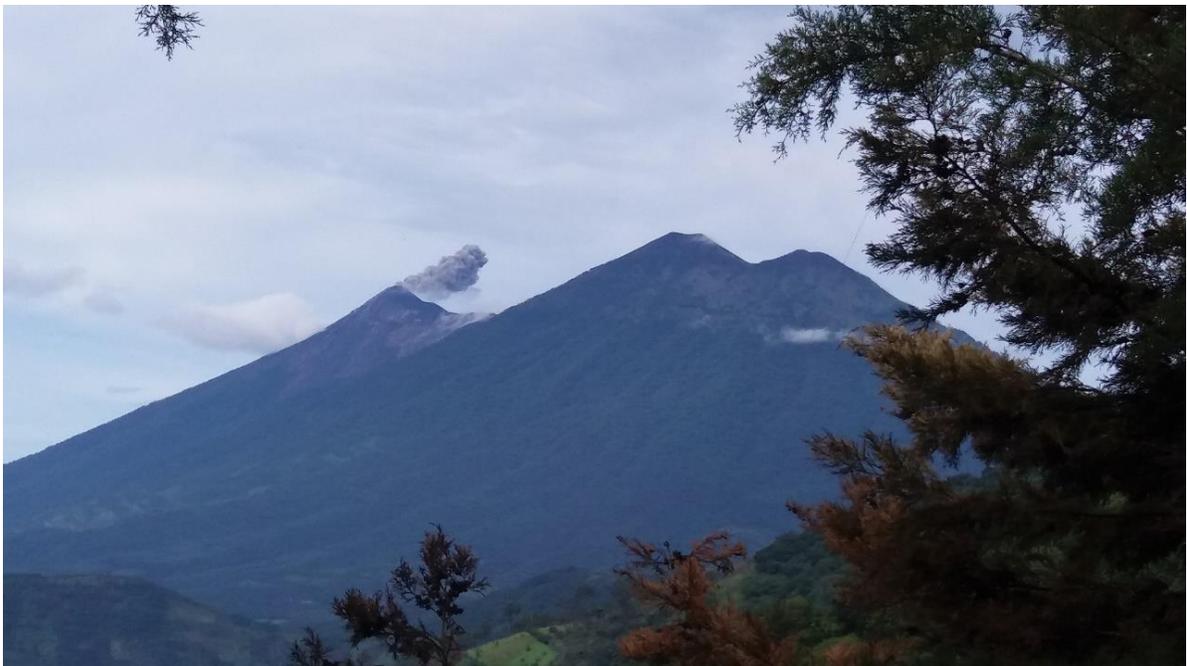


Figura 10. Vista desde una de las cimas del Astillero, apreciándose los volcanes de Fuego y Acatenango. (Maldonado, 2017)