

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

ANÁLISIS DE PRODUCTOS GENERADOS MEDIANTE VANT Y SU
COMPARACIÓN CON MÉTODOS TRADICIONALES EN LA
CERTIFICACIÓN DE INCENTIVOS FORESTALES

BEBERLYN MARÍA FERNANDA ALDANA MENÉNDEZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

ANÁLISIS DE PRODUCTOS GENERADOS MEDIANTE VANT Y SU
COMPARACIÓN CON MÉTODOS TRADICIONALES EN LA
CERTIFICACIÓN DE INCENTIVOS FORESTALES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

BEBERLYN MARÍA FERNANDA ALDANA MENÉNDEZ

Al conferírsele el título de

INGENIERA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE 2019

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS**



RECTOR
M.Sc. Ing. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Graduados:	Inga. Evelin Dee Dee Sumalé Arenas
Representante de Estudiantes:	A.T. Estefany Rosibel Cerna Aceituno
Representante de Estudiantes:	P.C. Elder Alberto Masters Cerritos
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M. A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos
Secretario:	M.Sc. Victoria María Callén Valdés
Vocal:	M.Sc. Jeovani Joel Rosa Pérez

TERNA EVALUADORA

Ing. Agr. Héctor Conrado Valdés Marckwordt
Ing. en AT. Freddy Alexander Díaz Valdés
Ing. en AT. César Enrique Flores Cerón

Chiquimula 12 de septiembre de 2019

Señores
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someterme a su consideración el trabajo de graduación titulado,

**ANÁLISIS DE PRODUCTOS GENERADOS MEDIANTE VANT Y SU COMPARACIÓN
CON MÉTODOS TRADICIONALES EN LA CERTIFICACIÓN DE INCENTIVOS
FORESTALES**

El cual presento como requisito previo para optar al título de ingeniera en administración de tierras, en el grado académico de Licenciatura.

Atentamente



Beberly María Fernanda Menéndez
201244703

Chiquimula, 11 de septiembre de 2019
Ref. TG-AT-05-2019

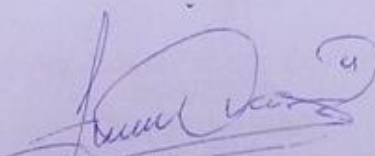
Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Córdón
DIRECTOR
Centro Universitario de Oriente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable señor Director:

En atención a la designación efectuada según Acta de Aprobación de Tema de Trabajo de Graduación APT-12-2017 de fecha 13-11-2017, para asesorar a la estudiante **Beberlyn María Fernanda Aldana Menéndez** con Registro Académico 201244703, en el trabajo de graduación denominado **"ANÁLISIS DE PRODUCTOS GENERADOS MEDIANTE VANT Y SU COMPARACIÓN CON MÉTODOS TRADICIONALES EN LA CERTIFICACIÓN DE INCENTIVOS FORESTALES"**, tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he procedido a asesorar y orientar a la sustentante sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes, razón por la cual recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar el título de **Ingeniera en Administración de Tierras**, en el Grado Académico de Licenciada.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Freddy Alexander Díaz Valdés
Colegiado No. 5,506

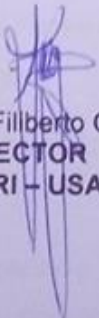
c.c. archivo
FADV / lm

D-TG-AT-195/2019

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **BEBERLYN MARÍA FERNANDA ALDANA MENÉNDEZ** titulado "ANÁLISIS DE PRODUCTO GENERADOS MEDIANTE VANT Y SU COMPARACIÓN CON MÉTODOS TRADICIONALES EN LA CERTIFICACIÓN DE INCENTIVOS FORESTALES", trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Administración de Tierras. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como Trabajo de Graduación a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a seis de noviembre de dos mil diecinueve.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
DIRECTOR
CUNORI - USAC



ACTO QUE DEDICÓ

A Dios	Por formarme y crear en mí la fe, por la gracia de su presencia en mi vida, por bendecirme hoy viendo a mi familia feliz y bendecida.
A los abuelos	Adelaido Menéndez (+) y Francisca Sac (+), la raíz de nuestra familia, quienes nos enseñaron la unión, Dios los tenga en gloria y paz eterna.
A mis madres	Hilda Lorena Menéndez y Sandra Oralía Menéndez, Dios me premio con las mejores guías, a quienes debo todo lo soy, parte de ustedes está reflejado en mí, mis mejores ejemplos de lucha y perseverancia, sin ustedes no hubiera sido posible, a quienes debo hoy lo que estoy logrando; los regaños han funcionado, este es nuestro triunfo.
A mis hermanas	Nuryth mi pequeña hermana, la niña del corazón más noble que existe, Yury muchas gracias por formar en mi la perseverancia, por caminar conmigo, Dios es bueno al ponerles en mi camino.
A mi cuñado	Gracias por apoyarme incondicionalmente y brindarme su amistad.
A mis sobrinos	Matías Fernando, Sofía Camila, por ser parte especial en mi vida.
A mi padre	Gracias por darme la vida, y estar hoy presente en ella.
A mi familia	En especial a Tía Paca (+), Dios la tenga en gloria, tía lesbiana, gracias por ser una buena consejera, Doña Argentina por ser mi mejor amiga su consejos y

compañía en estos últimos años, Gabriel Gabriela y Diego muchas gracias, y demás familia por formar parte de mi vida.

A mis amigos

Dianira y Cristina gracias por el tiempo dedicado y cariño de hermanas, Leyla mi amiga muchísimas gracias por todo, Carmela por su amistad especial, Jenny, Jeffer, Walter, María Fernanda, Sofía, Dulce, Eduardo, Edgar y Alberto, son parte importante en este camino.

A mis asesores

Muchísimas gracias inge. Diana Pérez, inge. Freddy Díaz e inge. Cesar Flores, por el tiempo que me han dedicado para obtener este documento, que hoy me acredita este título.

A mis catedráticos

Inge. Lorena Romero, Maris España, Sergio Alvizures, Carlos Ramirez, lic. Waleska Aldana, arq. Victoria Callen, Marlon Bueso, por compartir sus conocimientos en la carrera de Ingeniería en Administración de tierras.

A Lisbeth

Por ser tan paciente, y ayudarme siempre en cualquier trámite universitario que he tenido.

A la Universidad

Universidad San Carlos de Guatemala y Centro Universitario de Oriente CUNORI, por ser la casa de estudio mi alma Mater.

ÍNDICE

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO CONCEPTUAL	2
2.1 Antecedentes	2
2.1.1. Incentivos forestales: una oportunidad conjunta para el bosque	2
2.1.2. El PINFOR como fomento a la actividad forestal	3
2.1.3. Estudios relacionados con Drones y bosque, una opción de bajo costo para el monitoreo forestal	3
2.1.4. Determinación de la degradación forestal en el ecosistema manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados	5
2.2 Definición del problema	6
2.3 Justificación	7
III. MARCO TEÓRICO	8
3.1 Bosque	8
3.2 Plantaciones forestales	8
3.3 Tipos de plantaciones	8
3.4 Plan de Manejo Forestal	9
3.5 Incentivo forestal	9
3.6 Certificar	9
3.7 Programa de Incentivos Forestales -PINFOR-	10
3.8 Programa de Incentivos para el Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala -PROBOSQUE-	10

3.9 Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal y Agroforestal -PINPEP-	10
3.10 Fotogrametría y fotointerpretación	11
3.11 Fotogrametría terrestre	12
3.12 Fotogrametría aérea.....	12
3.13 Fotogrametría analógica	12
3.14 Fotogrametría analítica	13
3.15 Fotogrametría digital	13
3.16 Ventajas de la fotogrametría	13
3.17 Desventajas de la fotogrametría.....	15
3.18 Drones o Vehículos Aéreos No Tripulados	15
3.19 Clasificación de los VANT	16
3.20 Usos principales de los VANT en ingeniería	17
3.21 Uso de los VANT en áreas rurales	18
3.22 Ventajas de los VANTS	18
3.23 Cámaras aéreas.....	19
3.24 Criterios y parámetros técnicos de evaluación	19
Área integral del proyecto.....	20
3.25 Requisitos para aprobación de proyectos	22
IV. MARCO REFERENCIAL	23
4.1 Departamento de Chiquimula.....	23
4.2 Ubicación del municipio.....	23
V. MARCO METODOLÓGICO.....	26
5.1 Objetivos	26
5.1.1Objetivo general	26

5.1.2	Objetivos específicos	26
5.2	Metodología.....	27
5.2.1	Reconocimiento del área.....	27
5.1.2	Selección de un VANT	27
5.2.3	Selección de software	28
5.2.4	Toma de datos	28
5.2.5	Plan de vuelo.....	28
5.2.6	Calibración del equipo	28
5.2.7	Toma de fotografías	29
5.2.8	Descarga de información.....	30
5.2.9	Selección de software de procesamiento	30
5.2.10	Procesamiento	30
5.3	Resultados	31
5.4	Análisis de los resultados	54
VI.	CONCLUSIONES	55
VII.	RECOMENDACIONES.....	56
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Clasificación de productos fotogramétricos.....	12
2. Modalidades de certificaciones forestales.....	21
3. Ubicación de los proyectos de protección y plantación en el municipio de Chiquimula.....	24
4. Mapa de ubicación del proyecto agroforestal en el municipio de San Juan Ermita....	25
5. Proyecto agroforestal en aldea Lagunetas, San Juan Ermita.....	32
6. Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con Google Earth Pro.....	33
7. Comparación de fotografías aéreas y ortofoto 2006	34
8. Rectificación de área.....	35
9. Identificación de plantaciones agrícolas.....	37
10. Árboles grandes dentro del sistema agroforestal	38
11. Proyecto de protección en aldea Tierra Blanca, Chiquimula.....	39
12. Análisis de cobertura entre ortofoto 2019 y Google earth pro	40
13. Comparación de fotografías aéreas y ortofotos 2006.....	41
14. Variación de coloración del bosque.....	43
15. Individuo con follaje café lo que señala daño	44
16. Individuos dentro de parcela circular	45
17. Individuos dentro de parcela rectangular	46
18 Regeneración natural	47
19. Proyecto de plantación en aldea Tierra Blanca, Chiquimula	48
20. Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con Google earth pro	49
21. Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con ortofoto 2006	50
22. Demostración de ronda corta fuego con los 3 metros de ancho	52
23 Parcela redonda en plantación forestal de 8 años d edad	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Características indispensables en sistemas agroforestales	36
2. Características identificables en bosques de protección	42
3 .Características identificables en plantación forestal.....	51

I. INTRODUCCIÓN

A través de la historia, el ser humano ha utilizado para promover el desarrollo de su territorio, la aplicación de nuevas técnicas de aprendizaje, estrategias que han fomentado el uso de tecnología en los sectores ambientales, sociales y culturales. Es así como, gracias al desarrollo e innovación continúa en electrónica, informática y los sistemas de navegación y comunicación, surgen los vehículos aéreos no tripulados (VANT), conocidos también como drones, que plantean alternativas para la adquisición de información de interés de distintos sectores; tanto recreativos, como agrícolas, ecológicas, geológicas y forestales.

El Instituto Nacional de Bosque -INAB-, ha promovido el manejo de bosques fomentando el uso sostenible, protección y restauración de los mismos por medio de la creación y promoción de programas de incentivos tales como el Programa de incentivos forestales-PINFOR-, programa de Incentivos Forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal-PINPEP- y el programa de incentivos para el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosque en Guatemala –PROBOSQUE-, para aumentar las actividades forestales y promover el desarrollo comunitario al facilitar un estipendio anual por hectáreas en bosques con planes de protección, producción y sistemas agroforestales. Actualmente para ser parte del programa se realiza la certificación forestal al cumplir con distintos requisitos del reglamento de inscripción.

La utilización de VANTs en el sector forestal, proporciona información sobre el tema de esta investigación, llamada “Análisis de productos generados mediante VANT y su comparación con métodos tradicionales en la certificación de incentivos forestales en los municipios de Chiquimula y San Juan Ermita”, con la cual se pretende contribuir con el INAB en los procesos de certificación de incentivos forestales mediante la obtención de productos de precisión, calidad, optimización del recurso tiempo y costo/beneficio, utilizando productos fotogramétricos generados por los VANTs.

A partir de comparaciones de tablas cualitativas que reflejan la aplicabilidad en las certificaciones; utilizando vuelos a 230 metros de altura se obtuvo información de tres proyectos inmersos en los incentivos forestales.

II. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

2.1.1. Incentivos forestales: una oportunidad conjunta para el bosque

El bosque continúa desapareciendo, presionado por el avance de la frontera agrícola, incendios forestales, tala ilícita, invasiones de tierra y otros factores determinantes, de acuerdo a la región del país¹.

Los bosques tienen una oportunidad para su conservación a través de los programas de incentivos forestales, ya que constituyen la plataforma más atractiva para el poseedor de terrenos con este tipo de cobertura, recibe un incentivo monetario, para invertir en trabajo de prevención de daños al bosque, especialmente del fuego y tala ilícita.

Uno de estos programas es el PINPEP, que en sus inicios estuvo dirigido a las regiones del altiplano guatemalteco, lugar en donde gran cantidad de personas poseen terrenos con bosque de pequeñas extensiones, desde una cuerda hasta una manzana (minifundio), alta densidad poblacional y altos índice de pobreza.

Por lo anterior, se evidenció la necesidad de recurrir al personal calificado, para obtener este servicio técnico. De esta manera, inició la oferta de servicios por parte de los elaboradores de planes de manejo forestal².

Los programas de incentivos forestales representan una oportunidad para conservar y proteger los bosques de Guatemala, por lo que es positiva su implementación. Se esperaría que la población que recibe estos incentivos forestales, en la actualidad, no cambiarán el uso del suelo en el futuro, con lo cual las generaciones venideras seguirán recibiendo los beneficios ambientales del bosque.

¹ Aguilera, JE. 17 jul. 2017. Incentivos forestales (entrevista). Poptún, Petén, MAGA.

² Ibidem.

Los poseedores de bosque, con proyectos autorizados se han asegurado un ingreso durante los próximos 10 años, que deberán destinar para la conservación del suelo, siendo este su compromiso con Guatemala.

2.1.2. El PINFOR como fomento a la actividad forestal

Durante su establecimiento en 1995 a 1998, ha sido un instrumento de la política forestal que promovió el Instituto Nacional de Bosques para fomentar la producción forestal sostenible en Guatemala, estimulando la inversión en actividades forestales.

Durante su establecimiento y funcionamiento el PINFOR logró establecer 211,233 hectáreas de bosque natural en protección, 21,533 hectáreas de bosque natural bajo manejo productivo, el establecimiento y manejo de 133,638 hectáreas de plantaciones en todo el país (INAB, 2010).

2.1.3. Estudios relacionados con Drones y bosque, una opción de bajo costo para el monitoreo forestal

En la actualidad los drones han marcado gran diferencia ante la importancia de su uso, ya que proporciona al usuario de estos las distintas ventajas de manipulación y aplicación en estudios y monitoreos de bosques, proporcionando imágenes en tiempo real de áreas a donde se tiene difícil acceso para su estudio.

A continuación se mencionan algunos estudios actualmente aplicados en bosques.

Comunidades de Lima, Perú, el uso de los drones mejora el monitoreo de los bosques, el envío de pequeñas aeronaves no tripuladas (conocidas como drones) para sobrevolar los bosques tropicales presenta un gran potencial para la mejora del monitoreo forestal comunitario y para la medición del carbono con miras a apoyar los esfuerzos de mitigación del cambio climático, los llamados drones pueden monitorear y medir muchas

cosas, incluyendo el carbono. Son rápidos, baratos, inmediatos y ahorrarán una enorme cantidad de trabajo pesado.

Según Evans (2015), el monitoreo de los cambios en la cobertura forestal es también una parte esencial del Mecanismo para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero-REDD+-, el esquema basado en resultados que recompensa a las comunidades por reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y la degradación forestal.

El estudio descubrió que fijar una pequeña cámara a un dron del tamaño de un avión de aeromodelismo y hacerlo volar a una altura de 50 a 300 metros puede producir imágenes de alta resolución espacial. A dicha resolución, se puede identificar y monitorear fácilmente árboles específicos y los cambios existentes en la cobertura vegetal.

El bajo costo y la facilidad de operación de un dron significa además que podrían realizarse mediciones en los bosques con mucha más frecuencia que con las tecnologías convencionales de teledetección, que son más costosas.

Además, dado que los drones vuelan por debajo de las nubes, se pueden realizar evaluaciones durante todo el año, incluso durante la temporada de lluvias, lo que permite monitoreo permanente de los bosques tropicales.

En territorios de tamaño mediano a grande, que van de algunos cientos a varios miles de hectáreas, la capacidad de inspeccionar todo el territorio de una comunidad con unos pocos vuelos haría que la aplicación combinada de drones e inspecciones sobre el terreno sea más económica que usar solo las inspecciones, según indica el estudio (Evans, 2015).

2.1.4. Determinación de la degradación forestal en el ecosistema manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados

La degradación forestal de los manglares en Guatemala es un tema que aún no ha sido investigado, entidades públicas como el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y el Ministerio Público han realizado algunos esfuerzos en conjunto para obtener algunos datos como el registro de aserraderos, extracciones legales e ilegales y detección de ilícitos. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos el país aún no cuenta con una metodología que permita identificar este tipo de actividades (Catalán et al, 2017).

La investigación realizada por Catalán (2017), presenta el uso del sensor remoto Landsat 8 OLI/TIRS procesados semi-automática en el software de la universidad de Stanford CLASlite, el cual permite establecer parámetros espectrales, con el fin de poder identificar en la cobertura forestal actividades de degradación forestal. El área de estudio seleccionada para evaluar la capacidad del software fue la cobertura del ecosistema de manglar pacífico, ubicada en la zona sur de Guatemala.

Para determinar el valor espectral correcto se contrastaron los resultados obtenidos por CLASlite con modelos fotogramétricos de alta resolución contruidos mediante el uso del vehículo aéreo no tripulados Phantom 3 Advanced, el cual cuenta con una avanzada tecnología de vuelo semi automático por GPS y un sensor óptico de alta resolución, el objetivo de los modelos fotogramétricos era la validación visual de los registros de degradación forestal obtenidos por CLASlite, los cuales dieron una excelente respuesta a las actividades identificadas, obteniendo una precisión general del 95%, un intervalo de confianza del 97% y una incertidumbre total del 2%, Los valores obtenidos por el software CLASlite

PV, NPV y S, permiten a través de un análisis multitemporal identificar cambios en la estructura forestal (Catalán *et al.* 2017)

2.2 Definición del problema

Actualmente el tiempo necesario para la acreditación de una certificación de incentivo forestal es prolongado, y los métodos empleados para la identificación y evaluación de bosques con fines de incentivo son onerosos.

Guatemala, al igual que otros países del mundo, utiliza nuevas tecnologías como el caso de los Drones, pero al ser esta una herramienta nueva, a nivel nacional no se encuentra literatura que indique parámetros y aspectos específicos según el uso para el cual se quiera emplear, siendo en este caso la aplicación en el campo forestal.

En cuanto al uso de drones, en el campo forestal de Guatemala, no se tienen datos sobre el empleo y el tipo de sensor necesario en la generación de fotografías aéreas de alta resolución, que permitan el análisis y la interpretación de parámetros cualitativos, como el estado fisiológico y la densidad del bosque, requisitos indispensables en la certificación forestal.

El Instituto Nacional de Bosques desconoce las aplicaciones sobre el uso de las cámaras en los VANT para realizar certificación del Proyecto de Incentivos Forestales para Pequeños Poseedores de Tierra -PINPEP- y el de Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala -PROBOSQUE-.

En la presente investigación se demostraron las ventajas y desventajas que podría tener el utilizar nuevas tecnologías en la aplicación de certificación forestal.

2.3 Justificación

En la actualidad la tecnología avanza a pasos agigantados, lo que conduce a aplicar estas herramientas para obtener mejores procesos, logrando cumplir sus tareas y objetivos de manera eficaz y eficiente, reduciendo tiempos y costos, pudiendo ser mucho más productivos, tal vez hasta con menos recursos de los que se necesitaba anteriormente. La tecnología de Drones, o aviones no tripulados tiene diversos usos, desde militares hasta ocio (Bonanno *et al*, 2014).

Para la conservación de la cobertura forestal de Guatemala, es necesario apoyarse de diversas estrategias que faciliten el proceso, pero los métodos convencionales para la identificación del estado vegetativo de un área con masa boscosa son lentos, trabajosos y con costos elevados, por lo que emplear herramientas vanguardistas ayuda a que los procesos se realicen en menor cantidad de tiempo y con menos recursos.

Según el estudio del Mapa de Cobertura Forestal por Tipo y Subtipo de Bosque, la cobertura forestal nacional al año 2012 era de 3.7 millones de hectáreas, es decir el equivalente a un 34% del territorio nacional (INAB-CONAP, 2015).

Para Guatemala, el uso del incentivo para la protección de los bosques es indispensable, puesto que gran parte de la economía y bioenergía del país procede de ellos, agregando a ello, la importancia sobre la estabilidad e integridad de los mantos acuíferos y la producción de oxígeno en el país.

Para las instancias relacionadas con las dinámicas forestales de Guatemala es llamativo identificar la factibilidad del uso de VANT para la obtención de parámetros cualitativos sobre áreas con cobertura forestal. Se prevé que su utilización facilitará la obtención y manipulación de información, proporcionando datos fiables y de calidad, obtenidos en tiempo real.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Bosque

El INAB y CONAP (2015), consideran que bosque se refiere al ecosistema en donde los árboles son las especies vegetales dominantes y permanentes, se clasifican en:

- Bosques naturales sin manejo: son los originados por regeneración natural sin influencia del ser humano.
- Bosque natural bajo manejo: son los originados por regeneración natural y que se encuentran sujetos a la aplicación de técnicas silviculturales.
- Bosques naturales bajo manejo agroforestal: son bosques en los cuales se practica el manejo forestal y la agricultura en forma conjunta

Se considera bosque una superficie cubierta por árboles con un mínimo de cobertura de copa del 30%-40%, formando una masa continua de un mínimo de 0.5 hectárea con un ancho mínimo de 60 metros (INAB, 2017).

Los bosques forman parte importante en cuanto a la regularización del ecosistema, proporcionando un ambiente saludable y seguro de condiciones climáticas y contaminación ambiental.

3.2 Plantaciones forestales

Es el conjunto de árboles que son establecidos inotrópicamente con una o más especies. También conocido como bosque cultivado (INAB, 2017).

3.3 Tipos de plantaciones

Conífera: Las coníferas son arbustos y árboles que se presentan en forma cónica y frutos que también tienen una estructura de cono tales como pino, pinabete, entre otros (INAB, 2017).

Latifoliados: presentan en general, una copa bien ramificada y un troco que varía según dimensiones y forma de especie tales como el encino, nogal, roble, entre otros.

Mixtos: se le denomina mixto porque en ellos coexisten los latifoliados, como el roble, castaño, y coníferas (INAB, 2017).

3.4 Plan de Manejo Forestal

Documento que contiene la propuesta de planificación, ejecución, seguimiento y evaluación de las actividades a realizar, según modalidad, bajo criterios de sostenibilidad económica, ecológica y social (INAB, 2015).

3.5 Incentivo forestal

Es la inversión económica que hace el Estado para promover la reforestación y la creación de bosques y/o manejo sostenible del bosque natural.

Los esfuerzos por recuperar y proteger los bosques del país han estado principalmente orientados en el fomento de la actividad forestal a través de los programas de incentivos forestales como PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE.

Además, de las acciones que se han impulsado para el combate a la ilegalidad, los programas de incentivos han contribuido en la recuperación de los bosques en tierras desprovistas de árboles. (INAB, 2017).

3.6 Certificar

Es la acción de hacer constar que el proyecto aprobado por el INAB, ha cumplido con los parámetros requeridos para la fase correspondiente (INAB, Decreto 2-2015).

3.7 Programa de Incentivos Forestales -PINFOR-

PINFOR, es una herramienta de la política Nacional Forestal a largo plazo que inició en 1997, el Estado otorga incentivos por medio del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, en coordinación con el Ministerio de Finanzas Públicas, conforme esta ley, a los propietarios de tierra, incluyendo a las municipalidades, que se dediquen a proyectos de reforestación y mantenimiento en tierras de vocación forestal desprovistas de bosques, así como el manejo de bosques naturales y las agrupaciones sociales con personería jurídica, que virtud a arreglo legal, ocupan terrenos de propiedad de los municipios (SIFGUA, 2008).

3.8 Programa de Incentivos para el Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala - PROBOSQUE-

Es un programa de incentivos forestales que tiene por objeto, aumentar la cobertura forestal del país, a través del establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de los bosques que contribuirán al desarrollo rural en armonía a través del fomento de inversiones públicas y privadas, con el propósito de facilitar el uso y acceso a los incentivos (INAB, Decreto no. 2-2015).

3.9 Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal y Agroforestal -PINPEP-

Programa de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal.

Asiste al manejo forestal sostenible de los bosques, contribuyendo con un incentivo económico en materia forestal, incorpora la modalidad de establecimiento y mantenimiento de sistemas agroforestales, fomenta la equidad de género (CENADOJ, Decreto 51-2010).

Este programa es de observancia general: su ámbito de aplicación se extiende a todo el territorio nacional y comprende a los poseedores que no cuenten con título de propiedad, tierra de vocación forestal o agroforestal y tierras que tengan o no cobertura forestal (CENADOJ, Decreto 51-2010).

3.10 Fotogrametría y fotointerpretación

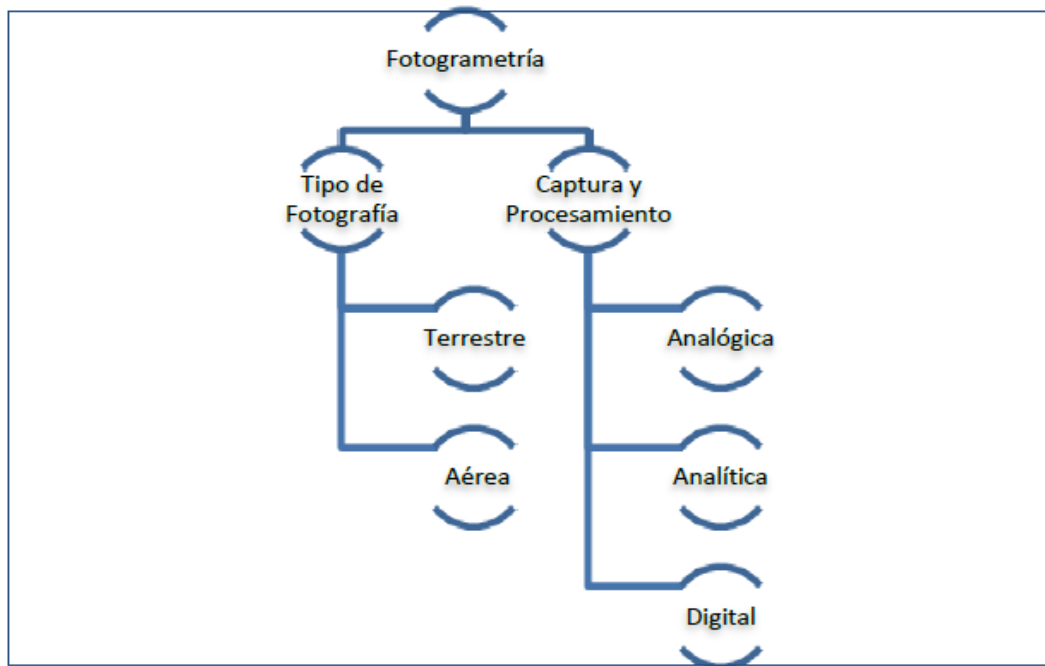
Según Quirós (2014), la técnica fotogramétrica tiene como objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías. Proporciona imágenes obtenidas por sensores remotos a partir de la cual se obtiene información cualitativa, identificación y caracterización del terreno (Zapata, 2003).

Etimológicamente, la palabra fotogrametría significa la métrica de lo escrito con luz. Es, en esencia, la ciencia que utiliza la fotografía para hacer medidas y su aplicación es extensiva a numerosas áreas de conocimiento. Se podría definir la fotogrametría como la ciencia para elaborar mapas o planos partiendo de fotografías realizadas bajo unos condicionantes específicos.

Sin embargo, la fotogrametría no interpreta fenómenos si no que, mediante mediciones en las fotografías, genera planos y mapas de gran exactitud (Quirós, 2014).

Las técnicas fotogramétricas permiten alcanzar, con rapidez, amplitud, detalle y a un costo moderado la ubicación de cualquier variable impresa sobre una fotografía. La imagen fotográfica capta pormenorizadamente todos los elementos naturales y culturales del sector fotografiado (Pacheco y Pozzobon, 2011).

Según Saní (2015), la fotogrametría puede ser clasificada en dos ramas; la primera, por la posición de toma de fotografía capturada y la segunda, por el tipo de captura y procesamiento de las fotografías.



Fuente: Saní, 2015.

Figura 1. Clasificación de productos fotogramétricos.

3.11 Fotogrametría terrestre

Tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología, se basa en el principio de la toma de fotografías horizontales en superficie; en donde la posición de la cámara y el objeto es conocida (Saní, 2015).

3.12 Fotogrametría aérea

Es la que utiliza fotografías verticales tomadas desde una cámara o sensor calibrado, ubicada en una plataforma aérea ya sea tripulada o no (Saní, 2015).

3.13 Fotogrametría analógica

Está basada en la utilización de equipos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realiza la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado para la obtención de mapas, con información altimétrica (Saní, 2015).

Se entiende por fotogrametría analógica la determinación precisa de un objeto en el espacio, a partir de la utilización directa de fotografías aéreas formando modelos estereoscópicos, reconstruyendo el modelo espacial con sistemas ópticos o mecánicos (Santos, 2014).

3.14 Fotogrametría analítica

Con la fusión de restituidores analógicos y ordenadores se crea al restituidor analítico, optimizando los tiempos y recursos posibilitando obtener información en programas de dibujo (Saní, 2015).

3.15 Fotogrametría digital

El avance tecnológico posibilitó el salto a la fotogrametría digital, ya que en la actualidad se cuenta con hardware (computadores, sensores, cámaras digitales) de mejor resolución con mayor cantidad de memoria de procesamiento y almacenamiento; permitiendo un desarrollo de software para el tratamiento de fotografías aéreas de mayor fiabilidad, obteniendo mosaicos orto-rectificados y modelos digitales de terreno 3D en formato raster o vectorial (Saní, 2015).

3.16 Ventajas de la fotogrametría

- **Reducción de costos**, que está relacionado con el tamaño del área a restituir. A partir de las 200 ha. de superficie, el método fotogramétrico se torna competitivo frente al método topográfico, aumentando esta competitividad a medida que el área se hace más extensa (Mozo, 2009).
- **Disminución del trabajo de campo**, ya que es un componente oneroso de todo trabajo topográfico, cuyo costo aumenta con la accesibilidad y las condiciones de clima adverso (Mozo, 2009).
- Dado el poco tiempo necesario para el levantamiento fotogramétrico con el que se obtiene una reproducción fiel del terreno, en un periodo determinado,

facilita datos muy valiosos en los casos de cambios súbitos, como por ejemplo: durante o después de catástrofes naturales (Mozo, 2009).

- **Registro multitemporal**, es muy útil para verificar mapas fotogramétricos. Las fotos aéreas proveen un registro preciso de las características del terreno en la fecha en que fueron tomadas, lo cual permite realizar comparaciones entre fotos de otras fechas para evaluar cambios en el terreno. Las fotografías aéreas también pueden ser empleadas para otros usos diferentes al del proyecto original, ya que además de información métrica, las fotografías aéreas proporcionan información de carácter cuantitativo y cualitativo (Mozo, 2009).
- La fotogrametría se puede aplicar en regiones donde no pueden utilizarse los métodos clásicos (Mozo, 2009).
- La aerofotogrametría aporta además una serie de ventajas, tales como, la fotografía en sí, la cual es un documento que permite efectuar cualquier control en un momento dado. También se pueden obtener de ella datos jurídicos, geológicos, históricos y geogénicos de suma importancia (Mozo, 2009).
- Los productos derivados de la fotogrametría digital son obtenidos en formato digital por lo que son fácilmente integrables en programas de dibujo y de procesamiento de datos espaciales (Braulio, 2005).
- La utilización de imágenes digitales permite la automatización parcial del proceso lo que conlleva al aumento del rendimiento, así mismo, permite el trabajo en tiempo real (Braulio, 2005).

3.17 Desventajas de la fotogrametría

Mozo (2019), describe algunas desventajas de la fotogrametría,

- Para realizar nuevos levantamientos se requiere la obtención de nuevas fotografías.
- El lugar debe ser inspeccionado para determinar aquellos elementos que no son visibles en forma satisfactoria, o que cuya naturaleza exacta no puede ser determinada en el estéreo modelo.
- Siempre es necesario realizar un control de campo.
- Limitada visión de la superficie del terreno cuando existe densa cobertura vegetal. En este caso es imposible ubicar la marca flotante sobre el terreno, por lo que se debe presumir una altura promedio de la vegetación con respecto al suelo. Sin embargo, como la cubierta vegetal tiende a suavizar los accidentes topográficos del terreno, siempre existirán errores en la ubicación de las curvas de nivel, aunque se pueda verificar la cota en los claros que existan en la vegetación (Mozo, 2009).

3.18 Drones o Vehículos Aéreos No Tripulados

Una de las nuevas tecnologías que más se destaca en la actualidad y capta la atención de todos son los llamados drones, también denominado UAV (unmanned aerial vehicle), cuya traducción es vehículo aéreo no tripulado (Bonanno *et al*, 2014).

Estas denominaciones hacen referencia a la ausencia de tripulación en el vehículo, lo que no es necesariamente sinónimo de autonomía. Ya que en el intermedio de su desplazamiento existe un control o previa configuración por el técnico operador (Tacca, 2015).

En el pasado los VANT eran únicamente aviones piloteados mediante control remoto, pero en la actualidad con el avance de la tecnología se pueden distinguir diferentes tipos de drones; los que siguen siendo manejados remotamente desde

una ubicación y los que vuelan de forma autónoma utilizando la base de planos de vuelo pre programados por GPS, gracias a que poseen un sistema complejo que permite su automatización (Bonanno *et al*, 2014).

Los drones han dejado de ser una tecnología puramente militar para comenzar a utilizarse en ámbitos civiles, los campos en los que ya se están utilizando es la arqueología, donde aportan en la búsqueda y estudio de restos arqueológicos en zonas de difícil acceso, y en la agricultura, donde se los está probando para vigilar los cultivos de grandes superficies, para poder identificar prematuramente los posibles problemas que pueden presentarse, tanto en el riego como en posibles enfermedades que afecten las plantas.

El drone tiene la capacidad de brindar datos importantes mediante la toma de fotos en áreas extensas (Bonanno *et al*, 2014).

3.19 Clasificación de los VANT

Santamaría (2014), indica que existe una clasificación única de drones a nivel mundial, debido a que es un área relativamente nueva, aunque es posible dividirlos en dos grandes grupos basándose en su principio de funcionamiento:

- Drones o VANT de ala fija
- Drones de ala rotatoria

Drones o VANT de ala fija

Se refiere a aeroplanos (con alas) que requieren de una pista para despegar y aterrizar, o un lanzamiento de catapulta, estos generalmente tienen una gran autonomía y pueden volar a altas velocidades (Santamaría, 2014).

Drones o VANT de ala giratoria

También llamados drones de despegue y aterrizaje vertical (Vertical take-off and landing, VTOL), los cuales poseen ventajas en su capacidad de permanecer en el aire y tener alta manejabilidad, cambian su nombre dependiendo de la

configuración de sus rotores, pueden ser de un solo rotor, rotor coaxial, rotor en tándem o multi rotor (Santamaría, 2014).

Adicionalmente a los drones mencionados, existen los llamados dirigibles no tripulados, que pueden alcanzar altitudes mucho mayores que los drones con rotores, debido a que son más ligeros que el aire y vuelan a bajas velocidades. También existen drones que emulan el aleteo de algunas aves o insectos para conseguir volar.

Los drones también se pueden clasificar tomando en cuenta su peso, altura de operación, duración de vuelo, etc., de igual forma no existe una clasificación única (Santamaría, 2014).

Según Santamaría (2014), la observación aérea mediante vehículos aéreos no tripulados conlleva la formación de cuatro conjuntos, necesarios para hacer posible la recogida de datos, repartidos entre la plataforma aérea y la estación terrestre.

- Plataforma de vuelo: el propio vehículo y su carga, es decir, la cámara fotográfica y otros sensores.
- Sistema de control de vuelo: formado por receptores GPS+EGNOS integrados en la plataforma de vuelo. Geo-referencia la información obtenida y controla el seguimiento del vehículo aéreo.
- Sistema de lanzamiento y recuperación: controla el despegue y el aterrizaje.
- Transmite la información adquirida durante el vuelo

3.20 Usos principales de los VANT en ingeniería

Un dispositivo autónomo como el VANT, con capacidad de comunicarse, transportar una cámara, tomar imágenes y videos, y almacenarlas o enviarlas a un servidor, constituye una alternativa para numerosas aplicaciones. Por lo tanto,

la tecnología de drones en agricultura viene a cubrir o complementar un vacío que existe entre las limitaciones de la supervisión humana, y la tecnología satelital por su enorme costo y baja resolución.

La captura de imágenes ha generado una necesidad computacional impresionante, no solo en el almacenamiento, sino también en la velocidad de los motores de búsqueda, identificación, rectificación e interpretación de ellas por medio de cálculos y algoritmos sofisticados (Ojeda, Flores, Ontiveros *et al*, 2016).

3.21 Uso de los VANT en áreas rurales

Tacca (2015), menciona que, para los agricultores es provechoso la utilización y manejo de drones, la funcionalidad de estos aparatos es diversa, pues las fotos y videos de alta definición de la cámara, posibilita el monitoreo de grandes dimensiones de terreno, permitiendo la localización temprana de plagas o malezas y mostrar con exactitud las características de un predio en pocos minutos, además de utilizarlos en el control de rebaños.

En Asia se estiman que hay unos 2400 drones utilizados para esparcir pesticidas y fertilizantes en grandes terrenos rurales (Tacca, 2015).

3.22 Ventajas de los VANTS

Los drones tienen la posibilidad mediante sensores, de determinar las condiciones climatológicas actuales y futuras, pudiendo informar precipitaciones que se acercan a través de índices de humedad, o calores y sequias, prevenir y hasta combatir posibles incendios que se generen por causas naturales (Bonanno *et al*, 2014).

Permiten llegar a lugares de difícil acceso o que requieran de mucho tiempo y costo acceder, como en terrenos montañosos o en grandes extensiones de campo, donde pueden tomar fotos precisas para poder efectuar vigilancia y control

Algunos drones a través de sistemas GPS, tienen la capacidad de hacer mediciones satelitales y a su vez otros disponen de un láser que puede hacer una representación del terreno mediante una nube de puntos, llamada tecnología LIDAR, la cual una vez obtenida esa nube de puntos se pasa a un plano o mapa, permitiendo medir el terreno.

Capacidad de realizar vuelos nocturnos, al utilizar cámaras de alta resolución con visión nocturna, pueden continuar operando a lo largo de la noche, situación que no es posible con las herramientas tradicionales y cotidianas disponibles (Bonanno *et al*, 2014).

3.23 Cámaras aéreas

Morales y Peña (2010), indica que son sensores diseñados especialmente para tomar fotografías, desde plataformas aéreas (aviones, globos, etc.), las que se caracterizan por poseer un tiempo de exposición muy corto debido a que están en movimiento durante la exposición.

Las cámaras aéreas son instrumentos que recogen la información básica necesaria, para la aerofotogrametría y la fotointerpretación, obteniendo imágenes que deben ser de óptima calidad, tanto cualitativa como cuantitativamente (Morales & Peña, 2010).

3.24 Criterios y parámetros técnicos de evaluación

Según el Decreto Número 2-2015 (2015), Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala, PROBOSQUE, que tiene por objeto aumentar la cobertura forestal del país, proporciona reglamentos para determinar criterios y parámetros técnicos a evaluar de un proyecto forestal considerada para una certificación, las cuales son las siguientes:

Área integral del proyecto

Según el Decreto Número 2-2015 (2015), se considera como área integral del proyecto en cualquiera de las modalidades establecidas en el Reglamento, el área interna del polígono del proyecto que reúne los parámetros mínimos establecidos por el INAB.

Puede además ser parte integral del área del proyecto, las estructuras de protección contra incendios, cuerpos de agua, caminos, áreas con restricciones fisiográficas severas y bosquetes naturales que se encuentren ubicados dentro del perímetro del proyecto. La sumatoria de estas no podrá exceder del ocho por ciento (8%) del área total. Para plantaciones forestales, el área total de los bosquetes naturales no deberá ser mayor al dos por ciento (2%) del área total del proyecto y en ningún caso, cada bosquete podrá ser superior a cero punto cinco (0.5) hectáreas.

El área bajo tendidos eléctricos donde no se permita contar con cobertura arbórea, no se tomará en cuenta como parte integral del proyecto. El límite máximo de error permisible de medición del área será de un más/menos cinco por ciento ($\pm 5\%$). Para efectos de medición del área del proyecto, se utilizará la proyección GTM y el Datum WGS84 (Decreto Número 2-2015, 2015).

Area integral de proyecto

- Modalidades establecidas
- Estructura de protección contra incendios
- Cuerpos de agua
- Caminos
- Bosques ubicados dentro de Perímetro de proyecto

**Restauración de
tierras forestales
degradadas**

- densidad mínima inicial
- fitosanidad y supervivencia
- labores culturales
- medidas silviculturales

Bosque natural

- bosques naturales con fines de producción
- cantidad
- fitosanidad
- distribución espacial de la masa forestal
- medidas silviculturales
- bosque con fines de protección
- fitosanidad
- medidas silviculturales

**Plantaciones
forestales voluntarias
registradas con
fuente de semilla**

- medida de protección contra el fuego
- labores culturales
- medidas silviculturales

**Sistemas
agroforestales**

- densidad mínima inicial
- árboles cultivo anual 625 a/ha
- árboles ccultivos perennes 250 a/ha.
- supervivencia y fitosanidad
- labores culturales y medidas silviculturales

**Plantaciones
forestales**

- densidad mínima inicial
- fitosanidad
- labores culturales
- medidas silviculturales

Fuente: Elaboración propia
Figura 2. Modalidades de certificaciones forestales

3.25 Requisitos para aprobación de proyectos

CENADOJ (2018), indica que para que un proyecto de certificación sea validado necesita de requisitos generales los cuales son:

- a) Solicitud de ingreso en formulario;
- b) Plan de Manejo Forestal, según modalidad;
- c) Documento que acredite el derecho sobre el inmueble.
 - c.1. Propietarios: Certificación del Registro de la Propiedad.
 - c.2. Certificación del punto de acta suscrita.
 - c.3. Arrendatarios de áreas de reservas de la Nación: Aval extendido por OCRET.
 - c.4. Para tenencia comunal o colectiva de propiedad agraria, Acta notarial en la que conste el punto de acta de registro de control de tierras.

IV. MARCO REFERENCIAL

4.1 Departamento de Chiquimula

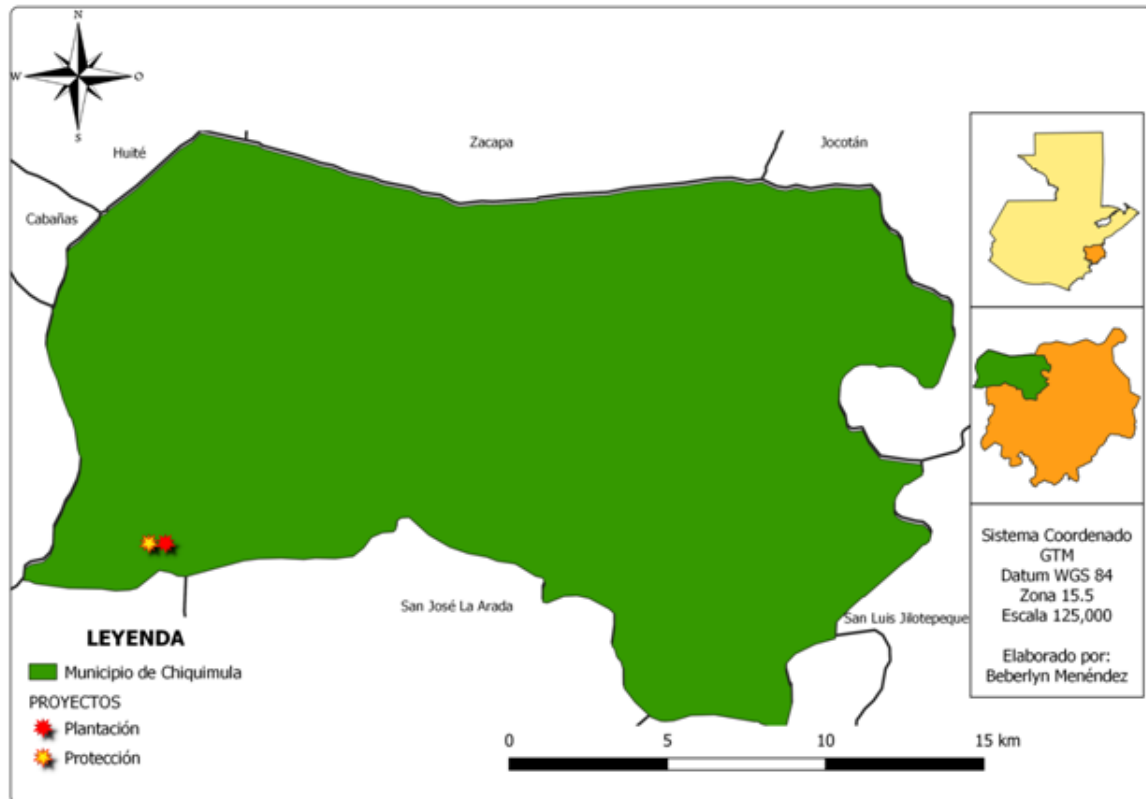
El Departamento de Chiquimula está ubicado en el oriente de Guatemala, cuenta con una extensión territorial de 2,376 Km² y se encuentra a 170 Km. de la ciudad capital (MINECO, 2017).

El departamento posee 11 municipios entre los cuales se encuentra el municipio de Chiquimula y San Juan Ermita (MINECO, 2017).

4.2 Ubicación del municipio

El municipio de Chiquimula está ubicado en la parte noroccidental del departamento, colinda al norte con los municipios de Jocotán, Zacapa y Huité, al sur con los municipios de San Jacinto, San José la Arada y San Luís Jilotepeque, al este con los municipios de San Juan Ermita y Jocotán, y al oeste con los municipios de San Diego y Cabañas, cuenta con una extensión territorial de 372 Km² lo que representa el 15.66% del territorio departamental, lo cual lo ubica como el segundo municipio más grande del departamento (Ramírez, 2012). La ciudad cabecera se encuentra a una latitud 14° 47' 58", longitud 89° 32' 37".

En la figura 3, se muestra la ubicación de los proyectos de plantación y protección, los cuales se localizan en el municipio de Chiquimula.

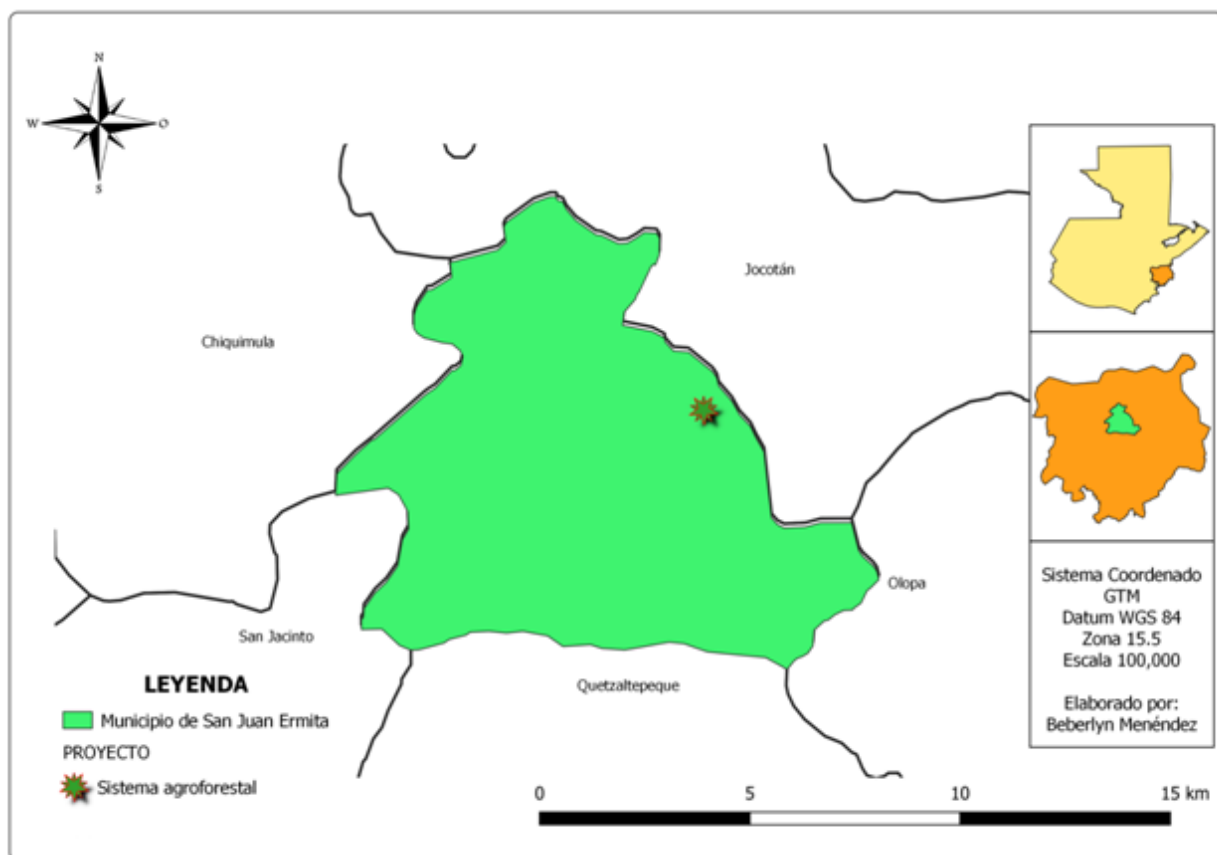


Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Ubicación de los proyectos de protección y plantación en el municipio de Chiquimula.

El municipio de San Juan Ermita se ubica en el nor-orienté de la república de Guatemala, en el norte del departamento de Chiquimula, con una extensión territorial de 84 km². con una altura de 569 metros sobre el nivel del mar (Municipalidad de San Juan Ermita, 2018).

En la figura 4, se muestra la ubicación del proyecto de sistema agroforestal evaluado, el cual se encuentra en el municipio de San Juan Ermita.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Mapa de ubicación del proyecto agroforestal en el municipio de San Juan Ermita

V. MARCO METODOLÓGICO

5.1 Objetivos

5.1.1 Objetivo general

- Analizar ortofotos generadas mediante VANT para establecer una comparación con métodos tradicionales en la certificación forestal de proyectos PINPEP.

5.1.2 Objetivos específicos

- Generar información gráfica y descriptiva que permita evaluar los parámetros que establece la certificación de incentivos forestales obtenidos a través de los VANT.
- Mostrar la aplicabilidad del empleo de los VANT en la certificación forestal del PINPEP, comparado con métodos tradicionales.

5.2 Metodología

Durante el proceso de la toma de fotografías aéreas del área que sirvió de estudio, para obtener información gráfica y descriptiva según los parámetros que establece la certificación de plantaciones forestales, objeto de incentivos, se realizaron las siguientes actividades:

FASE I

5.2.1 Reconocimiento del área

Por medio de visita de campo al área de estudio en los municipios de Chiquimula y San Juan ermita, se obtuvieron datos sobre las condiciones en las cuales se encuentra el lugar, y las plantaciones forestales tales como;

- clima, nubosidad
- temperatura promedio
- altitud (msnm)
- precipitación (mm/año).
- acuerdos sociales.

Se analizó la información basada en la certificación forestal que cumpla con las siguientes características:

- a. Tipo de bosque (conífero, mixto y/o latifoliados)
- b. Área de plantación
- c. Edad de la plantación
- d. Estado fitosanitario de la plantación.

5.1.2 Selección de un VANT

Para este estudio se utilizó un drone marca PHANTOM 3, compatible con el software automatizado, de alta resolución espacial el cual cuenta con un GPS de doble frecuencia (NAVSTAR y GLONASS).

5.2.3 Selección de software

Para la realización de la fotogrametría, se debe considerar un software que tenga compatibilidad con el VANT en cuanto a su sistema operativo, que permite la calibración y ajustes de los parámetros fotogramétricos como el traslape de fotografías, altura de vuelo, área recorrida por batería y velocidad, en este estudio se manejó el DJI Go que es compatible.

FASE II

5.2.4 Toma de datos

Durante esta etapa se realizaron los ajustes necesarios para el correcto funcionamiento del equipo durante el levantamiento de la información en las plantaciones.

El técnico ejecutó la inspección de campo para identificar las actividades contempladas en el plan de manejo forestal aprobado por el INAB.

5.2.5 Plan de vuelo

Para el diseño del plan de vuelo, se empleó la herramienta para fotogrametría llamada Map Pilot, que permite realizar diversas combinaciones de altura, velocidad, traslape por fotografía utilizada, en este caso con el 70 por ciento y área de vuelo.

5.2.6 Calibración del equipo

Para la toma de fotografías en campo utilizando la aplicación efectiva para los fines propuestos, se revisaron los parámetros de calibración tales como:

- Orientación de equipo
Refiriéndose a la manipulación y orientación de la brújula del drone, la cual fue visualizada por medio de la aplicación.
- Actualización de los datos del drone
Considerando las configuraciones en cuanto a altura, área de vuelo, traslape de fotografías.
- Calibración de la cámara para la correcta toma de fotografías.
Para realizar la calibración de la cámara, se utilizó el software DJI Go para manipular la resolución de las fotografías.

Utilizando alturas de 230 mts, se obtuvo información visible sobre el área de estudio, que muestra información de las condiciones según parámetros para certificar.

5.2.7 Toma de fotografías

Se procedió a la captura de imágenes aéreas de las plantaciones forestales con el drone, utilizando el plan de vuelo antes mencionado ubicado sobre la superficie de la masa boscosa objeto de estudio.

Para realizar el análisis de información gráfica comparada con los métodos tradicionales de certificación, se efectuó la inspección de campo y revisión del informe de la certificación emitida por el técnico del INAB, para identificar si ha cumplido con las actividades contempladas en el plan de manejo forestal aprobado por el INAB. Se realizaron las siguientes actividades,

- Recorrer el polígono de la plantación para verificar si cumple con el área propuesta.
- Verificar si las especies propuestas coinciden con las de campo.

- Determinación de la densidad de plantas por hectárea, lo que se hizo por medio de parcelas rectangulares y circulares, (mismas que son determinadas en cuanto a forma por el técnico) de muestreo con datos de altura y diámetro a la altura del pecho.
- Identificación de rótulos con la información del proyecto, que se basa en: área, titular del proyecto, año de inicio, modalidad y tipo de incentivo.
- Verificación del estado fitosanitario de la plantación.
- Revisión de las rondas cortafuego en el perímetro de la plantación.

FASE III

5.2.8 Descarga de información

Utilizando la memoria para el almacenamiento de fotografías generadas por la cámara que transporta el drone, se procedió a la descarga de las fotografías tomadas durante el proceso en campo.

5.2.9 Selección de software de procesamiento

Para el procesamiento de fotografías generadas por el VANT se seleccionó el programa fotogramétrico Agisoft photoScan professional adaptable a las necesidades de la investigación.

5.2.10 Procesamiento

Durante esta fase de gabinete, se construyó el mosaico que se forma de las fotografías aéreas obtenidas en campo, los cuales a partir de productos fotogramétricos generan modelos en 3D de alta resolución con un pixel aproximado de +/- 15 centímetros la unidad mínima espacial (resolución de imagen), proporcionando detalles que pueden capturar las imágenes del área en estudio.

Para la determinación de la aplicabilidad de los VANT en las certificaciones forestales, fue necesario realizar la estimación de tiempos y comparando posteriormente si las fotografías pueden sustituir algunas labores en campo y el tiempo empleado para la generación de las imágenes.

5.3 Resultados

Comparación de metodología tradicional y utilización de drones.

Se realizó la estimación de los tiempos y comparación de los datos recopilados en campo de manera tradicional con los generados por medio de fotografías aéreas.

Con la información obtenida, se crearon tablas cualitativas que reflejan la aplicabilidad de los VANT para la certificación forestal.

Se realizaron los vuelos en días con condiciones climáticas favorables, libre de nubosidad y lluvia, con suficiente iluminación. Durante el primer vuelo se realizó un recorrido a una altura de 150 metros, sin tener consideración de la pendiente del terreno y altura de arboles, lo cual provocó el choque y la pérdida de señal del VANT.

Durante los siguientes vuelos se procedió a realizar el recorrido a una elevación de 230 m de altura.

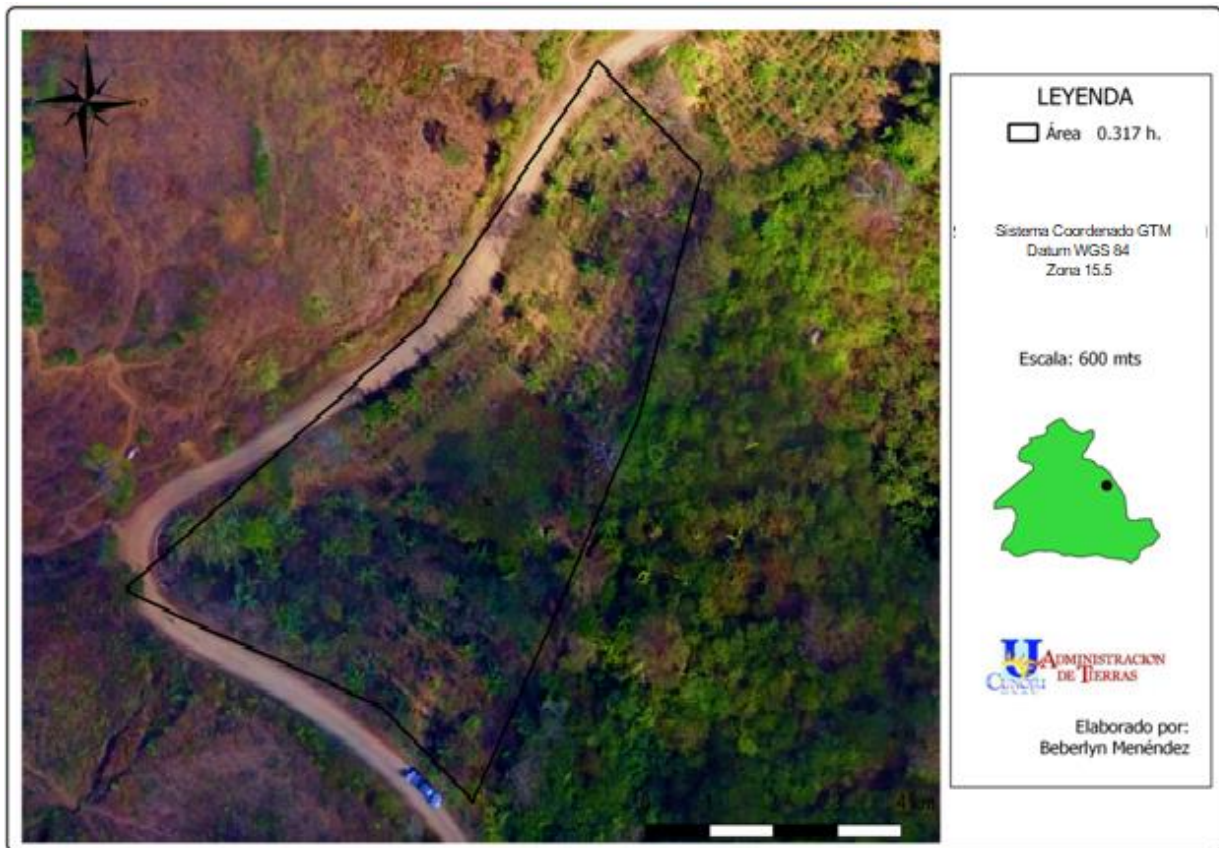
Utilizando el software MapPilot marcando la línea de vuelo con un traslape entre fotografías del 70% del área de estudio en un tiempo de 15 minutos, se obtuvieron 175 fotografías de las áreas de plantación y protección, con una resolución de 13 cm/px, y en 6 minutos se obtuvieron 23 fotografías del área agroforestal; con una resolución de 10cm/px, para el procesamiento de las fotografías se utilizó el programa Agisoft PhotoScan Professional en una computadora con capacidad de 4 Gb de memoria Ram y un procesador de 64

bits, durante 23 horas se obtuvo el mosaico de fotografías de los proyectos de protección y plantación, y en 3 horas, el mosaico del sistema agroforestal, ambos de alta calidad y resolución.

Las imágenes procesadas, mostraron a personal técnico del INAB para identificar la aplicabilidad de los VANT en cada uno de los proyectos objeto de estudio. En el análisis se determinó lo siguiente:

a. Sistema Agroforestal

En la figura 5, se muestra el mapa de ubicación del proyecto agroforestal objeto de estudio ubicado en aldea Lagunetas, San Juan Ermita.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Proyecto agroforestal en aldea Lagunetas, San Juan Ermita.

- Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con Google Earth.

En la figura 6, visualiza las comparaciones fotográficas entre la plataforma de Google Earth Pro y las fotografías aéreas obtenidas durante el vuelo fotogramétrico del sistema agroforestal, mostrando la vegetación del área en este caso madre cacao (*Gliricidia sepium*) y banano (*Musa sapientum*).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con Google Earth Pro

- Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con ortofoto 2006.

En la siguiente figura muestra un análisis de cobertura entre la ortofoto 2006 y la ortofoto 2019, demostrando el cambio en la vegetación durante los últimos 13 años.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Comparación de fotografías aéreas y ortofoto 2006

- Rectificación de área

En la figura 8, se una rectificación de área utilizando la visualización del límite del terreno en la fotografía.



Fuente: Elaboración Propia
Figura 8. Rectificación de área

El cuadro, 1 muestra los aspectos identificables utilizando los drones.

Cuadro 1. Características indispensables en sistemas agroforestales

CARACTERÍSTICAS IDENTIFICABLES EN EL SISTEMA AGROFORESTAL	
Se puede identificar	No se puede identificar
Si existen cultivos.	La cantidad de árboles
Tipo de cultivo (café, maíz, dudosamente se identifica el frijol)	
Si se ha trabajado toda el área	
Si existen árboles grandes dentro del terreno.	Información dasométrica

- Identificación de plantaciones agrícolas

En la figura 9 se aprecia perfectamente la existencia de surcos con cultivos agrícolas, en este caso *café* (*coffea*) y plantas de banano (*Musa sapientum*), utilizando una barrera viva como límite del terreno.



Fuente: Elaboración propia
Figura 9. Identificación de plantaciones agrícolas

- Presencia de Árboles grandes

En la figura 10, se observa la presencia de árboles grandes dentro del área del sistema agroforestal como madre cacao (*Gliricidia sepium*), pino (*Pinus oocarpa*) y cedro (*Cedrela odorata*).

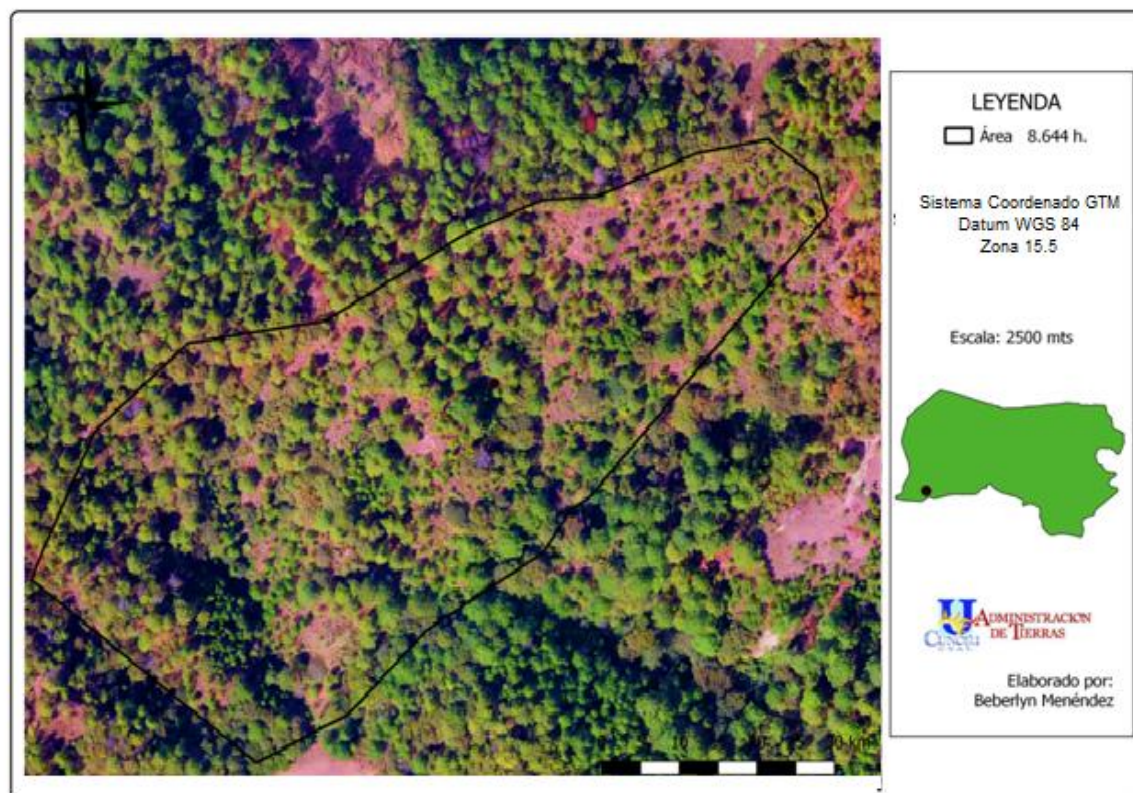


Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Árboles grandes dentro del sistema agroforestal

a. Bosque de protección

El bosque de protección es de Pino (*Pinus oocarpa*). En la siguiente figura se muestra la forma del polígono y el mosaico de imágenes resultantes del estudio en el proyecto de protección.

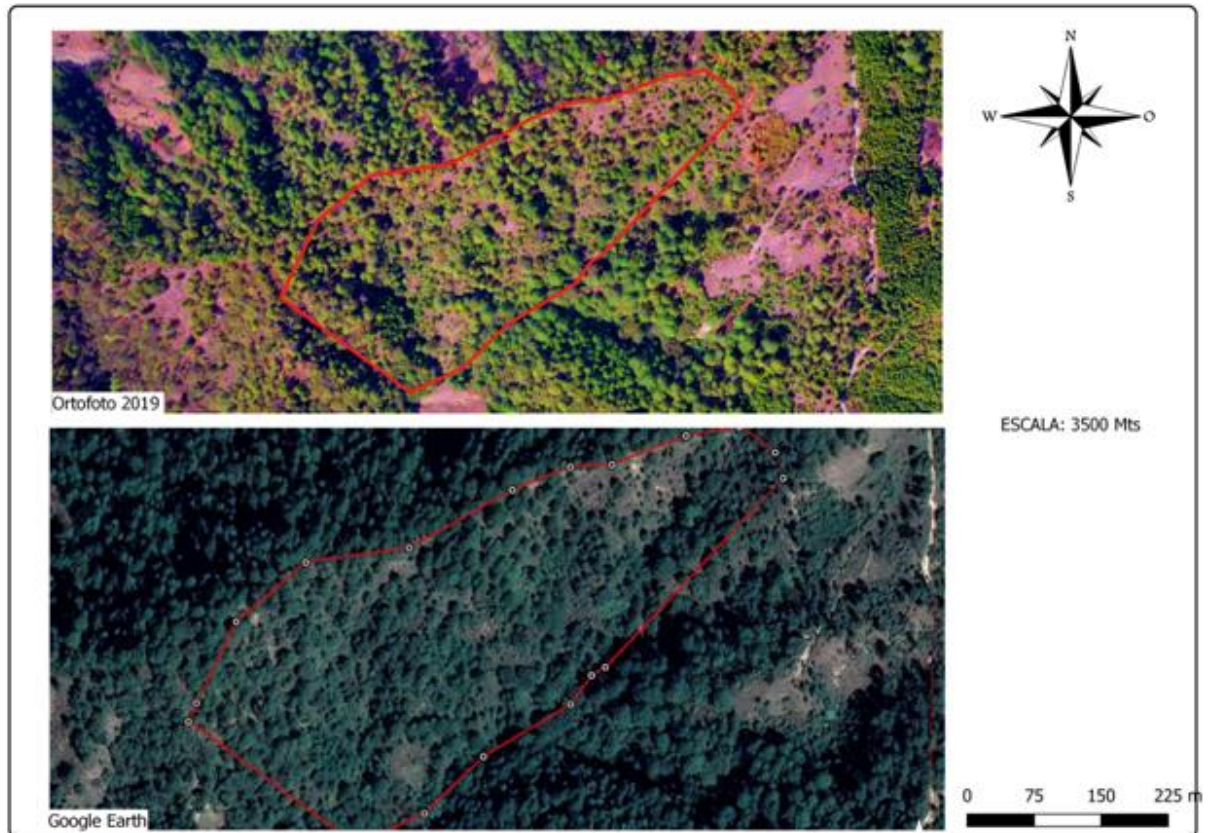


Fuente: Elaboración Propia

Figura 11. Proyecto de protección en aldea Tierra Blanca, Chiquimula

- Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con Google Earth.

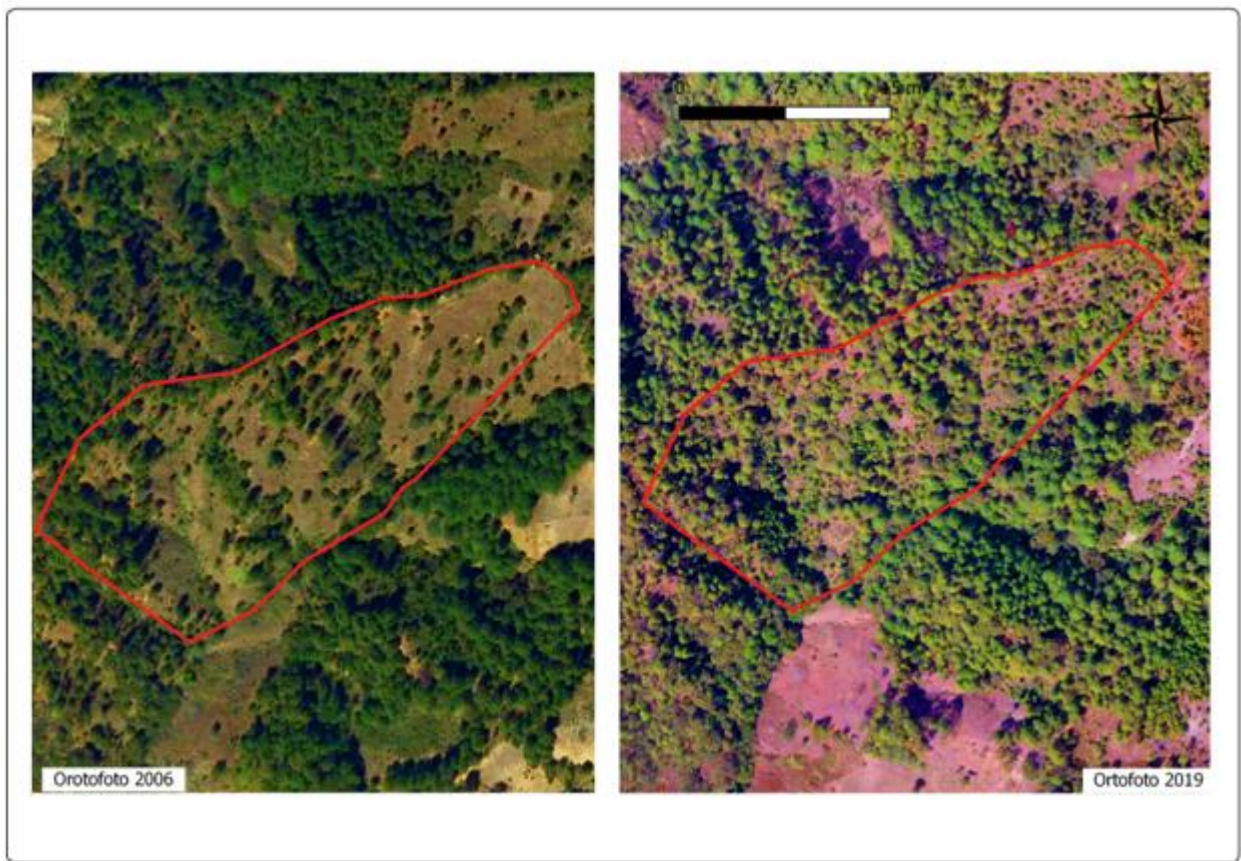
La siguiente figura muestra en la actualidad el bosque de protección utilizando las fotografías aéreas, comparada con la plataforma de Google Earth.



Fuente: Elaboración Propia
Figura 12. Análisis de cobertura entre ortofoto 2019 y Google earth pro

- Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con ortofoto 2006.

La figura 13, muestra los cambios que se han dado durante los últimos 13 años en el proyecto de protección y la vegetación que posee actualmente, se observa el estado en el cual se encuentra el bosque.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Comparación de fotografías aéreas y ortofotos 2006

En el cuadro 2, se expone la aplicabilidad del VANT en los bosques de protección.

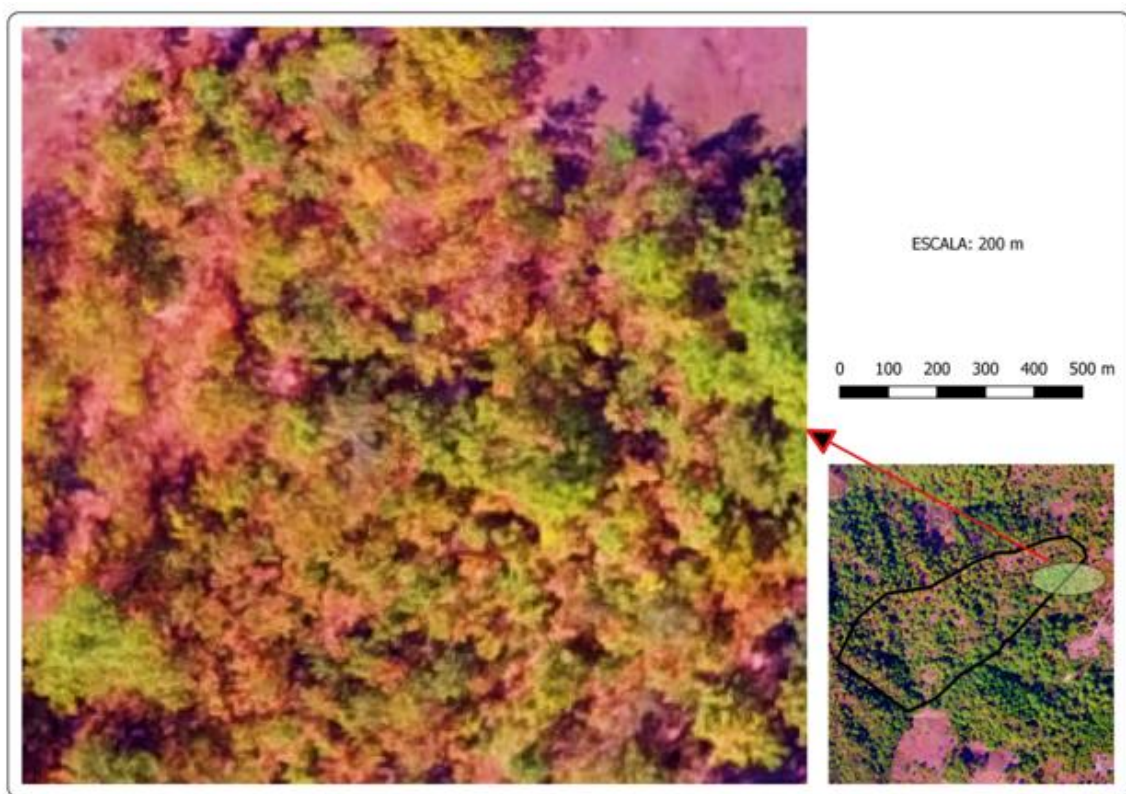
Cuadro 2. Características identificables en bosques de protección

CARACTERÍSTICAS IDENTIFICABLES EN EL BOSQUE DE PROTECCIÓN Y SUS ACTIVIDADES DE PROTECCIÓN	
Se puede identificar	No se puede identificar
Si existe regeneración natural	Sin embargo, en un bosque denso no se puede apreciar la ronda.
Ronda corta fuego de manera parcial en bosques ralos como el evaluado.	
Daños en la plantación: identificable perfectamente densidad de bosque daños por incendios o plaga de gorgojo.	Información dasométrica (Altura, DAP ³).
Se puede evaluar la densidad por medio de parcelas circulares y rectangulares.	
Existencia de cultivos dentro del bosque	No puede establecerse la densidad de la regeneración natural.
Claros	

³ Diámetro al Altura del Pecho

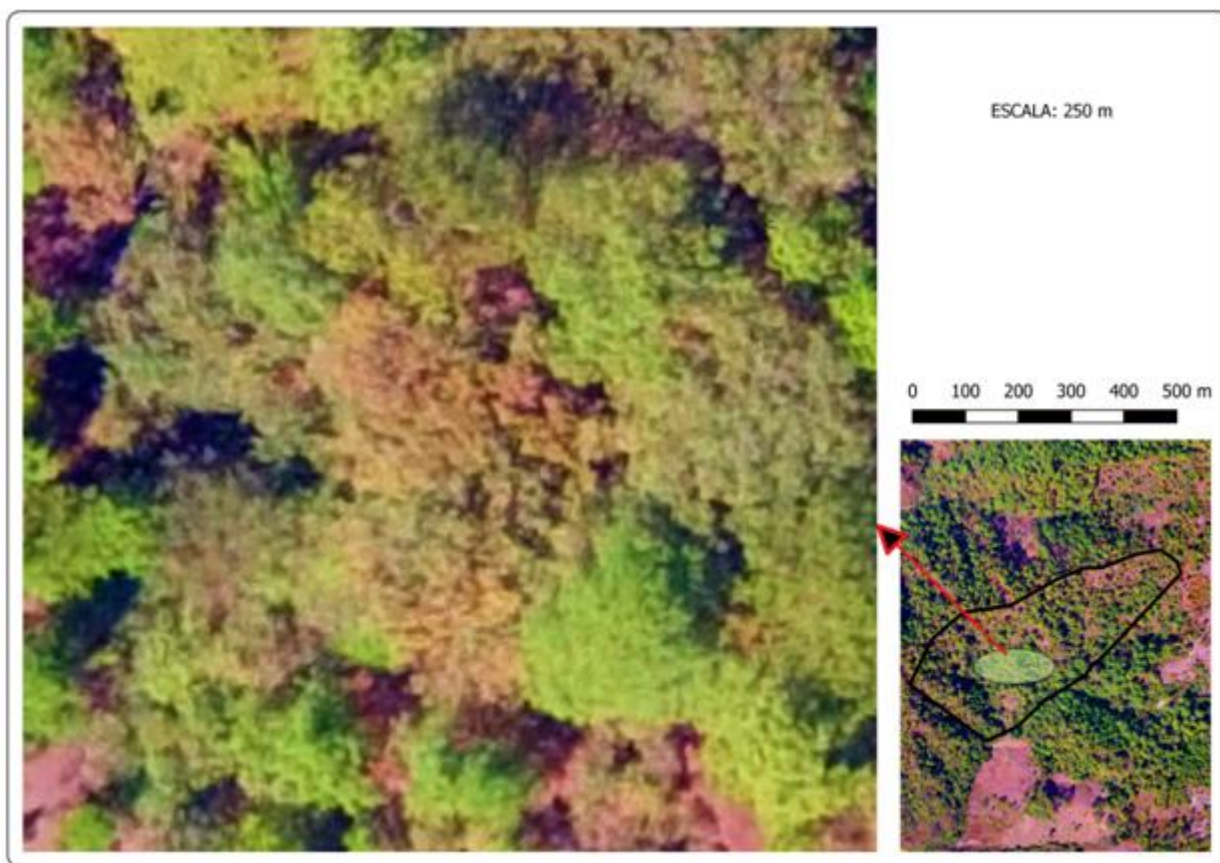
- Variación de coloración del bosque

En la figura 14, se observan variaciones de color asertivas, lo que indica que existe daños en el bosque; la diferencia entre una plaga de gorgojo (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) o daño por incendio debido a la tonalidad de colores, si fuese incendio se notaría el suelo negro y el follaje de negro a rojizo, en el gorgojo no se notarían variaciones en el color del suelo solamente en el follaje.



Fuente: Elaboración propia
Figura 14. Variación de coloración del bosque.

En el caso del gorgojo existen fases: durante la fase 1, se notarían tonalidades de verde claro a amarillo, en la fase 2, se notarían variaciones de amarillo en el mismo individuo, durante la fase 3, se notaría de color café como en la figura 15.



Fuente: Elaboración propia
Figura 15. Individuo con follaje café lo que señala daño

- Muestreo de densidad de Bosque

Para establecer la densidad del bosque en campo se realizan parcelas; se seleccionó un área determinada del bosque para establecer las parcelas para medir la cantidad de individuos por hectárea como se muestra en las figuras 16 y 17.

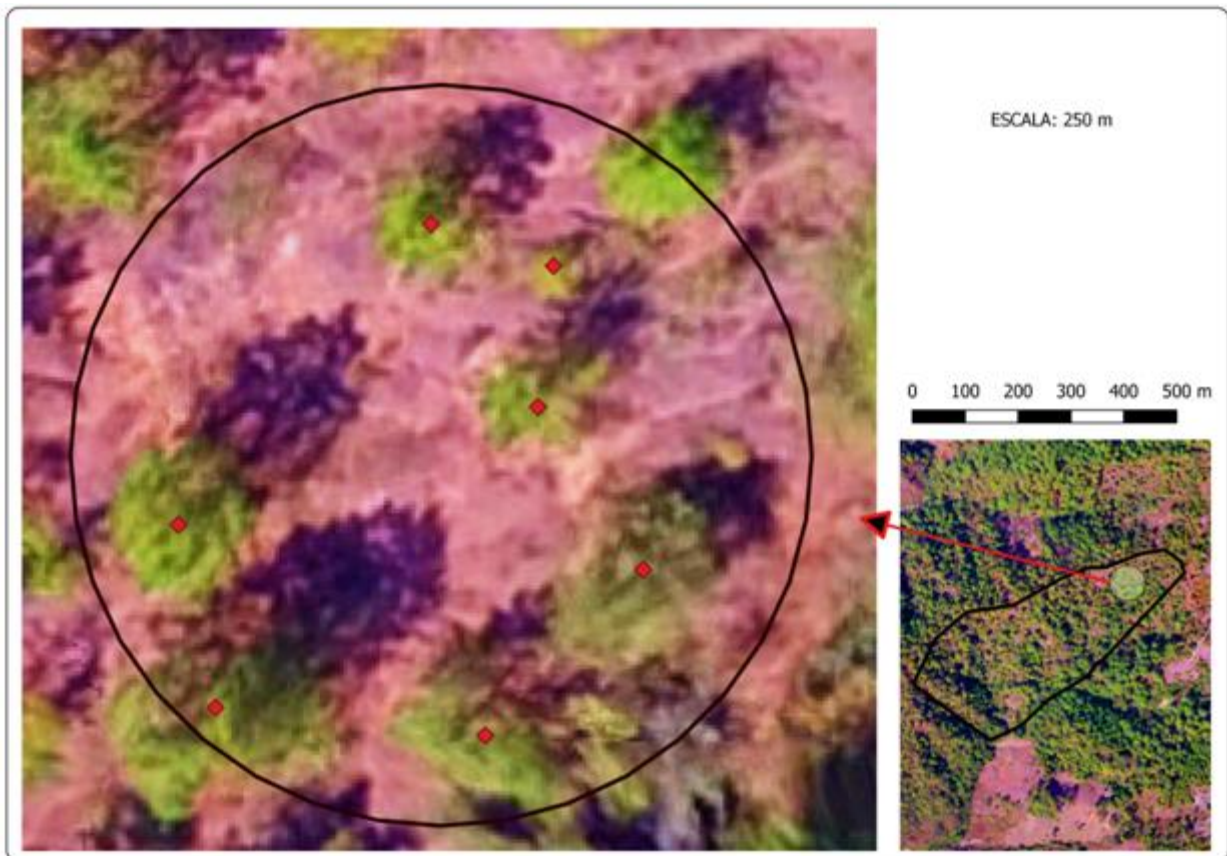
- **Parcela circular**

En la figura 16 se muestran 7 plantas dentro de la parcela. Por lo que se procede a realizar una regla de tres, para definir densidad en este caso hay 140 árboles en una hectárea.

500 m___7 plantas

10000 m___x?

$(10000 \times 7) / 500 = 140$



Fuente: Elaboración propia
Figura 16. Individuos dentro de parcela circular

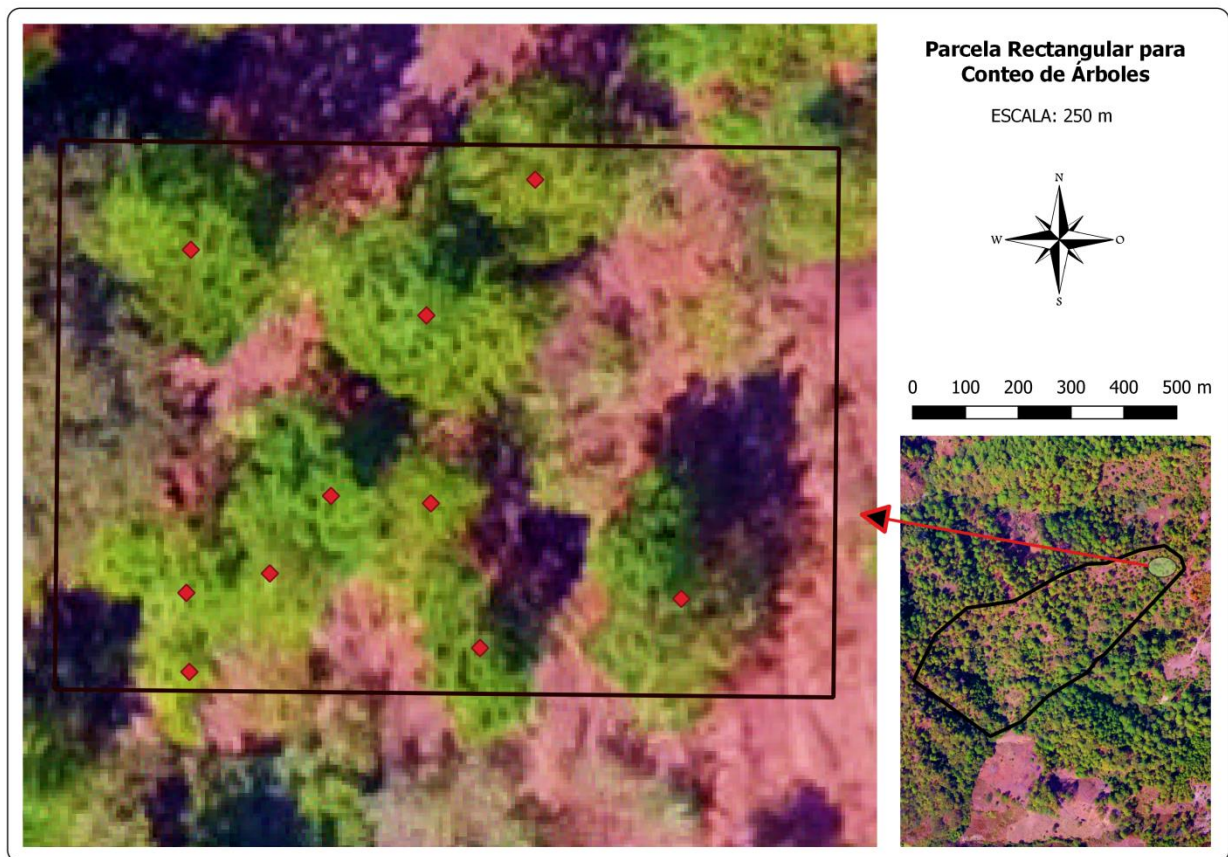
- **Parcela rectangular**

En la figura 17 se muestran 10 plantas dentro de la parcela rectangular. Por lo que se procede a realizar una regla de tres para definir densidad del área, en este caso se determinó que en una hectárea se tienen 200 árboles.

500 m___10 plantas

10000m___x?

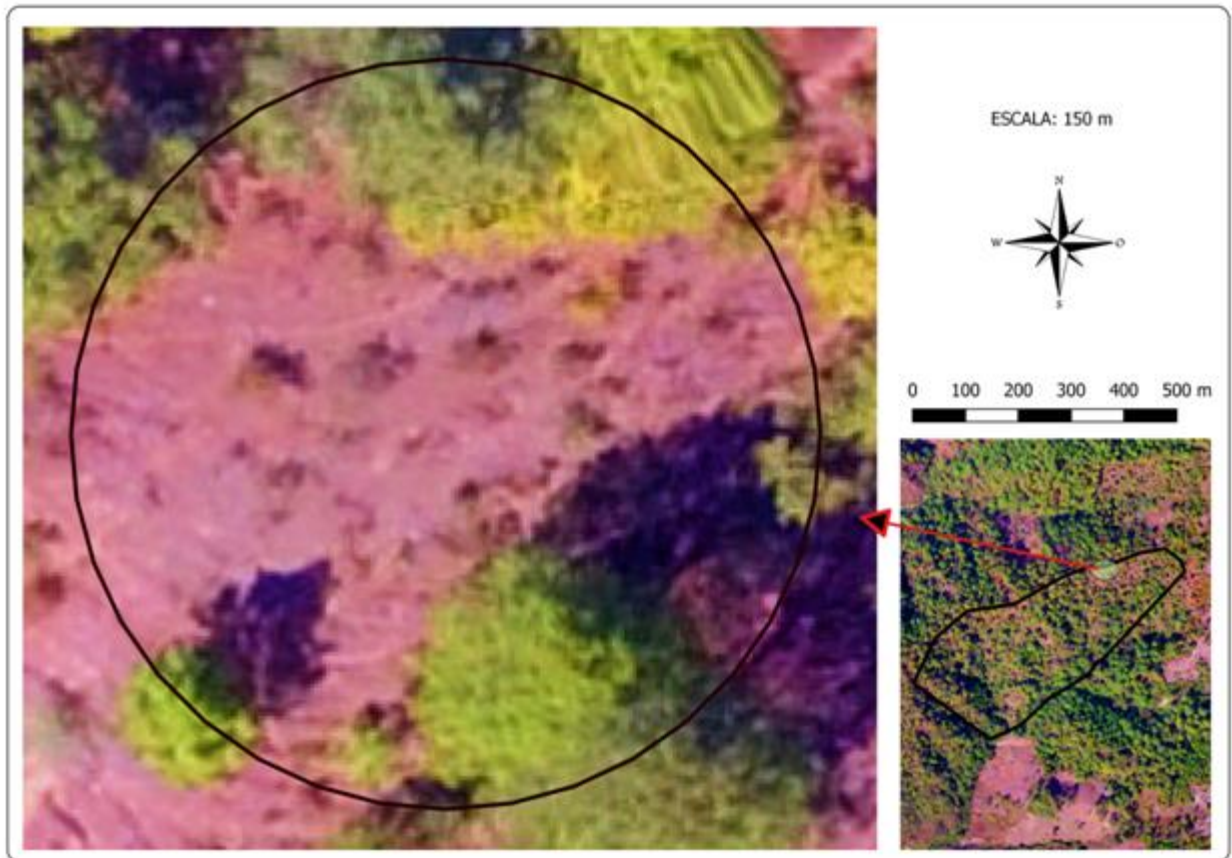
$(10000 \times 10) / 500 = 200$ plantas



Fuente: Elaboración propia
Figura 17. Individuos dentro de parcela rectangular

Con base a lo expuesto se determinó que se pueden evaluar la densidad pero no el inventario del proyecto (altura y DAP).

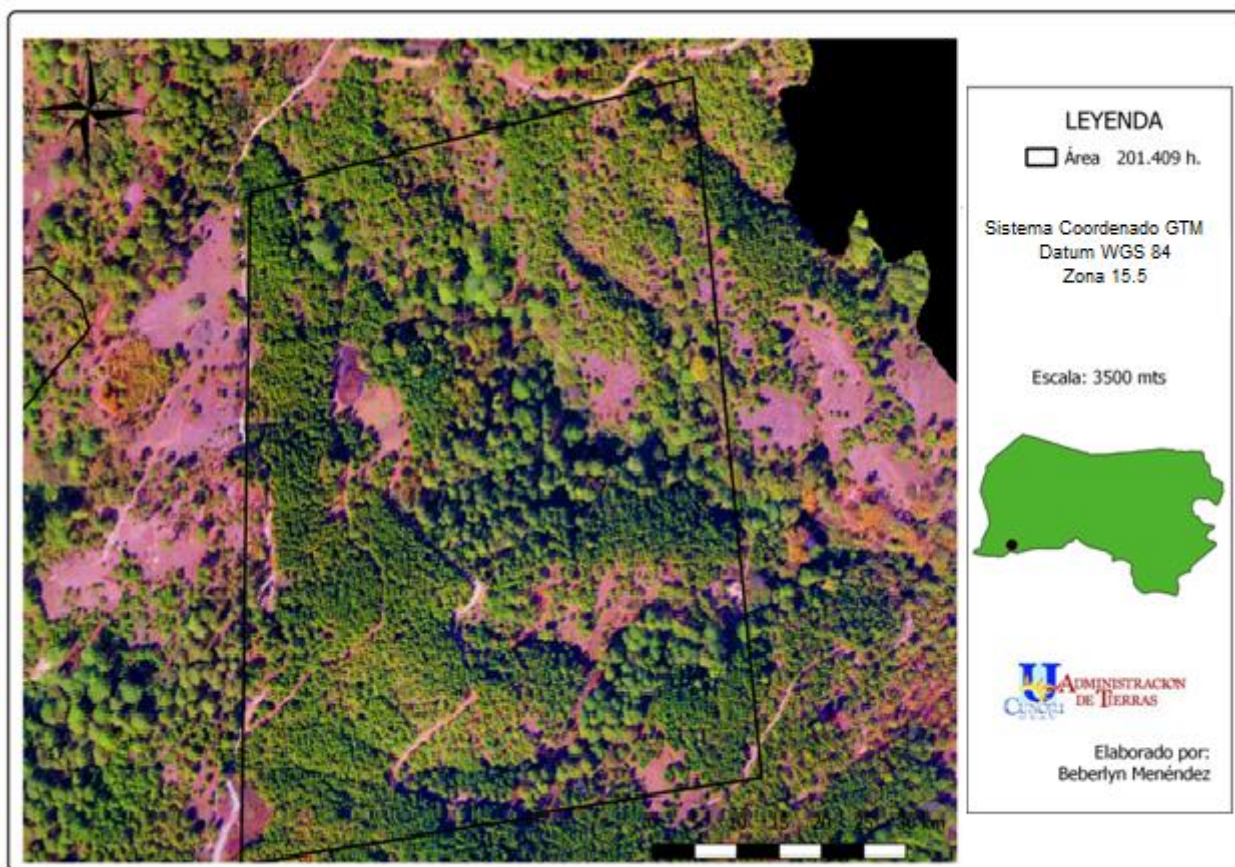
- Puede identificarse la regeneración natural, sin embargo, no es posible definir la densidad, como se muestra en la figura 18.



Fuente: Elaboración propia
Figura 18. Regeneración natural

b. Plantación forestal

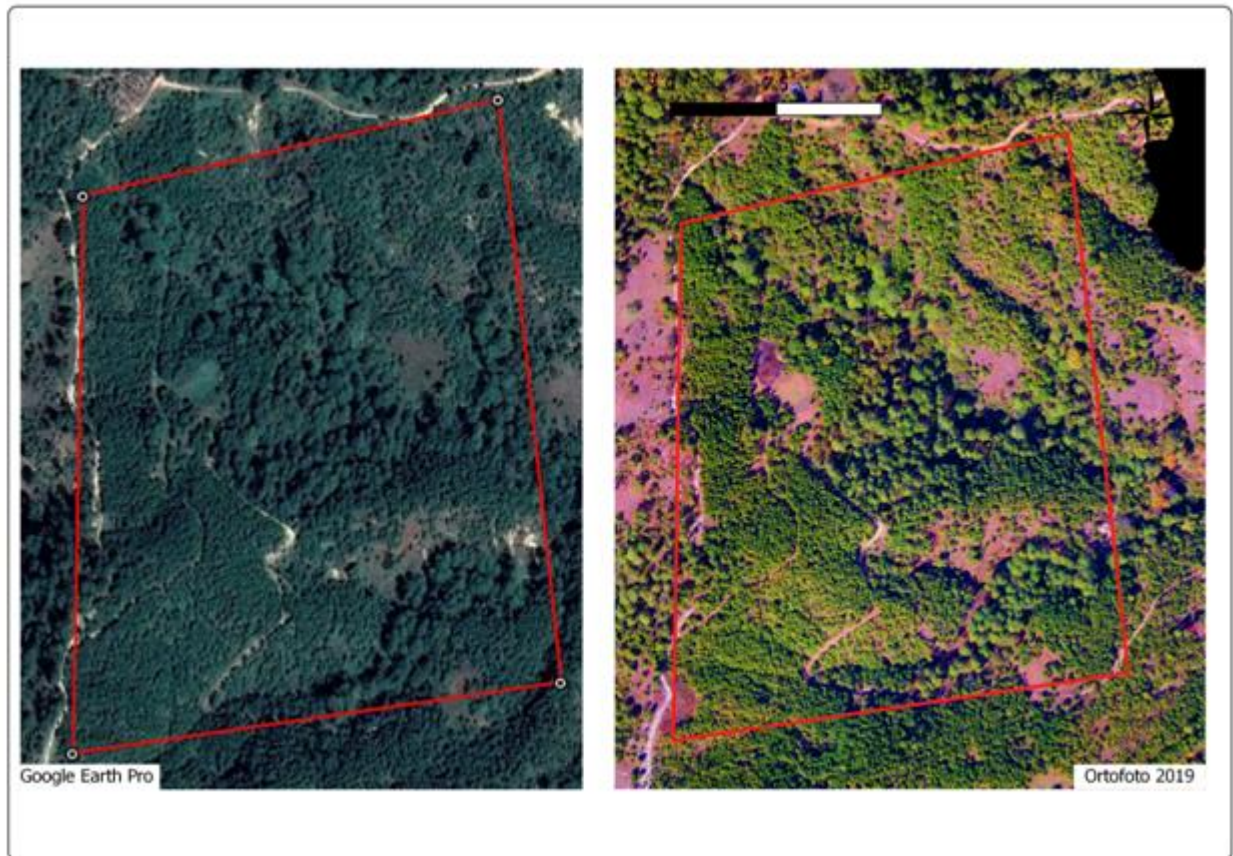
La plantación para el año 2019 tiene 8 años de edad. Es una plantación de pino (*Pinus oocarpa*). En la figura 19, se muestra la forma del polígono del proyecto sobre el mosaico obtenido de las imágenes tomadas con el VANT.



Fuente: Elaboración propia
Figura 19. Proyecto de plantación en aldea Tierra Blanca, Chiquimula

- Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con Google Earth Pro

La diferencia entre la fotografía aérea comparada con Google earth muestra el estado actual de la plantación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con Google earth pro

- Análisis de cobertura de ortofoto 2019 y Ortofoto 2006

El análisis de cobertura de la figura 21, muestra los cambios que ha tenido durante los últimos 13 años el área, además de la regeneración de la plantación.



Fuente: Elaboración personal
Figura 21. Análisis de cobertura de ortofoto 2019 con ortofoto 2006

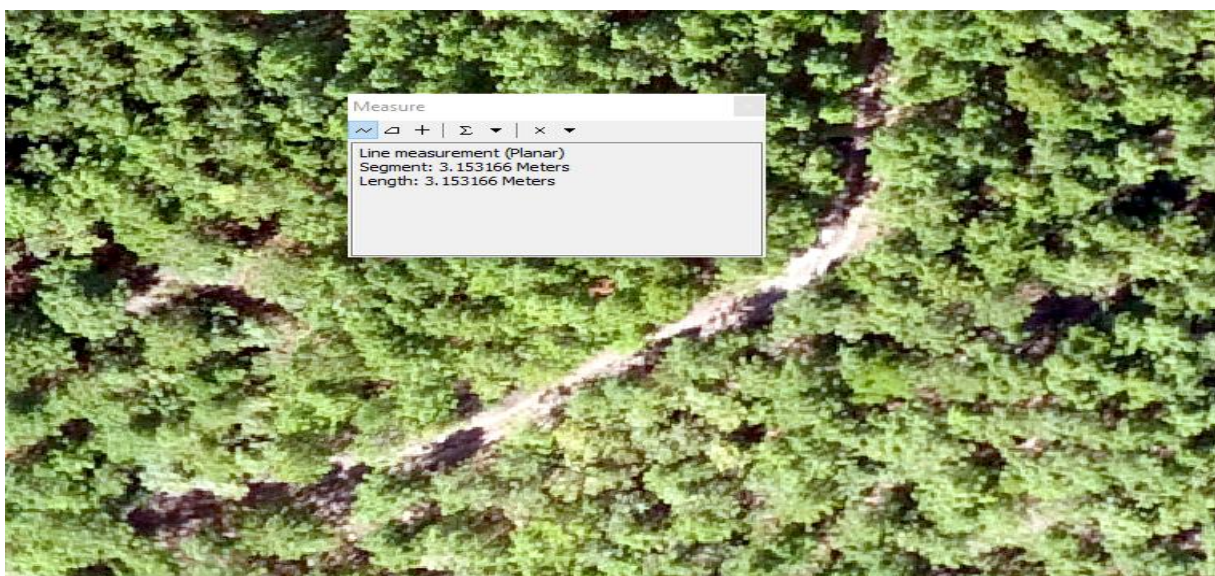
- En el cuadro 3, se detalla la aplicabilidad del uso de las imágenes obtenidas a través del vuelo fotogramétrico y lo que no puede realizarse con ellas en el proyecto de plantación

Cuadro 3. Características identificables en plantación forestal

CARACTERÍSTICAS IDENTIFICABLES EN PLANTACIONES FORESTALES Y ACTIVIDADES DE PROTECCIÓN	
Se puede identificar	No se puede identificar
Área plantada	
Si existen claros	
La ronda podría observarse, a excepción de las rondas intermedias	Información dasométrica
En etapa de establecimiento o de mantenimiento 2 y 3 podrían observarse rondas intermedias.	Especie difícil de identificar
La presencia de cultivos	No puede establecerse la densidad en plantaciones de mayor edad.
Presencia de plagas, enfermedades, incendios o tala	La diferenciar entre incendio y plaga no se establece.
Densidad inicial.	

En las plantaciones puede ser posible la visualización de las rondas corta fuego. Específicamente en bosques ralos. En el caso de la plantación evaluada, es un bosque denso, sin embargo, podría ser posible identificar la ronda del perímetro y/o rondas intermedias. La ronda establecida para los incentivos forestales debe tener 3 metros de ancho (observables en la imagen obtenida del VANT).

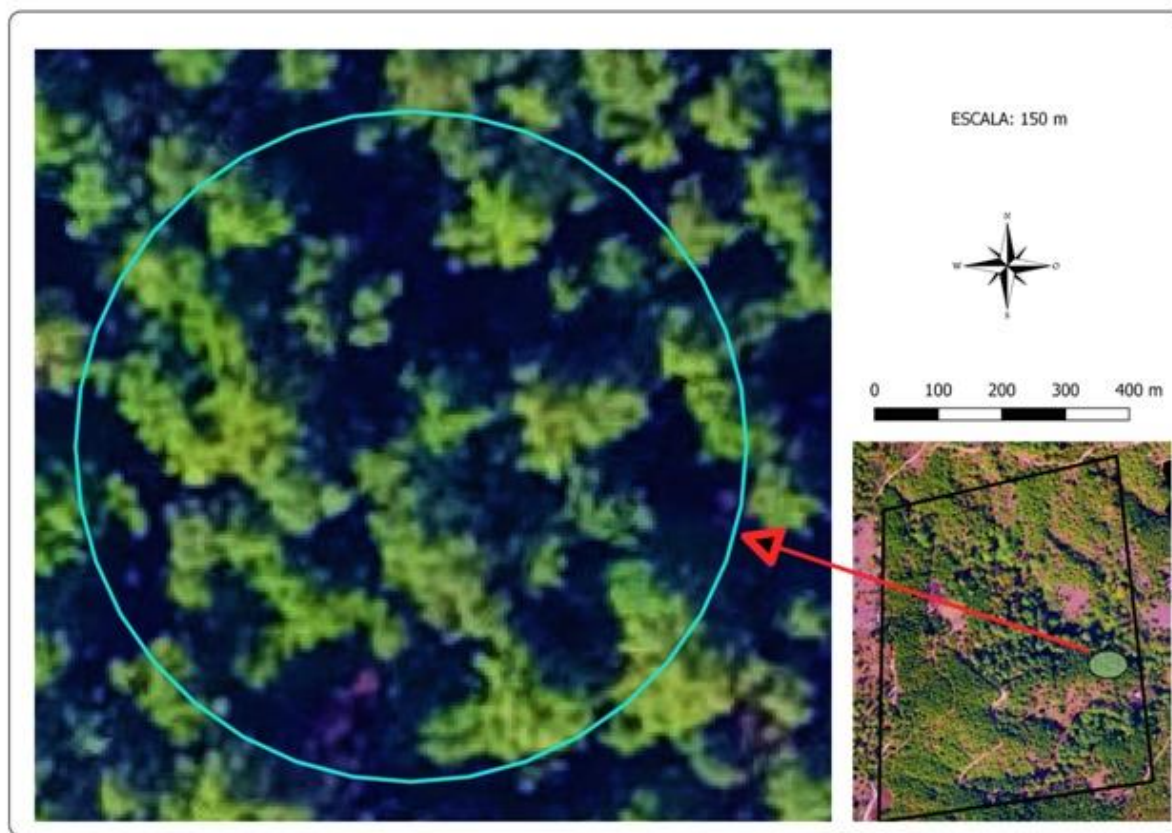
En la figura 22, se ilustran caminamientos como posibles rondas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22. Demostración de ronda corta fuego con los 3 metros de ancho

En la figura 23, se muestra que no es posible determinar la cantidad de individuos por rodal para determinar la cantidad de plantas por hectárea.



Fuente: Elaboración propia
Figura 23. Parcela redonda en plantación forestal de 8 años d edad

Con la evaluación de los tres proyectos, se determinó que la imagen puede ofrecer una panorámica de cómo se encuentra cada proyecto, pero no aspectos específicos necesarios para la toma de decisión en la certificación, a excepción de su utilización en monitoreo y aquellos casos en donde evidentemente se observa una irregularidad a simple vista; como falta de la cobertura, falta de regeneración, quemados, talados o plagas.

5.4 Análisis de los resultados

La aplicabilidad del VANT para la certificación de proyectos objeto de incentivos forestales destaca en casos especiales en donde los técnicos necesiten recorrer grandes distancias para evaluar un solo proyecto, principalmente si es un sistema agroforestal en la modalidad PINPEP con áreas menores a dos hectáreas. En estos sistemas se puede apreciar si existe cultivo agrícola y con imágenes tomadas a 50 metros podría identificarse la especie arbórea.

Para los proyectos de plantación y protección, su aplicabilidad es parcial, debido a que para certificar una plantación durante las etapas de establecimiento y mantenimiento se deben agregar la información dasométrica.

En el caso de los proyectos de protección es indispensable que el proyecto cuente con ronda corta fuego y en bosques con alta densidad no es observable la ronda.

Para casos especiales, el empleo del VANT puede ser aplicable como un apoyo a la certificación, sin embargo no reduciría tiempo ni costos para llegar a la ubicación de los proyectos y de su evaluación, solo fortalece la evaluación.

Es útil para el análisis de cobertura forestal, refleja aumento y estabilidad del sistema agroforestal y los proyectos de protección y plantación.

No se aconseja emplear de manera manual el dron, puesto que si se perdiera señal encontrarlo sería un proceso dificultoso y que resultaría en pérdida de tiempo y hasta riesgo si este cayera en una zona de difícil acceso, por lo que su empleo idóneo recaería en emplearlo exclusivamente con rutas de vuelo previamente establecidas.

VI. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron fotografías aéreas a través de un vuelo programado a 230 metros de altura en el proyecto de plantación y protección, permitiendo el análisis de estudio moderado de 210 hectáreas, las cuales fueron visualizadas en 175 fotografías con un traslape entre fotografía del 70% sobre el área, para identificar características cualitativas y cuantitativas de los proyectos de certificación.
- Se obtuvieron fotografías aéreas a través de un vuelo programado a 230 metros de altura en el proyecto de sistema agroforestal, permitiendo el análisis de estudio de 0.3179 hectáreas, las cuales fueron visualizadas en 23 fotografías con un traslape entre fotografía del 70% sobre el área, para identificar características cualitativas y cuantitativas de los proyectos de certificación.
- El uso del Vant para la certificación, es aplicable en caso en donde se necesite recorrer grandes distancias, permite certificar sistemas agroforestales y plantaciones en la etapa del establecimiento, ya que reduce tiempo y costos.
- En proyectos de plantación y protección, su aplicabilidad es parcial, debido a que se necesita información dasométrica, lo que implica llegar al lugar del proyecto y evaluar a los individuos; en casos especiales puede servir como apoyo, pero no reduciría tiempo ni costos.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar vuelos a 50 a 75 metros de altura para la evaluación de sistemas agroforestales y en plantaciones jóvenes, de esta manera, puede ser posible la identificación de las especies arbóreas y cultivos agrícolas. En proyectos de plantación y protección cuyos individuos sean adultos, emplear altura mínima de 150 metros tomando en cuenta el punto más alto del terreno.
- Emplear el uso de VANTs, para la certificación de proyectos agroforestales plantaciones y protección que se encuentren alejadas de otros y que sean de difícil acceso, además, se sugiere emplear los VANT como apoyo en la certificación de proyectos de protección y plantación en casos especiales donde se ponga en riesgo la integridad de los certificadores o existan áreas difíciles de acceder.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bonanno, S; Gonzalez, N; Iaccarino, F. 2014. Uso de tecnología dron para controlar campos agrícolas (en línea). Buenos Aires, Argentina, UADE, Facultad de Administración de Negocios. 112 p. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/2482/Bonanno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Braulio Vite, CI. 2005. Principios básicos de la fotogrametría actual (en línea). México, IPN, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. 150 p. Consultado 1 oct. 2018. Disponible en https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/1458/156_2005_ESIA-ZAC_SUPERIOR_braulio_vite.pdf?sequence=1
- Catalán Armas, SM, Ávila Mora, MA; Quezada Aguilar, ML. 2017. Determinación de la degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados (en línea). Guatemala, USAC; DIGI. 25 p. Consultado 15 Oct. 2018. Disponible en: <http://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puiah/INF-2017-11.pdf>
- Congreso de la república de Guatemala. 2010. Ley de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierras de vocación forestal o agroforestal PINPEP: decreto no. 51-2010. Guatemala, CENADOJ. 7 p. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en: https://thereddesk.org/sites/default/files/d051-2010_ley_pinpep.pdf.
- Congreso de la república de Guatemala. 2016. Decreto número 2-2015 ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala -PROBOSQUE- (en línea). Guatemala, INAB. 61 p. Consultado 26 sep. 2018. Disponible en: https://www.undp.org/content/dam/guatemala/docs/prodocs/undp_gt_probosque.pdf.

- Evans, K. 2015. Drones: una opción de bajo costos para el monitoreo forestal (en línea, sitio web). Perú, Los Bosques en las Noticias. Consultado el 15 oct. 2018. Disponible en: <https://forestsnews.cifor.org/32154/drones-una-opcion-de-bajo-costo-para-el-monitoreo-forestal?fnl=es>
- INAB (Instituto Nacional de Bosque). 2017. Plan operativo anual 2017 reprogramando (en línea). Guatemala. 37 p. Consultado 26 sep. 2018. Disponible en <http://186.151.231.170/inab/images/planeacionestrategica/Plan%20Operativo%202017.pdf>
- INAB (Instituto Nacional de Bosque); CONAP (Consejo de Áreas Protegidas). 2015. Mapa forestal por tipo y subtipo de bosque, 2012, Guatemala: informe técnico (en línea). Guatemala, INAB-CONAP. 26 p. Consultado 26 oct. 2018. Disponible en http://sifgua.org.gt/Documentos/Cobertura%20Forestal/Cobertura%202012/Informe_de_Cobertura_Forestal_20_julio_15.pdf
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2010. Propuesta de procedimientos para el establecimiento y seguimiento de parcelas permanentes de medición forestal en plantaciones beneficiarias del PINFOR (en línea). Guatemala, INAB. 34p. Consultado 26 oct. 2018. Disponible en http://ppm.inab.gob.gt/docs/metodologia_ppm_plantaciones.pdf
- MINECO (Ministerio de Economía). 2017. Perfil departamental Chiquimula (en línea). Guatemala. 16 p. Consultado 01 jul. 2019. Disponible en <http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/chiquimula.pdf>
- Morales Serna, A; Peña López; RS. 2010. La fotogrametría aplicada al catastro (en línea). Tesis Lic. México, IPN, Escuela de Ingeniería y Arquitectura. 150 p. Consultado 1 oct. 2018. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9014/214.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mozo y Tenorio, VM. 2009. Restituidores fotogramétricos en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (en línea). Tesis Lic. México, UNAM, Facultad de Ingeniería. 166 p. Consultado 27 sep. 2018. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1098/Tesis.pdf?sequence=1>
- Municipalidad de San Juan Ermita. 2018. Memoria de labores 2018 (en línea, sitio web). San Juan Ermita, Chiquimula, Guatemala. Consultado 01 jul. 2019. Disponible en <http://www.munisanjuanermita.com/2019/01/memoria-de-labores-ano-2018.html>
- Ojeda Bustamante, W; Flores Velázquez, J; Ontiveros Capurata, RE. 2016. Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico (en línea). México, IMTA; SEMARNAT. 430 p. Consultado 27 sep. 2018. Disponible en: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/uso-y-manejo-de-drones.pdf
- Pacheco, A; CE; Pozzobon B; EN. 2011. Manual de ejercicios de laboratorio: fotogrametría y fotointerpretación (en línea). Mérida, Venezuela, CODEPRE. 88p. (Colección textos universitarios). Consultado 27 sep. 2018. Disponible en <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/librose/pva/Libros%20de%20PVA%20para%20libro%20digital/Manual%20fotogrametria.pdf>
- Quirós Rosado, E. 2014. Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil (en línea). Cáceres, España, Universidad de Extremadura. 139 p. Consultado 26 sep. 2018. Disponible en: https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametria_9788469713174_0.pdf
- Saní Saní, JC. 2015. Vehículos aéreos no tripulados -uav para la elaboración de cartografía escalas grandes referidas al marco de referencia SIRGAS-Ecuador (en línea). Tesis Lic. Sangolquí, Ecuador, ESPE. 98 p. Consultado 27 sep. 2018.

Disponible en: http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10784/T-ESPE_049085.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santamaría Padilla, LÁ. 2014. Desarrollo de un sistema inteligente difuso para apoyar el despegue de aviones no tripulados (en línea). Tesis Lic. México, UNAM, Facultad de Ingeniería. 100 p. Consultado 27 sep. 2018. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3724/TESIS.pdf?sequence=1>

Santos Clavero, D. 2014. Fotogrametría usando plataforma aérea UAV (Unmanned Aerial Vehicle) (en línea). Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya. 77 p. Consultado 27 sep. 2018. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/41806759.pdf>.

SIFGUA (Sistema de Información Forestal de Guatemala). 2008. Programa de Incentivos Forestales -PINFOR- (en línea, sitio web). Guatemala. Consultado 26 sep. 2018. Disponible en: <http://www.sifgua.org.gt/Pinfor.aspx>

Tacca Qquelca, H. 2015. Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional (en línea). Tesis Lic. Puno, Perú, UNA, Facultad de Ciencias Agrarias. 124 p. Consultado 27 sep. 2018. Disponible en http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3882/Hilario_Tacca_Qquelca.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Zapata Ocampo, OJ. 2003. Fundamento de fotogrametría para imágenes de contacto y digitales: aproximación a pedagogías intensivas (en línea). Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. 327 p. Consultado 3 nov. 2018. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/12562/6/70074527.2003.pdf>

