

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a seated man, likely a saint or scholar, surrounded by various symbols including a crown, a lion, and a cross. The Latin text "ACADEMIA MATHEMATICA CAROLINA CONSPICUA" is inscribed around the perimeter of the seal.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA
CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa*
Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A.,
DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO NACIONAL DE
BOSQUES -INAB – GUATEMALA, C.A.**

RODRIGO ANTONIO MOLINA DACARET

GUATEMALA, JULIO DE 2021

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA
CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa*
Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A.,
DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO NACIONAL DE
BOSQUES -INAB – GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR:

RODRIGO ANTONIO MOLINA DACARET

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, JULIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR EN FUNCIONES
M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL V	Br. Sergio Wladimir González Paz
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Aroldo Reyes Sanabria

GUATEMALA, JULIO DE 2021

Guatemala, julio de 2021

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa* Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A., DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB – GUATEMALA, C.A.”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



RODRIGO ANTONIO MOLINA DACARET

ACTO QUE DEDICO

A:

- Mis padres** Jandira Dacaret y Antonio Molina, por sus enseñanzas, amor y apoyo incondicional durante toda mi vida.
- Mi novia** Dahirin Vasquez, quien ha sido mi compañera de vida en las buenas y en las malas, y me ha brindado su amor y apoyo en todo momento.
- Mi familia** Por acompañarme siempre durante todo el proceso.
- Amigos** Manuel García, Camilo Rivera y Enrique Arroyo, por ser como mis hermanos, y a mis demás amigos por el cariño y buenos momentos que hemos tenido juntos.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mi Supervisor: Ing. Agr. Edwin Cano por su apoyo, sugerencias y aportes durante el proceso de EPS.

Mi Asesor: Ing. Agr. Waldemar Nufio por su valiosa asesoría y su aporte en las correcciones de la investigación.

Mi Evaluador: Ing. Agr. Willy Quintana por su aporte en las correcciones de este documento.

Quienes me asesoraron: Ing. David Mendieta por apoyarme en el proceso, e Ing. Carlos López Búcaro por asesorarme en la elaboración del documento de investigación.

Instituto Nacional de Bosques: por permitirme realizar mi EPS

Y a todas aquellas personas y entidades que me apoyaron durante mi Ejercicio Profesional Supervisado, facilitando la medición y toma de datos en campo, y compartiendo sus conocimientos para la elaboración de este documento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL DEPARTAMENTO DE MANEJO DE BOSQUES NATURALES DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES.....	1
1.1 Introducción.....	3
1.2 Marco Referencial	4
1.2.1 Estructura Organizacional	4
1.2.2 Funciones de cada puesto	4
1.2.3 Atribuciones y objetivos de Departamento de Manejo de Bosques Naturales	6
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos Específicos	8
1.4 Metodología.....	9
1.4.1 Reconocimiento del área de trabajo.....	9
1.4.2 Recopilación de información	9
1.4.3 Análisis de la información.....	10
1.4.4 Identificación y priorización de problemas.....	10
1.5 Resultados y análisis de resultados	10
1.5.1 Análisis FODA	11
1.5.2 Priorización de la problemática	12
1.6 Conclusiones.....	17
1.7 Recomendaciones.....	18
1.8 Bibliografía	19
1.9 Anexos	20

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE <i>Pinus oocarpa</i> Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A.....	23
2.1 INTRODUCCIÓN	25
2.2 MARCO TEÓRICO	26
2.2.1 Marco conceptual.....	26
2.2.2 Marco referencial	33
2.3 OBJETIVOS	44
2.3.1 Objetivo general.....	44
2.3.2 Objetivos específicos	44
2.4 HIPÓTESIS	45
2.5 METODOLOGÍA	46
2.5.1 Muestreo e identificación de la especie	46
2.5.2 Evaluación de los modelos matemáticos	49
2.5.3 Selección del modelo más adecuado.....	51
2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
2.6.1 Muestreo	52
2.6.2 Evaluación de los modelos matemáticos	56
2.6.3 Selección del modelo más adecuado.....	64
2.7 CONCLUSIONES	67
2.8 RECOMENDACIONES	68
2.9 BIBLIOGRAFÍA	69
2.10 ANEXOS.....	72

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO III. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE MANEJO DE BOSQUES NATURALES, DE LA DIRECCIÓN DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE BOSQUES, DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES.....	75
3.1 Presentación	77
3.2 Servicio 1: Revisión y corrección de polígonos de fincas bajo licencia para el sistema SIFGUA	78
3.2.1 Objetivos	78
3.2.2 Metodología.....	78
3.2.3 Resultados	81
3.2.4 Evaluación.....	85
3.3 Servicio 2: Revisión y corrección de polígonos de licencias de producción	86
3.3.1 Objetivos	86
3.3.2 Metodología.....	86
3.3.3 Evaluación.....	90
3.4 Servicio 3: Revisión y corrección de polígonos de POAs	91
3.4.1 Objetivos	91
3.4.2 Metodología.....	91
3.4.3 Resultados	93
3.4.4 Evaluación.....	97
3.5 Servicio 4: Actualización de investigaciones para estimación de volumen de árboles individuales de coníferas en Guatemala	98
3.5.1 Objetivos	98
3.5.2 Metodología.....	99

CONTENIDO	PÁGINA
3.5.3 Resultados	101
3.5.4 Evaluación	105

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1: Organigrama del departamento de Manejo de Bosques Naturales.....	4
Figura 2. Medición de la longitud de las secciones para la cubicación de Pinus oocarpa Schiede utilizando cinta métrica.	47
Figura 3. Medición de diámetros los fustes de Pinus oocarpa Schiede en San Raymundo.	48
Figura 4. Uso de cinta diamétrica para la medición de diámetros árboles de Pinus oocarpa Schiede.....	48
Figura 5. Medición del grosor de la corteza de árboles de Pino oocarpa en cada sección utilizando medidor de corteza.	49
Figura 6. Mapa de puntos en los que se realizaron las cubicaciones de los árboles de Pinus oocarpa Schiede muestreados para la investigación.....	53
Figura 7. Distribución de árboles por clase diamétrica.....	56
Figura 8. Comparación en la estimación de volumen entre las ecuaciones evaluadas.....	58
Figura 9. Gráfico de dispersión de residuos del ANDEVA realizado a los árboles muestreados.	59
Figura 10. Gráfico de cuantiles de los residuos del ANDEVA realizado a los árboles muestreados.	60
Figura 11A. Boleta de campo utilizada para la cubicación de árboles individuales de Pinus oocarpa Schiede.....	72
Figura 12. Vista de puntos erróneos. a) vista alejada b) vista de cerca	81
Figura 13. Corrección de coordenadas en casos evidentes.....	82
Figura 14. Polígonos de fincas corregidos e identificados	83
Figura 15. Acercamiento de polígonos de fincas corregidos (en verde), por corregir (en rojo) y por revisar (en azul).....	84

FIGURA	PÁGINA
Figura 16. Cuadro con puntos para revisar en expediente	85
Figura 17: Polígonos de licencias de producción corregidos e identificados	89
Figura 18. Vista cercana de polígonos de licencias de producción.....	90
Figura 19. Puntos de POAs previos a su corrección.....	94
Figura 20. Puntos de POAs después de las primeras fases	95
Figura 21. Cuadro mostrando los distintos indicadores para identificar y filtrar los errores	96
Figura 22. Muestra de cuadro resumen de polígonos de POAs para su revisión en expediente.....	97

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1: Análisis FODA para realización del diagnóstico del departamento de Manejo de Bosques Naturales	11
Cuadro 2: Matriz de priorización de problemas (Debilidades)	13
Cuadro 3: Debilidades priorizadas	14
Cuadro 4: Matriz de priorización de problemas (Amenazas).....	15
Cuadro 5: Amenazas priorizadas	16
Cuadro 6. Volúmenes y ubicación de árboles muestreados.....	54
Cuadro 7. Coeficiente de determinación y cuadrados medios del error de las ecuaciones	57
Cuadro 8. Prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los residuos del ANDEVA.....	60
Cuadro 9. ANDEVA para los árboles muestreados a nivel general.....	61
Cuadro 10. ANDEVA para los árboles muestreados en el Bosque Húmedo Subtropical Templado.....	63
Cuadro 11. ANDEVA para los árboles muestreados en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical.....	63
Cuadro 12. Prueba post-ANDEVA de Dunnett para los árboles muestreados a nivel general.....	64
Cuadro 13. Prueba post-ANDEVA de Scott-Knott para los árboles muestreados a nivel general.....	65
Cuadro 14. Prueba de Scott-Knott para los árboles muestreados en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado.	65
Cuadro 15. Prueba de Scott-Knott para los árboles muestreados en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical.	66

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 16A. Tabla de volumen total para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede elaborada por Roland Peters (Peters, 1977)	73
Cuadro 17: Priorización de la especie a evaluar	100
Cuadro 18: Datos con base en porcentaje total de pináceas.....	101
Cuadro 19: Muestra de base de datos de investigaciones.....	102
Cuadro 20 Muestra del cuadro resumen para ecuaciones de volumen	104

EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa* Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A., DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB – GUATEMALA, C.A

RESUMEN

En este documento se presenta el trabajo realizado en el Instituto Nacional de Bosques - INAB- durante el Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El documento se integra por tres capítulos que corresponden al diagnóstico, la investigación, y los servicios realizados.

El diagnóstico fue la primera etapa del EPS, en la cual se analizó la situación del departamento de Manejo de Bosques Naturales. La elaboración de este diagnóstico permitió familiarizarse con el área de trabajo y comprender su contexto y necesidades para así poder realizar un trabajo que se adapte y responda a estas necesidades.

La investigación se basó en la necesidad del INAB de evaluar los modelos matemáticos existentes para la estimación de volumen de árboles en pie. Se escogió una de las especies de coníferas de mayor importancia para el país: *Pinus oocarpa* Schiede. Durante la investigación se muestrearon árboles en distintos puntos dentro del área de distribución natural de la especie, específicamente en Chinique, Purulhá, Granados, Jalapa, San Raymundo y Chinautla. A partir de estas cubicaciones, se realizaron análisis de varianza para determinar el modelo más adecuado

De forma simultánea a la investigación, se realizaron diversos servicios propuestos por la institución. Los principales servicios realizados se relacionan a la actualización y corrección de la base de datos de fincas, licencias forestales y POAs a través del uso de Sistemas de Información Geográfica.

CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL DEPARTAMENTO DE MANEJO DE BOSQUES NATURALES DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES



1.1 INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Bosques (INAB), creado a partir de la Ley Forestal (Decreto número 101-96), es una entidad estatal, descentralizada que funciona como un órgano de dirección y autoridad competente del Sector Público Agrícola en materia forestal. Entre sus objetivos está el incrementar la productividad de los bosques a través de su manejo racional y sostenido, para lo cual es de gran importancia el trabajo que se realiza en el departamento de Manejo de Bosques Naturales y en los demás departamentos la dirección de Manejo y Conservación de Bosques a la cual pertenece.

El departamento de Manejo de Bosques Naturales se encarga de fomentar el manejo sostenible y la protección de los bosques naturales del país, mientras se mantiene la capacidad de los bosques para generar bienes y servicios. Para todo esto debe asegurarse la generación de propuestas técnicas y prácticas en el manejo de los bosques en base a metodologías e información actualizada.

El diagnóstico del departamento permite comprender su contexto, para evaluar la necesidad de servicios e investigación que respondan a los objetivos del departamento y a las problemáticas encontradas.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Estructura Organizacional

A. Organigrama

A continuación, se presenta el organigrama del departamento de Manejo de Bosques Naturales.

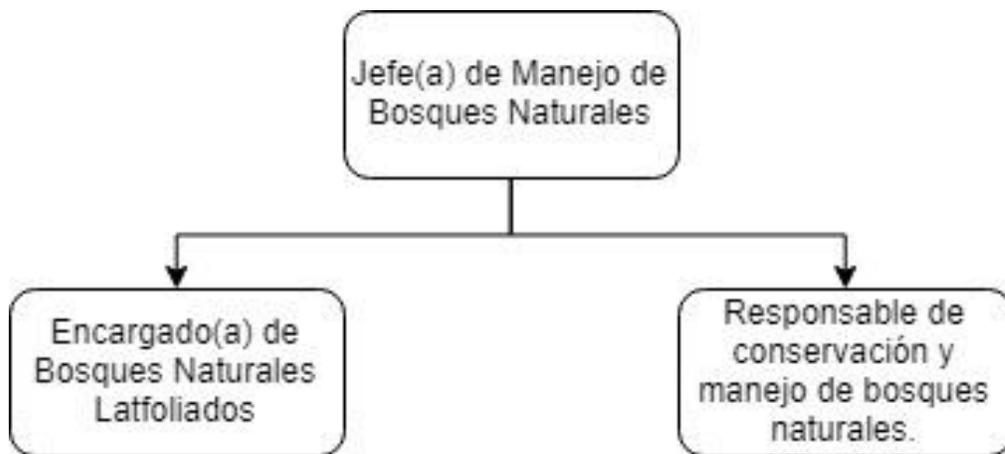


Figura 1: Organigrama del departamento de Manejo de Bosques Naturales

1.2.2 Funciones de cada puesto

A. Jefe de Departamento

- Planificar, organizar, coordinar, dirigir, evaluar y controlar las actividades que se desarrollan en la Jefatura a su cargo, orientadas a fortalecer los procesos, en forma técnica y profesional, tomando como base los objetivos y políticas institucionales, siendo responsable ante la Gerencia del buen desempeño de la misma.
- Fomentar el manejo sostenible de los bosques naturales del país.
- Fomentar la protección de cuencas hidrográficas y fuentes acuíferas.
- Preservar la capacidad del bosque para generar bienes y servicios.

- Proponer y formular propuestas técnicas y prácticas modernas en el manejo de los bosques naturales.
- Elaborar guías y manuales relacionados al buen uso del bosque natural.
- Coordinar actividades con la dirección, otros departamentos, programas, Regiones y Subregiones y otras entidades sobre los temas que competen al departamento.
- Elaboración, seguimiento y evaluación del Plan Operativo Anual del departamento bajo su responsabilidad.
- Apoyar en forma activa en la planificación de la Dirección de Manejo y Conservación de Bosques.
- Participar a requerimiento del/a Director/a, en la elaboración de instrumentos de planificación Institucional.
- Establecer y mantener relaciones de cooperación, con instancias relaciones con su quehacer tanto al interno como a lo externo del INAB.
- Resguardar los secretos técnicos, así como la información administrativa, técnica y de cualquier índole manteniendo la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la misma de acuerdo a la política de seguridad de la información establecida por la Gerencia del INAB.
- Promover la igualdad de género en las acciones del puesto que sean propias.
- Promover el trabajo institucional con pertinencia cultural, específicamente con Pueblos Indígenas.
- Otras actividades que le sean requeridas por su Jefe Inmediato Superior.

B. Encargado(a) de Manejo de Bosques Naturales de Latifoliados

- Apoyar en la formulación de los planes operativos anuales.
- Dar seguimiento para la implementación de instrumentos técnicos de manejo forestal en las distintas regiones del país.
- Generar instrumentos y herramientas para la aplicación en el tema de manejo de bosques naturales latifoliados.

- Promover acciones conjuntas para el desarrollo de capacidades en el tema de manejo forestal tanto para coníferas como para latifoliadas.
- Dar seguimiento y cumplimiento a las actividades planificadas en los planes operativos anuales.
- Elaborar informes requeridos a nivel institucional e interinstitucional sobre temas de interés relacionados con el puesto de trabajo.

C. Responsable de Manejo y Conservación de Bosques Naturales

- Desarrollar lineamientos técnicos orientados a fortalecer el manejo del bosque natural en los distintos ecosistemas forestales del país.
- Fomentar el manejo sostenible de los bosques naturales del país.
- Fortalecer las capacidades del personal técnico del INAB otros actores en para el uso adecuado de los lineamientos técnicos de manejo forestal.
- Generar propuestas para la reducción de tiempos en la resolución de licencias de manejo forestal.
- Dar seguimiento a la elaboración del Módulo de manejo Forestal Integrado al Sistema SEGEFOR (Bosques coníferos, mixtos y latifoliados)

1.2.3 Atribuciones y objetivos de Departamento de Manejo de Bosques Naturales

A. Objetivo General del Departamento

- Prevenir y reducir la deforestación, el avance de la frontera agrícola y el cambio de uso del suelo promoviendo el manejo sostenible de bosques naturales con fines de producción y protección.

B. Funciones del Departamento

A continuación, se presentan las funciones del departamento:

- Fomentar el manejo sostenible de los bosques naturales del país.
- Fomentar la protección de los bosques naturales existentes a través de incentivos.
Fomentar la protección de cuencas hidrográficas y fuentes acuíferas.
- Preservar la capacidad del bosque para generar bienes y servicios.
- Proponer y formular propuestas técnicas y prácticas modernas en el manejo de los bosques naturales.
- Establecer grupos comunitarios para que implementen técnicas modernas en el manejo de sus bosques naturales.
- Elaborar guías y manuales relacionados al buen uso del bosque natural.
- Capacitar a las comunidades sobre la importancia que tiene el manejo sostenible del bosque natural para que provea los medios de subsistencia.
- Coordinar actividades con la dirección, otros departamentos, programas, Regiones y subregiones y otras entidades sobre los temas que competen al departamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Describir la situación actual del departamento de Manejo de Bosques Naturales del Instituto Nacional de Bosques.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1 Identificar las principales fortalezas y oportunidades del departamento de Manejo de Bosques Naturales.
- 2 Identificar las principales debilidades y amenazas del departamento de Manejo de Bosques Naturales que afectan el cumplimiento de sus objetivos de funcionamiento.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Reconocimiento del área de trabajo

Se realizó un reconocimiento de la dirección de Manejo y Conservación de Bosques y los departamentos que la conforman para conocer las instalaciones, el personal técnico y administrativo y el trabajo que se realiza en los distintos departamentos.

1.4.2 Recopilación de información

Durante esta fase se buscó recopilar información relacionada a la estructura y función del departamento, el personal, los perfiles de puestos y los objetivos a cumplir.

A. Fuentes primarias

Se realizaron entrevistas al personal técnico y administrativo del departamento, con el fin de comprender el contexto y la situación actual del mismo. Se buscó principalmente conocer las investigaciones que se realizan en el departamento y el trabajo que se realiza.

B. Fuentes secundarias

Se consultaron distintas fuentes de información que permitan conocer mejor la organización institucional, los objetivos a cumplir, entre otras que permitan la realización del diagnóstico. Entre las fuentes consultadas se encuentran el plan estratégico institucional del INAB y el sitio web de la institución que contiene información sobre la estructura organizacional, entre otras cosas.

1.4.3 Análisis de la información

Habiendo recopilado la información necesaria sobre el departamento de Manejo de Bosques Naturales, se procedió a analizarla.

1.4.4 Identificación y priorización de problemas

En base al análisis de la información sobre el departamento de Manejo de Bosques Naturales, se identificaron y los problemas o necesidades principales del departamento.

1.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

De manera a analizar la información obtenida en el diagnóstico se realizó un cuadro de fortaleza, oportunidades, debilidades y amenazas –FODA.

1.5.1 Análisis FODA

Cuadro 1: Análisis FODA para realización del diagnóstico del departamento de Manejo de Bosques Naturales

	Fortalezas	Debilidades
FACTORES INTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> • Personal <ul style="list-style-type: none"> - Personal técnico calificado. - Personal cumple con perfil de puestos • Departamento <ul style="list-style-type: none"> - Cuentan con buena organización y planificación. - Existe una evaluación constante del cumplimiento de los objetivos del departamento. - Proyectos para mejorar la eficiencia del departamento (automatización en la entrega de licencias, creación de base de datos digital de áreas bajo licencia, entre otras.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Departamento <ul style="list-style-type: none"> - La mayoría del personal considera que no se cumplen por completo los objetivos del departamento. - No hay unanimidad en opinión sobre el cumplimiento de objetivos. - Poca generación de investigaciones relacionadas al manejo forestal. - Baja utilización y validación de investigaciones existentes. - Escaso equipo
	Oportunidades	Amenazas
FACTORES EXTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> - Apoyo de estudiantes practicantes. - Actualización de las investigaciones existentes. - Mejoras en la sistematización de los datos de licencias, POAs, etc. - Contratación de personal permanente de apoyo para la generación de instrumentos de aplicación en el tema de manejo forestal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de financiamiento para la ejecución de algunos proyectos. - El personal no es suficiente para cumplir con las funciones y objetivos del departamento. - Avance de frontera agrícola. - Algunas funciones no deberían ser atribuidas al departamento. - Escasa coordinación con otros departamentos relacionados al Manejo Forestal. - Tala ilegal

1.5.2 Priorización de la problemática

El departamento de Manejo de Bosques Naturales presenta muchas fortalezas, tanto relacionadas con la capacidad técnica del personal del departamento, como también con la planificación, organización y evaluación del cumplimiento de los objetivos del mismo. Además, actualmente existen distintas oportunidades para que el departamento pueda mejorar. Una de ellas es el apoyo de estudiantes practicantes, ya que son una ayuda en el cumplimiento de los objetivos del departamento. En relación a esto, también surge la oportunidad de la generación y actualización de investigaciones relacionadas al manejo de bosques, lo que permite al departamento tener un mayor fundamento científico. Otra oportunidad de mejora está en la generación de una base de datos de polígonos de licencias, ya que esto puede facilitar la verificación de las áreas bajo licencia con la ayuda de sistemas de información geográfica de una forma más eficiente.

Por otro lado, también existen algunas debilidades que afectan al departamento y que en su mayoría se ligan a las amenazas. Una de las principales debilidades detectadas es el hecho de que la mayoría del departamento considera que no se cumplen por completo los objetivos del departamento. Esto se relaciona directamente con factores externos, como la falta de financiamiento para realización de proyectos y el personal insuficiente, que son unas de las principales amenazas para el funcionamiento del departamento. Es importante mencionar que no hay unanimidad en algunas de las problemáticas sentidas, lo que puede ser un obstáculo en la búsqueda de soluciones para la mejora del departamento.

Añadido a estas problemáticas, hay también amenazas relacionadas con situaciones del país, como la tala ilegal de árboles y el avance de la frontera agrícola, que dificultan el cumplimiento de los objetivos.

Cuadro 2: Matriz de priorización de problemas (Debilidades)

		1	2	3	4	5
		La mayoría del personal considera que no se cumplen por completo los objetivos del departamento.	Poca generación de investigaciones relacionadas al manejo forestal.	Baja utilización y validación de investigaciones existentes.	Escaso equipo	Funciones del departamento no están claramente definidas. Varían según la fuente consultada
1	La mayoría del personal considera que no se cumplen por completo los objetivos del departamento.		1	1	1	1
2	Poca generación de investigaciones relacionadas al manejo forestal.			3	2	5
3	Baja utilización y validación de investigaciones existentes.				3	5
4	Escaso equipo					5
5	Funciones del departamento no están claramente definidas. Varían según la fuente consultada					

Cuadro 3: Debilidades priorizadas

	Frecuencia	Prioridad
La mayoría del personal considera que hay obstáculos para cumplir por completo los objetivos del departamento.	4	1
Funciones del departamento no están claramente definidas. Varían según la fuente consultada	3	2
Baja utilización y validación de investigaciones existentes.	2	3
Poca generación de investigaciones relacionadas al manejo forestal.	1	4
Escaso equipo	0	5

Cuadro 4: Matriz de priorización de problemas (Amenazas)

		1	2	3	4	5	6
		Falta de financiamiento para la ejecución de algunos proyectos.	El personal no es suficiente para cumplir con las funciones y objetivos del departamento.	Avance de frontera agrícola.	Algunas funciones no deberían ser atribuidas al departamento.	Escasa coordinación con otros departamentos relacionados al Manejo Forestal.	Tala ilegal
1	Falta de financiamiento para la ejecución de algunos proyectos.		2	1	1	1	6
2	El personal no es suficiente para cumplir con las funciones y objetivos del departamento			2	2	2	2
3	Avance de frontera agrícola.				3	3	6
4	Algunas funciones no deberían ser atribuidas al departamento0.					4	6
5	Escasa coordinación con otros departamentos relacionados al Manejo Forestal.						6
6	Tala ilegal						

Cuadro 5: Amenazas priorizadas

	Frecuencia	Prioridad
El personal no es suficiente para cumplir con las funciones y objetivos del departamento.	5	1
Tala ilegal	4	2
Falta de financiamiento para la ejecución de algunos proyectos.	3	3
Avance de frontera agrícola.	2	4
Algunas funciones no deberían ser atribuidas al departamento.	1	5
Escasa coordinación con otros departamentos relacionados al Manejo Forestal.	0	6

1.6 CONCLUSIONES

- 1 Las principales fortalezas del departamento de Manejo de Bosques Naturales son las capacidades técnicas del personal y la adecuada organización y planificación. Sus oportunidades se relacionan con mejoras en el sistema de ingreso de licencia, al igual que el apoyo de estudiantes y la generación de investigaciones.
- 2 Las principales debilidades del departamento son los hechos que el personal considera que existen obstáculos para cumplir por completo los objetivos del departamento y se relaciona con las amenazas principales que son la falta de personal suficiente para el departamento y falta de financiamiento.

1.7 RECOMENDACIONES

- Agilizar los procesos que involucran al departamento, a través de la automatización del registro y entrega de licencias forestales.
- Mejorar la coordinación con las otras unidades para evitar tomar responsabilidades que no corresponden al departamento de manejo de bosques naturales y agilizar el trabajo.
- Fomentar la investigación en temas de manejo de bosques naturales para tener un mayor sustento en las metodologías utilizadas por el departamento.

1.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Geilfus, F. 2002. 80 herramientas para el desarrollo participativo; Diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. Costa Rica, IICA. p. 152-153. <http://ejoventut.gencat.cat/permalink/aac2bb0c-2a0c-11e4-bcfe-005056924a59>
2. INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). 2017. Manual de perfiles y descripción de puestos del Instituto Nacional de Bosques. Guatemala. <https://www.scribd.com/document/378436073/MANUAL-DE-PERFILES-Y-DESCRIPCION-DE-PUESTOS-DEL-INAB-pdf>
3. _____. 2018. Funciones de las direcciones, unidades y departamentos. del Instituto Nacional de Bosques. Guatemala. 24 p. <http://portal.inab.gob.gt/images/informacionpublica/2017/1.2%20DESCRIPCION%20DE%20FUNCIONES.pdf>
4. Mencos, L. 2011. Consultoría implementación de la nueva estructura del Instituto Nacional de Bosques: Manual de organización y funciones. Guatemala. 44 p. http://portal.inab.gob.gt/images/informacionpublica/2015/6_1.pdf



Rolando Barrios

1.9 ANEXOS

ANEXO 1A: Boleta de entrevista realizada en el departamento de Manejo de Bosques Naturales

1. *¿Cuáles son sus funciones y/o responsabilidades principales actuales en el departamento de Manejo de Bosques Naturales?*
2. *¿Existen oportunidades de capacitación para el personal dentro del departamento o el INAB? (Sí/No)*
3. *¿Ha recibido cursos y/o capacitaciones relacionadas con el puesto que desempeña?*
4. *¿Considera que las atribuciones a su puesto exceden sus capacidades de acuerdo al tiempo para desempeñarlas? Si la respuesta es sí, indicar la razón.*
5. *¿Considera que las atribuciones a su puesto exceden sus capacidades de acuerdo sus conocimientos profesionales? Si la respuesta es sí, indicar la razón.*
6. *¿Cuáles son los objetivos principales del departamento de Manejo de Bosques Naturales?*
7. *¿Cuáles son las funciones del departamento?*
8. *¿Considera que el departamento cuenta con el personal suficiente para cumplir con las funciones y objetivos?*
9. *¿Qué instrumento se tiene para planificar las acciones que el departamento necesita llevar a cabo para cumplir con los objetivos?*
10. *¿Qué instrumento se tiene para evaluar el cumplimiento de objetivos?*

11. *¿Cree que se cumplen todos los objetivos para los que fue creado el departamento de Manejo de Bosques Naturales? Si su respuesta fue No, indicar la razón.*
12. *¿Considera que la planificación anual se adecua a los objetivos, metas y funciones del departamento?*
13. *¿Conoce usted las atribuciones y funciones de cada uno de los integrantes del departamento de Manejo de Bosques Naturales? (sí/no)*
14. *¿Quién se encarga de velar por que se cumpla el organigrama y las atribuciones?*
15. *¿Considera que existe algún motivo o factor que dificulte la eficiencia y eficacia en el desempeño del departamento de Manejo de Bosques Naturales? ¿Si su respuesta fue sí, cuáles serían?*
16. *¿A nivel institucional, considera que existen factores externos que afecten el desempeño del departamento de Manejo de Bosques Naturales?*

CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *PINUS OOCARPA* SCHIEDE EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A.



2.1 INTRODUCCIÓN

La determinación del volumen de árboles en pie es un elemento esencial para la elaboración de inventarios forestales y por lo tanto también para la elaboración de planes de manejo de bosque. Esto permite mejorar la conservación y el manejo tecnificado del bosque para obtener un máximo provecho del recurso forestal de Guatemala. Para estimar estos volúmenes de forma práctica, existen modelos que permiten relacionarlo con otras variables independientes de fácil medición, como la altura total de los árboles y el diámetro a la altura del pecho (DAP).

En Guatemala se han desarrollado tres ecuaciones para volumen sin corteza de *Pinus oocarpa* Schiede (Peters 1977, Morales Zapón 2009, Sánchez Montenegro 2009), tanto a nivel local como a nivel general para toda la República. Sin embargo, actualmente en Guatemala no se cuenta con evidencia estadística para determinar si estas ecuaciones siguen siendo exactas al aplicarse en distintas áreas del país. De igual manera, se desconoce cuál de estas fórmulas es más recomendable utilizar.

El propósito de este trabajo fue determinar si existen diferencias significativas entre las distintas ecuaciones para determinar el volumen total sin corteza y, en caso lo haya, determinar si existe alguna que sea la más recomendable. Para el efecto se tomaron mediciones de diámetros, alturas y volúmenes reales a través de cubicaciones de árboles de *Pinus oocarpa* Schiede en distintos puntos en el área de distribución natural de la especie dentro de la República de Guatemala, de manera a contar con datos suficientes para evaluar estadísticamente las distintas ecuaciones. Se tomaron muestras de las zonas de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical y Bosque Húmedo Subtropical (templado) y las fincas muestreadas se ubicaban en los municipios de Chinique, Purulhá, Granados, Jalapa, San Raymundo y Chinautla.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marco conceptual

A. Medición de árboles individuales

a. Diámetro del árbol

La medición del diámetro de un árbol consiste en determinar la longitud de la recta desde una orilla de la circunferencia del tronco, hasta la otra orilla, pasando por el centro. Por lo general, los diámetros más comúnmente medidos en Dasonomía son los del tronco principal, ramas o segmentos del fuste. Estas mediciones son importantes ya que casi siempre realizarse directamente y sirven para estimar otros datos como el área basal y el volumen (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

A nivel mundial, se ha estandarizado que la altura a la cual se mide el diámetro de árboles en pie es de 1.30 m a partir del suelo. A este diámetro se le llama diámetro normal o diámetro a la altura del pecho (DAP).

Los instrumentos más utilizados para la medición de diámetros de árboles son la cinta diamétrica y la forcípula. La forcípula es una regla con dos brazos perpendiculares a su longitud. Un brazo es fijo y el otro es móvil, permitiendo ajustarlos al ancho del tronco. Cuando los brazos están ajustados al tronco, se puede observar la graduación de la regla para determinar el diámetro. La desventaja de este instrumento es que es un poco menos portátil que la cinta y sus brazos a veces presentan falta de paralelismo, haciendo que haya una mayor incertidumbre en la medición (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

La cinta diamétrica es un instrumento que permite determinar el diámetro al relacionarlo con el perímetro del árbol. Esta cinta posee graduaciones de manera a que cada unidad equivale al valor de pi en cm. Es decir que cada graduación corresponde a 3.1415 cm. De esta forma, al envolverla alrededor del tronco es posible determinar directamente el diámetro (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

b. Altura del árbol

La altura de los árboles provee información importante sobre los árboles y, en conjunto con el diámetro, permite estimar el volumen. Para determinar la altura de árboles en pie existen varios instrumentos que permiten hacerlo utilizando principios trigonométricos.

Algunos de los instrumentos más comunes son el clinómetro y el hipsómetro. Los clinómetros Suunto son unas pequeñas cajas que en su interior poseen un disco móvil suspendido por un eje central. La caja posee un agujero por el cual se puede observar el contorno del disco, en el cual hay graduaciones que indican el ángulo de inclinación de la caja.

Para determinar la altura del árbol, la persona encargada de medir, se ubicará un punto "P", a una distancia horizontal d de la base del árbol. Desde este punto, apuntando el clinómetro hacia la cima del árbol, se determinará el ángulo de elevación α_1 ; luego, desde este mismo punto, apuntándolo hacia la base del árbol, se determinará el ángulo de depresión α_2 . Con estos dos valores angulares y la distancia correspondiente d , se estima la altura del árbol utilizando del siguiente modelo matemático:

$$H = d * (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2).$$

Donde:

H: Altura del árbol (m).

d: Distancia entre el árbol y el observador, ubicado en el punto "P" (m).

α_1 : Ángulo de elevación, medido por el observador ubicado en el punto "P", apuntando el clinómetro hacia la copa del árbol (medida sexagesimal).

α_2 : Ángulo de depresión, medido por el observador ubicado en el punto "P", apuntando el clinómetro hacia la base del árbol (medida sexagesimal).

Uno de los modelos de clinómetro Suunto es llamado 15-20, conocido como hipsómetro. Este instrumento posee graduaciones que corresponden directamente a la altura, en lugar de grados, pero requiere realizar la medición desde una distancia de 15 m o 20 m del árbol (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

c. Corteza

Al determinar el espesor de la corteza del tronco, es posible calcular el diámetro sin corteza del árbol o de alguna sección del mismo. Si el árbol ha sido cubicado y se encuentra en trozas es fácil realizar la medición en secciones con la superficie expuesta. Sin embargo, cuando el árbol se encuentra en pie, o cuando las secciones no presentan una superficie expuesta, es necesario utilizar instrumentos medidores de espesor de corteza.

Los instrumentos medidores de espesor de corteza consisten en una varilla de metal con la punta filosa y truncada, y una canaladura en el vástago. La punta puede penetrar la corteza, pero no la madera. Para medir el espesor de la corteza, se inserta la punta de la varilla, hasta que encuentre un tope y, posteriormente, en el vástago del instrumento se determina la graduación indicada (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

d. Volumen del árbol (cubicación)

Los troncos de los árboles que no han sido perturbados suelen poseer una forma simétrica y pueden ser asociados en su totalidad a sólidos de revolución. De ser así, estimar el volumen del tronco resulta fácil con tan solo conocer la ecuación de la línea generatriz. Sin embargo, la forma de los troncos suele ser variable y es difícil de estimar utilizando ecuaciones cuando se les considera en la totalidad de su longitud. Por lo tanto, cuando se busca conocer el valor más cercano al volumen real del tronco, se suele dividir en secciones más pequeñas que por lo general se asemejan con mayor exactitud a formas geométricas perfectamente definidas. A este proceso se le llama cubicación, y su exactitud aumenta

conforme menor sea la longitud de las trozas en las que se divide el fuste. (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

Para la estimación del volumen de cada troza existen fórmulas que permiten estimarlo con gran exactitud y de manera más fácil que si se aplican fórmulas para cada tipo dendrométrico o sólido de revolución de cada troza. Las fórmulas más utilizadas son la fórmula de Smalian y la fórmula de Huber. (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

i. Fórmula de Smalian

La fórmula de Smalian toma en consideración las áreas de las secciones transversales de ambos extremos de cada troza, promediándolas y multiplicándolas por la longitud de la troza para determinar el volumen. La expresión es la siguiente:

$$V_S = \frac{S_0 + S_1}{2} * L.$$

Donde:

V_S: Volumen de la troza por método Smalian (m³)

S₀ y S₁: Áreas de las secciones transversales extremas del fuste o troza (m²)

L: Longitud de la troza (m).

Para determinar las áreas de las secciones transversales. Se miden los diámetros de las secciones utilizando cinta métrica. (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004).

ii. Fórmula de Huber

Este método es más sencillo que el de Smalian y es probablemente el más sencillo de los métodos comerciales de cubicación, ya que únicamente requiere la medición de la sección

transversal media de la troza y su longitud. (Romahn de la Vega y Ramirez Maldonado 2004). El modelo matemático es el siguiente:

$$Vh = Sm * L.$$

Donde:

Vh: Volumen de la troza por el método de Huber (m³).

Sm: Área de la sección transversal media (m²).

L: Longitud de la troza (m).

Para determinar el área de la sección transversal es necesario medir el diámetro de la sección media, utilizando una cinta métrica o forcípula.

e. Estimación de volumen

Para determinar el volumen de los árboles en pie, es necesario utilizar métodos prácticos que no requieran la división del árbol por secciones. Por lo tanto, deben utilizarse modelos matemáticos que relacionen el volumen con otras variables que son más fáciles de medir, como la altura y el diámetro.

Los modelos para estimación de volumen de árboles individuales se elaboran por métodos de regresión de los valores reales de volumen obtenidos por métodos de cubicación u otros métodos de mayor exactitud. Algunos modelos consideran una sola variable y a partir de estos se elaboran tablas de volumen de una sola entrada. Otros modelos requieren de ambas variables de diámetro y altura para estimar el volumen.

B. Selección de la muestra

En cualquier investigación, el investigador podría seleccionar toda la población como muestra, pero un muestreo busca hacer una inferencia a una población en base a una muestra muy pequeña. La congruencia entre esta muestra y la población es expresada

como el error de muestreo. Si fuera posible tomar en cuenta los datos de toda la población, no existiría un error de muestreo ya que la muestra sería la misma que la población total. Por lo tanto, conforme mayor es la muestra, menor es el error de muestreo

C. Evaluación y selección de modelos de regresión

El análisis de regresión es un método a través del cual una variable dependiente es modelada en base a patrones observados en una o más variables independientes o predictoras (Kindt y Coe 2005). Para determinar si un modelo es adecuado para estimar los valores de la variable dependiente, se pueden realizar distintos análisis estadísticos

a. Coeficiente de determinación R²

El coeficiente de determinación, también llamado R² es un indicador de la fracción de la varianza que es explicada por el modelo de regresión. Es decir que si los valores se acercan a 1, significa que el valor tiende a explicar casi toda la varianza. Es decir que los residuos serán muy pequeños y los valores estimados estarán muy cercanos a los valores reales. El coeficiente de determinación R² es entonces una expresión de la bondad de ajuste o de la calidad del modelo (Kindt y Coe 2005). Este coeficiente puede entonces definirse como:

$$R^2 = 1 - \frac{V_r}{S^2_y}$$

Donde:

R²: Coeficiente de determinación.

V_r: Varianza residual o suma de cuadrados del error.

S²_y: Varianza marginal de los valores estimados o suma de cuadrados total.

b. Análisis de varianza

i. ANDEVA de dos vías

En algunas investigaciones, las unidades de muestreo no son homogéneas ya que algunas poseen características distintas a las demás. Por lo tanto se vuelve necesario agrupar las unidades de manera a homogeneizar y poder hacer una mejor comparación entre los distintos tratamientos. La varianza total se separa entonces en tres: la de los bloques, la de los tratamientos y la del error. A este análisis se le llama análisis de varianza de dos vías ya que separa a los grupos en función a dos variables independientes o factores.

Para realizar el análisis de varianza de dos vías es necesario verificar que se cumpla con ciertos supuestos. Por lo general, cuando se trabaja con datos de campo, no se cumplen todos los supuestos por completo. Sin embargo, siempre existen soluciones para sobrepasar estas violaciones de los supuestos. Los supuestos son:

- La variable dependiente debe estar en una escala continua.
- Las dos variables independientes deben ser categóricas.
- Las observaciones deben ser independientes, lo que significa que no debe haber relación entre observaciones dentro de cada grupo o entre grupos.
- No puede haber datos atípicos.
- La variable dependiente debe estar distribuida de manera más o menos normal.
- Debe haber homogeneidad de varianzas (homocedasticidad). Para esto se pueden graficar los residuos en función del valor de la variable dependiente. Si los residuos se observan distribuidos sin algún patrón definido significa que las varianzas son homogéneas.

Los resultados del ANDEVA de dos vías permiten determinar si existen diferencias significativas entre las medias de cada factor.

ii. Métodos estadísticos post-ANDEVA

Cuando se detectan diferencias significativas entre las medias de distintos grupos, se puede realizar una prueba de contrastes en la que se determina cuáles son las medias que difieren. La prueba de contrastes consiste en una comparación múltiple por parejas de los distintos tratamientos y puede realizarse entre todos los tratamientos o entre los tratamientos y un grupo de control.

En el caso en que se comparan todos los tratamientos entre sí, puede utilizarse la prueba de Scott-Knott (Bhering et al. 2008). Esta prueba permite comparar las medias de los tratamientos, agrupándolas en base a su similitud, sin que existan traslapes entre grupos.

Para comparar los tratamientos contra un grupo control se puede utilizar la prueba de Dunnett (Lee y Lee 2018). Esta prueba no agrupa a los distintos grupos experimentales, sino que únicamente los compara contra una media de control para determinar si alguno de ellos no presenta diferencias significativas con ésta.

2.2.2 Marco referencial

A. Antecedentes

a. Tablas de volumen de Roland Peters

En el año 1977 se llevó a cabo un proyecto para la elaboración de tablas de volumen de coníferas, realizado por el personal de la Sección de Inventarios del INAFOR, encabezado por el ingeniero experto de la FAO Roland Peters. Este proyecto se realizó en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, proyecto PNUD/FAO/GUA/72/006 (Peters 1977).

El estudio realizado por Peters surge como un esfuerzo por facilitar la elaboración de inventarios en bosques de coníferas en Guatemala. Las tablas de volumen fueron realizadas

para nueve especies de coníferas y sirven para determinar volúmenes sin corteza cúbicos, aserrables y de madera para pulpa de árboles en pie.

La publicación incluye tablas de volumen para distintos índices de utilización, pero también incluye una tabla para volumen cúbico total, incluyendo tocón y la punta de la copa, sin embargo, no incluye el volumen de ramas. Los modelos empleados para la realización de las tablas de volumen utilizan dos variables independientes: el diámetro a la altura de pecho (DAP) y la altura total del árbol.

Para generar las ecuaciones se realizó una regresión a partir de datos de árboles medidos por la Sección de Inventarios Forestales de INAFOR durante los años 1975 y 1976, en todos los departamentos de la República donde se encuentran las coníferas.

Para esto se dividió el país en cuatro regiones: la región Norte compuesta por los departamentos de El Petén, Alta Verapaz y El Progreso; la región Centro—Sur compuesta por Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango y Santa Rosa; la región Occidente compuesta por Sololá, Quiché, Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango, y la región Oriente compuesta por Zacapa, Chiquimula, Jutiapa y Jalapa.

Las muestras fueron distribuidas en rodales de diferentes edades y en distintas clases diamétricas con una frecuencia proporcional a la varianza de su volumen, correspondiente a la distribución de Neyman. Es importante mencionar que los responsables del estudio afirman que el tiempo disponible no estuvo acorde a la magnitud de la tarea realizada, pero se logró formar una base estadística bien fundamentada.

En el caso de *Pinus oocarpa* Schiede, se tomaron 269 muestras distribuidas en las regiones Norte, Centro-Sur y Oriente, es decir que no se tomaron muestras en los departamentos de Sololá, Quiché, Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango.

El modelo matemático generado para la estimación de volumen total sin corteza para árboles individuales de *Pinus oocarpa* Schiede, es el siguiente:

$$V = 0.0268287659 + 0.0000287215 * D^2 * H.$$

Donde:

V: Volumen total sin corteza (m³).

D: Diámetro (cm), a la altura del pecho (1.30m).

H: Altura total del árbol (m).

b. Tablas de volumen de *P. oocarpa* en Zacapa

Sánchez (2009) elaboró tablas de volumen para *Pinus oocarpa* Schiede en el departamento de Zacapa, partiendo de la hipótesis que un modelo local sería mejor estimando los volúmenes de árboles que el modelo general de Peters. Para esto se tomó una muestra de 60 árboles representativos de 10 clases diamétricas con intervalos de 5 cm. El estudio fue realizado en el municipio de Gualán, en las fincas La Victoria y El Pedregal.

Los árboles se seleccionaron a través de un muestreo no probabilístico, seleccionándolos a criterio, tomando en cuenta que fueran árboles fitosanitariamente seguros, de fustes rectos, vigorosos y que no presenten daños naturales o causados por el hombre.

Los modelos evaluados en esta investigación fueron los siguientes:

- $Vol = a + b \ln D + c \ln H.$
- $Vol = a + b D H^2 + c D^2.$
- $Vol = a + b H + c D^2 H.$
- $Vol = a + b D H + c D^2 + d D H^2.$
- $Vol = a + b D^2 + c D H + d D^2 H.$
- $Vol = a + b(1/D^2 H).$
- $Vol = a + b(1/D^2) + c(H/D^2) + d H.$
- $Vol = a + b(1/D^2H) + c(1/H) + d(1/D^2).$

- $Vol = a + b \ln H + c d + d H.$
- $Vol = a + b D^2 H + c D^3.$
- $Vol = a + b D H + c D^2.$
- $Vol = a + b(1/H) + c(1/D).$
- $Vol = a + b(1/D) + c(1/H) + d(1/D^2).$

Donde:

V: Volumen total sin corteza (m^3).

D: Diámetro (cm), a la altura del pecho (1.30 m).

H: Altura total del árbol (m).

a, b, c, d, e = Parámetros de regresión estimados.

ln = Logaritmo natural.

Los datos fueron procesados mediante un análisis de regresión múltiple utilizando el software SAS. El modelo matemático para estimación de volumen total sin corteza obtenida después del análisis fue el siguiente:

$$V = 0.045115 - 0.00003121 * H + (0.000031837 * D^2 * H).$$

Donde:

V: Volumen total (m^3).

H: Altura total del árbol (m).

D: Diámetro a la altura del pecho (cm).

c. Tablas de volumen de P. oocarpa en Quiché

Otra investigación relacionada con tablas de volumen para Pino oocarpa fue realizada por Zapón (2009) en el departamento de Quiché. Esta investigación se llevó a cabo en los

municipios de Santo Tomás Chiché, Chinique y San Pedro Jocopilas, ubicados en la región sur de este departamento.

Los datos de la investigación se tomaron en nueve puntos de muestreo: dos puntos en San Pedro Jocopilas, dos en Chinique y tres en Chiché. En el muestreo se tomaron en cuenta 52 árboles distribuidos en 11 clases diamétricas con intervalos de 5 cm entre cada una, con DAP en un rango entre 10 cm y 64.99 cm.

En esta investigación se evaluaron los modelos siguientes:

- $V = a + bDH^2 + cD^2$.
- $V = bDH^2 + cD^2$.
- $V = a + bDH + cD^2 + dD^2H$.
- $V = bDH + cD^2 + dD^2H$.
- $V = a + bDH + cH + dD^2$.
- $V = bDH + cH + dD^2H$.
- $V = a + bD^2 + cH + dDH$.
- $V = bD^2 + cH + dDH$.
- $V = a + bD^2H$.
- $V = bD^2H$.
- $V = a + bD^2 + cDH + dD^2H$.
- $V = a + bH + cD^2 + dD^2H$.
- $V = a + bDH + cD^2$.
- $V = bDH + cD^2$.

Donde:

V: Volumen total (m³).

H: Altura total del árbol (m).

D: Diámetro a la altura del pecho (cm).

a, b, c, d, e = Parámetros de regresión estimados.

Para analizar los datos se realizó un análisis de varianza de la regresión por medio del software SAS, de manera similar al estudio de Sánchez (2009).

El modelo matemático seleccionado para la estimación de volumen sin corteza fue el siguiente:

$$V = 0.000030409 * D^2 * H .$$

Donde:

V: Volumen total (m³).

H: Altura total del árbol (m).

D: Diámetro a la altura del pecho (cm).

B. Descripción de la especie

a. Nombre científico y sinónimos

Sinónimos: *Pinus oocarpavar manzanoi* Martínez; *Pinus oocarpa var oocarpoides* (Lindl. Ex Loudon) Endls.; *Pinus tecunumanii* F. Schwertdf (INAB 2017).

De acuerdo con Standley y Steyermark (1958), *Pinus tecunumanii* podría considerarse una variedad de *Pinus oocarpa* desde un punto de vista botánico porque no hay un verdadero soporte para considerarlo como una especie distinta como lo propuso originalmente el Dr. Fritz Schwertfeger.

b. Nombres comunes

En Guatemala, se le conoce por los nombres: Pino de ocote, Pino rojo, o Pino colorado (INAB 2017).

c. Taxonomía

A continuación, se presenta la taxonomía de la especie:

Reino	Plantae
División	Pinophyta
Clase	Pinopsida
Orden	Pinales
Familia	Pinaceae
Género	<i>Pinus sp.</i>

d. Descripción morfológica

i. Hábito

Los árboles de esta especie pueden llegar a medir entre 30 m y 35 m de altura. El diámetro de estos árboles, medido a la altura del pecho, puede llegar a alcanzar de 40 cm a 70 cm. El árbol posee una copa ancha que se va reduciendo conforme aumenta la competencia (INAB 2017).

ii. Corteza

La corteza de estos árboles suele ser de color grisácea o café rojiza y posee una textura áspera, profundamente fisurada formando placas rectangulares sobre la superficie (Standley y Steyermark 1958).

iii. Hojas y ramas

Las ramas cortas suelen ser tener diámetros de 6 mm a 10 mm, poseer una textura moderadamente áspera y ser de color café claro o rojizo. Las hojas, o acículas, se encuentran principalmente en fascículas de 5 o a veces 4, son de color verde-olivo o verde-grama y miden de 12 mm a 30 mm de longitud y de 1 mm a 1.2 mm de ancho. Estas acículas son flexibles, subcoriáceas, ascendiendo a erectas y abundantemente serruladas. Los estomas se encuentran en ambos lados de las hojas. Los ductos resinosos son septales, a veces internos (Standley y Steyermark 1958).

iv. Estróbilos

Los conos son ampliamente ovoides a ovoides-cónicos, persistentes y se abren tarde en la madurez, con las escamas inferiores usualmente permaneciendo cerradas por un largo periodo. Estos conos se encuentran sobre un pedúnculo de hasta 3.5 mm de longitud, color café-amarillento o café-rojizo, con escamas engrosadas en la punta y con el umbo dorsal a veces terminando en una punta como espina. Las alas de las semillas están frecuentemente engrosadas en la base (Standley y Steyermark 1958).

e. Distribución natural

De acuerdo con Madriz (2005), *Pinus oocarpa* Schiede es la especie de coníferas con mayor distribución natural en el neotrópico. La especie está distribuida desde México hasta el noreste de Nicaragua y representa la especie dominante de los bosques de pino en Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador (Barrance et al. 2003).

En Guatemala, la especie se encuentra distribuida en los departamentos de Guatemala, Baja Verapaz, Alta Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, Huehuetenango, Totonicapán, Quiché, Sacatepéquez, San Marcos, Santa Rosa, Jalapa, Jutiapa, El Progreso y Zacapa.

La mayor presencia de la especie está en el municipio de Purulhá, Baja Verapaz (INAB 2017).

f. Características de sitio

i. Clima

En condiciones naturales, los árboles de *Pinus oocarpa* Schiede se encuentran en áreas con precipitaciones mayores a 650 mm anuales, en donde la estación seca dura entre 5 y 6 meses. Las temperaturas máximas en las que se encuentra varían entre 21 °C y 34 °C durante el mes más cálido del año y las mínimas entre 7 °C y 20 °C para el mes más frío. La temperatura media anual en la que se encuentra de 13 °C a 23 °C (Barrance et al. 2003).

ii. Fisiografía

Se ha encontrado *P. oocarpa* a altitudes desde 200 m hasta 2,500 m s.n.m. y en terrenos accidentados. No obstante, según el INAB (2017), los mejores rendimientos para han sido reportados por debajo de los 1,420 m s.n.m., en terrenos con pendientes menores al 40 %. *P. oocarpa* es una especie pionera que se adapta a diferentes tipos de suelo, erosionados e infértiles, delgados, arenosos y pedregosos, pero con buen drenaje. En condiciones naturales se encuentra sobre suelos de origen volcánico con alto contenido de cuarzo, con pH ácidos a neutros (4.5 - 6.8), de baja fertilidad (INAB 2017, Barrance et al. 2003).

iii. Suelo

Pinus oocarpa Schiede puede desarrollarse en condiciones muy diversas, con suelos que pueden ser arenosos, pedregosos, delgados e infértiles, ácidos a neutros. Sin embargo, las condiciones en las que presenta un mejor desarrollo son suelos profundos con buen drenaje.

Si los suelos son inundables, los árboles no prosperan. Además es muy susceptible a deficiencias nutricionales (Barrance et al. 2003).

C. Importancia de la especie

a. Importancia

Pinus oocarpa Schiede es una especie considerada como prioritaria institucionalmente para el INAB puesto que forma parte del grupo de especies preferentes en programas de incentivos forestales.

De acuerdo con el INAB (2017) bajo el programa PINFOR, la especie ocupa el onceavo puesto en preferencia de utilización lo que equivale al 6 % de la inversión a nivel nacional. Hasta finales del año 2015, *P. oocarpa* Schiede se extendía alrededor de 6,900 ha (5 % de la extensión a nivel nacional) con una inversión de Q. 80 millones.

Por otro lado, en el programa PINPEP, *P. oocarpa* Schiede sumaba aproximadamente 1,700 ha (17 % de la extensión a nivel nacional) a finales del año 2015, ocupando el cuarto puesto en preferencia de utilización y equivalente al 12 % del total invertido a nivel nacional (INAB 2017).

b. Usos

i. Maderables

La madera de *P. oocarpa* Schiede muestra una gran versatilidad gracias a su facilidad de secado, aserrado, preservado y buena trabajabilidad. Puede utilizarse en construcción en general, ebanistería, postes de conducción eléctrica, pilotes, traviesas, cajas, embalajes, fabricación de botes y lanchas, molduras, decoración, chapas, contrachapado, juguetes,

artesanías, artículos deportivos, mobiliario y bajo propósitos energéticos como leña (Barrance et al. 2003).

ii. No Maderables

De la resina de *P. oocarpa* Schiede se obtiene productos como el aguarrás empleado como diluyente de pinturas y barnices; y la colofonia utilizada como materia prima para productos en la industria de los cosméticos (INAB 2017). De la especie se obtiene, además, taninos adhesivos para la fabricación de madera contrachapada (plywood).

Así también, *P. oocarpa* Schiede se utiliza con fines medicinales, ornamentales y es utilizado en la industria de papel gracias a su pulpa de fibra larga.

En usos agroforestales el pino oocarpa es utilizado como árbol de sombra, cortinas rompevientos, tutores para cultivos, a lo largo de linderos. Además, es utilizado en sistemas Taungya asociado a cultivos agrícolas como maíz, frijol, arveja, entre otros (INAB 2017).

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Evaluar la aplicabilidad de tres modelos existentes para la cuantificación de volumen de árboles individuales en bosques naturales para la especie *Pinus oocarpa* Schiede en bosques naturales de la República de Guatemala, C.A.

2.3.2 Objetivos específicos

1. Describir la exactitud de cada ecuación para estimar el volumen total de *Pinus oocarpa* Schiede en las áreas evaluadas.
2. Determinar si existen diferencias significativas entre los modelos evaluados para la estimación del volumen total de *Pinus oocarpa* Schiede en las áreas evaluadas.
3. Determinar el modelo más adecuado para la estimación de volumen de árboles individuales de *Pinus oocarpa* Schiede, tanto a nivel general como a nivel de zona de vida para las zonas de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado y Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical.

2.4 HIPÓTESIS

H_0 : No existen diferencias significativas en los datos de volumen estimados a través de las ecuaciones evaluadas para *Pinus oocarpa* Schiede.

H. alternativa: Al menos una de las ecuaciones seleccionadas para *Pinus oocarpa* Schiede, presentará diferencias significativas al resto en la estimación de volumen.

2.5 METODOLOGÍA

2.5.1 Muestreo e identificación de la especie

A. Ubicación geográfica del área de muestreo

Las mediciones se realizaron en distintos puntos dentro de toda el área de distribución natural de la especie que pueden observarse en la figura 6. De manera a aprovechar de la mejor manera los recursos disponibles, las áreas de muestro correspondieron a áreas en las que se realizaron aprovechamientos ya que es necesario derribar los árboles para su cubicación. Para esto se debió mantener una comunicación eficiente con las regiones y movilizarse a las áreas en cuanto hubo avisos de aprovechamientos.

B. Selección de la muestra

Para seleccionar la muestra se tomó en cuenta la cantidad de aprovechamientos y los recursos disponibles durante el tiempo de la investigación, procurando medir por lo menos tres árboles por clase diamétrica, tomando en cuenta que una mayor cantidad de árboles permite reducir el error. Las clases diamétricas se hicieron cada diez centímetros, a partir de 10 cm. Se muestrearon 55 árboles, procurando que estos estuvieran distribuidos en las distintas clases diamétricas. También se buscó que la muestra estuviera distribuida espacialmente a lo largo del área de distribución natural de la especie. Se logró medir un total de 55 árboles.

C. Medición de alturas y diámetros

Para cada árbol en pie se midió el diámetro a la altura del pecho (1.30 m) utilizando una cinta diamétrica.

La medición de alturas se realizó con el árbol derribado utilizando una cinta métrica, como puede observarse en la figura 2.



Fuente: elaboración propia (2019).

Figura 2. Medición de la longitud de las secciones para la cubicación de *Pinus oocarpa* Schiede utilizando cinta métrica.

D. Cubicación

Para cubicar cada árbol, se utilizó la boleta de campo observada en la figura 11A. Primero, se midió la altura del tocón, al igual que su diámetro. Luego se procedió a medir los diámetros a cada 2 m a lo largo de todo el fuste como se observa en las figuras 3 y 4.



Fuente: elaboración propia (2019).

Figura 3. Medición de diámetros los fustes de *Pinus oocarpa* Schiede en San Raymundo.



Fuente: elaboración propia (2019).

Figura 4. Uso de cinta diamétrica para la medición de diámetros árboles de *Pinus oocarpa* Schiede.

En esta misma etapa se midió el grosor de la corteza en los mismos puntos de la toma de diámetros, como se observa en la figura 5. Además de las mediciones a cada dos metros, también se tomó el diámetro a la altura de 1.30 m (incluyendo el tocón), que corresponde al DAP, y el grosor de corteza en esa altura. La altura total del árbol corresponde a la sumatoria del largo de todas las secciones medidas hasta la punta.

Para determinar el volumen de los tocones se utilizó la fórmula de Huber para determinar los volúmenes de la troza se utilizó la fórmula de Smalian, y para la punta se utilizó la fórmula de volumen de un cono.



Fuente: elaboración propia (2019).

Figura 5. Medición del grosor de la corteza de árboles de Pino ocarpa en cada sección utilizando medidor de corteza.

2.5.2 Evaluación de los modelos matemáticos

Para la evaluación y validación de las ecuaciones, se procesó la información utilizando el software Infostat®.

Los modelos matemáticos evaluados fueron los siguientes:

Peters (1977):

$$V = 0.0268287659 + 0.0000287215 * D^2 * H.$$

Sánchez (2009):

$$V = 0.045115 - 0.00003121 * H + (0.000031837 * D^2 * H).$$

Zapón (2009):

$$V = 0.000030409 * D^2 * H .$$

Donde:

V: Volumen total (m³).

H: Altura total del árbol (m).

D: Diámetro a la altura del pecho (cm).

A. Coeficiente de determinación R²

En una primera parte descriptiva de los modelos, se calculó el coeficiente de determinación R² como una forma de cuantificar la varianza explicada por el modelo de regresión. Este análisis brindó un valor entre 0 y 1. Si el valor obtenido es cercano a 1, significa que el modelo estima los valores de volumen de una forma bastante exacta. De lo contrario es posible que el modelo no sea válido.

Sin embargo, el cálculo de este coeficiente se utilizó únicamente en una parte de la descripción del modelo ya que Barrales *et al.* (2004) sugieren utilizar otros análisis.

B. ANDEVA de dos vías

Se realizó un análisis de varianza de dos vías en el cual un factor fueron las ecuaciones existentes (tratamientos) y el otro factor fueron los árboles (bloques). Se agrupó de esta manera ya que existen condiciones homogéneas para un mismo árbol y esto permite hacer una comparación de las ecuaciones para cada árbol. Los resultados del análisis de varianza indican si existen diferencias significativas en el volumen entre las ecuaciones y entre los árboles. Se espera encontrar diferencias significativas entre árboles ya que se muestrearon árboles de distintos diámetros y por lo tanto se obtuvo una diversidad de volúmenes. Sin embargo, para las ecuaciones es posible no obtener diferencias significativas si todas las ecuaciones predicen con gran exactitud los volúmenes reales y además tienen la misma tendencia al sobreestimar o subestimar. Esto es lo que se busca comprobar al realizar la prueba de hipótesis, utilizando un nivel de significancia de 0.05 %.

El análisis de varianza se realizó para toda la muestra, a nivel general, pero también a nivel de zona de vida utilizando los árboles que se muestrearon en cada zona vida.

2.5.3 Selección del modelo más adecuado

A. Prueba de contrastes, Dunnett y Scott-Knott

Al existir diferencias significativas entre las ecuaciones, se buscó determinar si los valores estimados por las ecuaciones difieren de los valores de volumen reales y cuáles fueron las ecuaciones cuyos valores estimados se asemejan al volumen real, tanto a nivel general como en cada zona de vida. Para esto se realizó una prueba de contrastes de Dunnett (Lee y Lee 2018), comparando los resultados de cada ecuación contra los valores reales. Además, se realizó la prueba de Scott-Knott que verifica los resultados de la prueba de Dunnett y agrupa las ecuaciones en función de sus similitudes entre sí.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1 Muestreo

A. Ubicación del área de muestreo

Como puede observarse en la figura 6, se muestrearon árboles a lo largo del área de distribución natural de la especie. Los puntos de muestreo estuvieron limitados a las fincas en las que se estuvieran realizando aprovechamientos, pero se pudieron obtener suficientes árboles para las zonas de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical y Bosque Húmedo Subtropical (templado).

Las fincas muestreadas se ubicaban en los municipios de Chinique, Purulhá, Granados, Jalapa, San Raymundo y Chinautla.

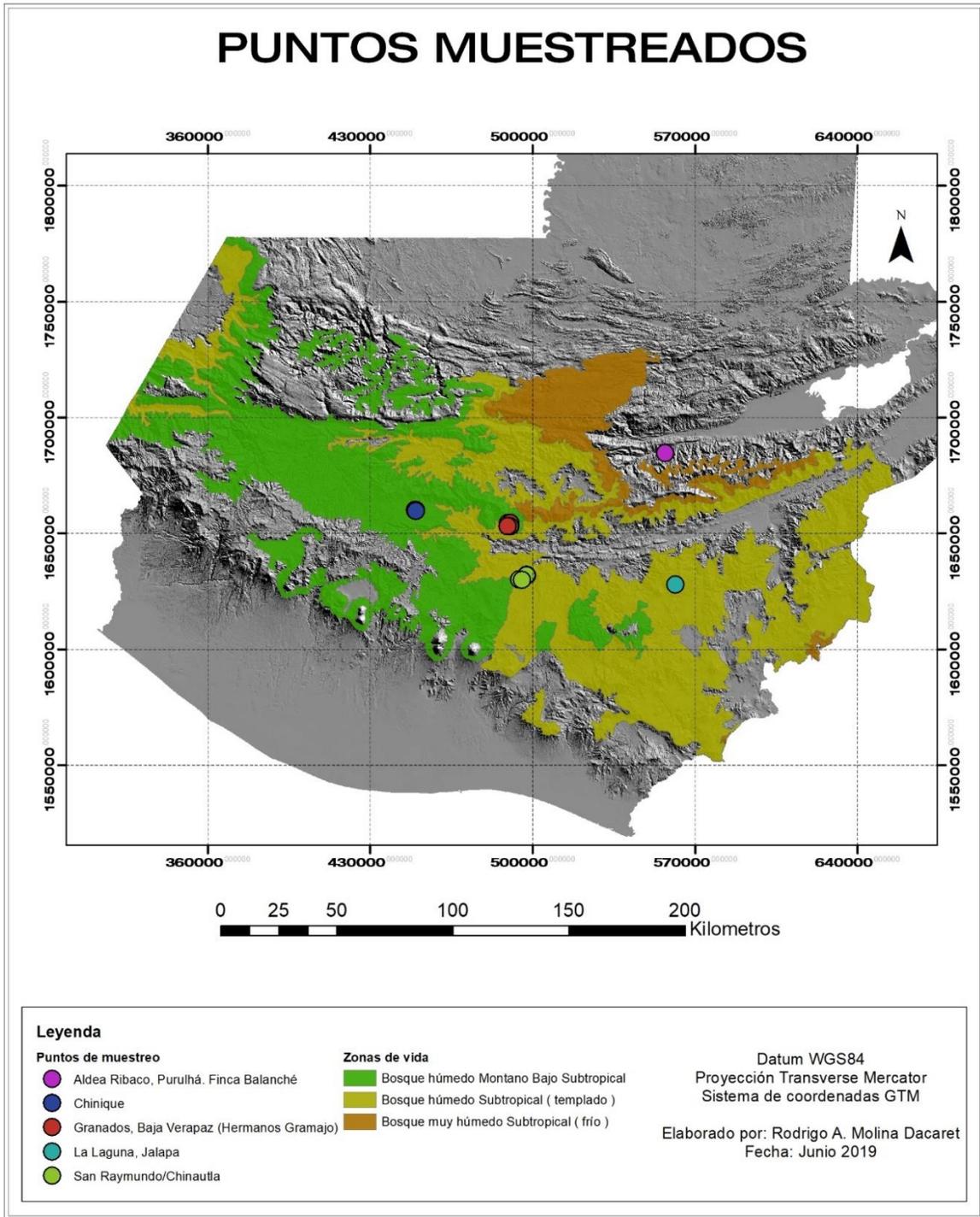


Figura 6. Mapa de puntos en los que se realizaron las cubicaciones de los árboles de *Pinus oocarpa* Schiede muestreados para la investigación.

B. Resultados de las cubicaciones

Se midió un total de 55 árboles, distribuidos en distintos puntos del área de distribución natural de la especie. En el cuadro 6 pueden observarse las medidas obtenidas de cada árbol al igual que la ubicación de donde fueron muestreados.

Cuadro 6. Volúmenes y ubicación de árboles muestreados.

No. arbol	Ubicación	Diámetro a altura del pecho (cm)	Altura total (m)	Volumen fuste sin corteza(m ³)
1	Chinautla	38.9	20.77	0.827903
2	Chinautla	40.8	19.8	1.039442
3	Chinautla	57	24.72	2.248374
4	Chinautla	21	18.1	0.243511
5	San Raymundo	54.5	26.65	2.416707
6	San Raymundo	35.5	16.56	0.572588
7	Aldea Ribacó, Purulhá, Finca Balanché	53.5	30.7	2.61452
8	Aldea Ribacó, Purulhá, Finca Balanché	62.1	31.4	2.7890
9	Aldea Ribacó, Purulhá, Finca Balanché	47	27.15	1.678395
10	Aldea Ribacó, Purulhá, Finca Balanché	41.1	24.25	1.079825
11	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	47	29.55	2.10282
12	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	48.5	26.6	1.784482
13	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	46.1	25.1	1.632395
14	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	32	12.8	0.433139
15	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	36.4	28	1.162317
16	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	18	12	0.196751
17	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	41.6	25.3	1.327527
18	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	35.3	28.7	1.067589
19	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	15.4	9.2	0.107127
20	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	38.8	21.5	0.88989
21	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	58	31.3	3.004364
22	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	30.6	19.8	0.57109
23	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	51	25.2	1.934127
24	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	31.6	20.8	0.582001
25	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	35.4	15.3	0.598709
26	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	63.5	29.15	3.593142
27	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	40.1	27.6	1.20865

Continuación Cuadro 6.

28	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	40.1	25.1	1.230247
29	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	50.1	29.2	2.235364
30	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	49.4	25.8	1.897689
31	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	29.6	24.8	0.690423
32	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	37.2	23	0.925467
33	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	31	23.5	0.567543
34	Cerro Tuncaj, Granados, Baja Verapaz	32.2	22.8	0.66414
35	Chinique	41.4	27.3	1.469262
36	Chinique	47.9	29.6	2.074751
37	Chinique	36	25.3	1.082284
38	Chinique	35.9	22.2	0.916096
39	Chinique	32	24.05	0.741112
40	Chinique	46.1	26.49	1.69565
41	La Laguna, Jalapa	17.4	20.28	0.161836
42	La Laguna, Jalapa	27.8	24	0.540101
43	La Laguna, Jalapa	38.2	27.76	1.087812
44	La Laguna, Jalapa	37.4	23.8	1.01886
45	La Laguna, Jalapa	46.8	24.7	1.569737
46	La Laguna, Jalapa	19	17.6	0.211186
47	La Laguna, Jalapa	22.5	19.26	0.319391
48	La Laguna, Jalapa	26.9	22.11	0.564169
49	La Laguna, Jalapa	15.8	11.2	0.094317
50	La Laguna, Jalapa	71	31.1	3.4323
51	La Laguna, Jalapa	23.2	14	0.266156
52	La Laguna, Jalapa	29	18	0.3911
53	La Laguna, Jalapa	51	27.23	1.941703
54	La Laguna, Jalapa	32	22	0.533106
55	La Laguna, Jalapa	20	13.525	0.13755

Los árboles 8 y 50 fueron eliminados al realizar los análisis ya que se evidenciaron como atípicos al observar los residuos del análisis de varianza para esos árboles.

En la figura 7 se presenta la distribución de los árboles muestreados por clase diamétrica.

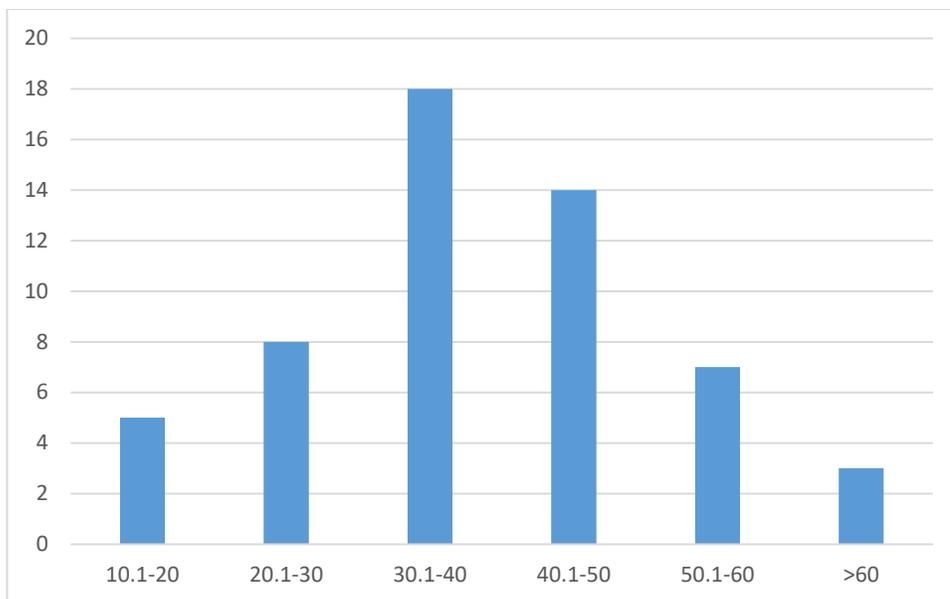


Figura 7. Distribución de árboles por clase diamétrica

Puede observarse que se obtuvieron árboles para todas las clases diamétricas, pero se muestreó una mayor cantidad en los diámetros entre 30 cm y 40 cm de DAP. Esto es explicado por la selección aleatoria de los sitios de muestreo en áreas de aprovechamiento y es un reflejo de los diámetros más utilizados para la industria.

2.6.2 Evaluación de los modelos matemáticos

A. Coeficiente de determinación de los modelos

Los modelos fueron evaluados utilizando valores obtenidos en campo a través de las cubicaciones. Para describir el ajuste de los modelos se calculó el coeficiente de determinación de cada uno, al igual que los cuadrados medios del error (CME), que se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Coeficiente de determinación y cuadrados medios del error de las ecuaciones

	R ²	CME
Peters	0.991533	0.005853
Sánchez	0.991534	0.026247
Zapon	0.991533	0.006944

Donde:

R²: Coeficiente de determinación.

CME: Cuadrados medios del error.

Debe notarse que los coeficientes de determinación son muy cercanos a 1 y los CME son bastante bajos. Las ecuaciones presentan coeficientes de determinación muy similares, pero hay una mejor diferenciación en los cuadrados medios del error.

Se graficaron también los volúmenes estimados de cada árbol para cada ecuación y los volúmenes reales. En la figura 8, pueden observarse los volúmenes reales en color azul, en naranja la ecuación de Peters, en amarillo la ecuación de Zapón y en gris la ecuación de Sánchez.

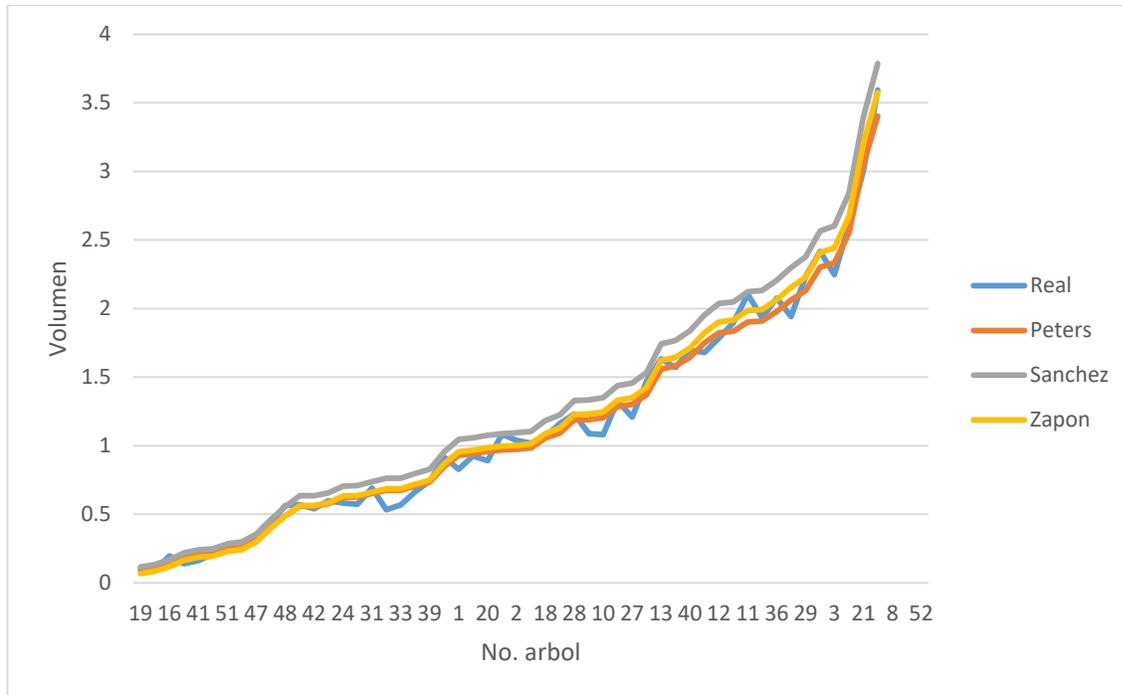


Figura 8. Comparación en la estimación de volumen entre las ecuaciones evaluadas.

Esta gráfica explica lo observado en el cuadro 2: todas las ecuaciones tienen una tendencia muy parecida a la de los valores reales y por eso presentan coeficientes de determinación muy cercanos a 1. Sin embargo, todas tienden a sobreestimar los valores de volumen, particularmente en el caso de la ecuación de Sánchez que es la que presenta los valores de CME más altos.

B. ANDEVA de dos vías

a. Supuestos

Para verificar el cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza, se graficó en una primera instancia la dispersión de los residuos del ANDEVA, presentado en la figura 9.

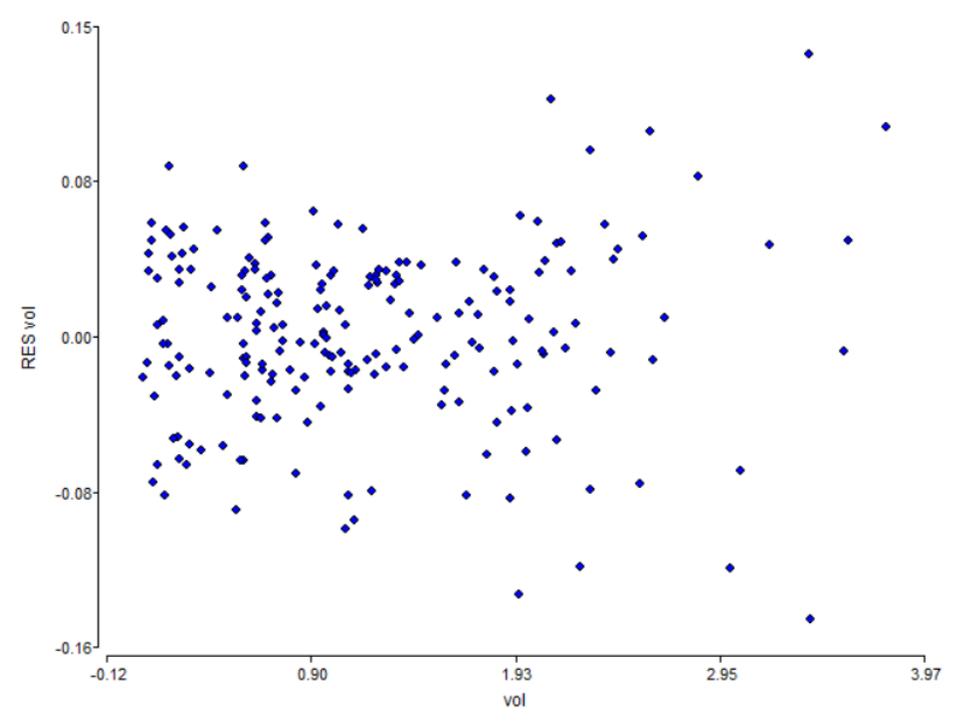


Figura 9. Gráfico de dispersión de residuos del ANDEVA realizado a los árboles muestreados.

En esta gráfica puede observarse que los residuos no siguen una tendencia específica, sino que muestran una distribución aleatoria. Esto quiere decir que la varianza es homogénea y sí se cumple el supuesto de homocedasticidad (Kim 2019).

Además, es necesario verificar la normalidad de los residuos, lo cual se realizó utilizando una gráfica de cuantiles, correspondiente a la figura 10.

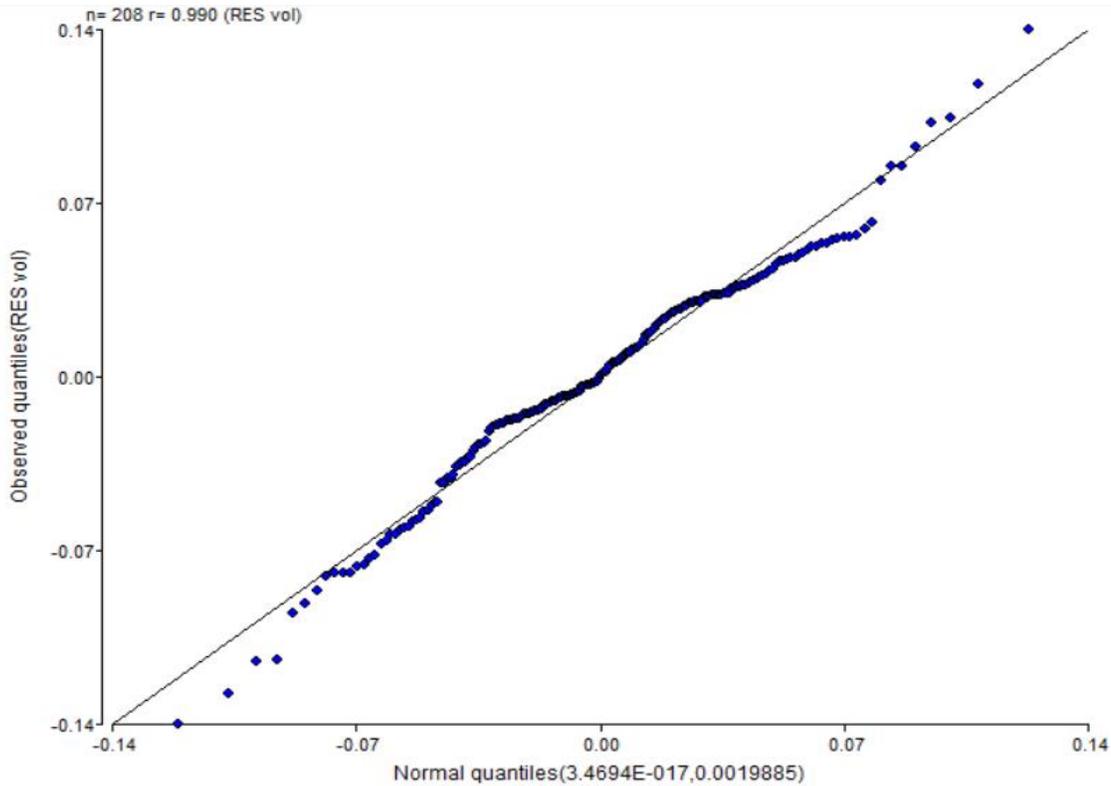


Figura 10. Gráfico de cuantiles de los residuos del ANDEVA realizado a los árboles muestreados.

En esta gráfica se observa que los puntos siguen una línea casi completamente recta. Esto quiere decir que los puntos sí siguen una distribución normal (Nau 2019).

La normalidad también se confirmó a través de una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, cuyos resultados pueden observarse en el cuadro 8.

Cuadro 8. Prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los residuos del ANDEVA.

Variable	D.E	W	p
Residuos volumen	0.04	0.98	0.1364

Donde:

D.E: Desviación estándar.

W: Estimador W para prueba Shapiro-Wilk.

p: Valor de p.

En esta prueba se obtuvo un valor de p superior a 0.05, indicando que sí se cumple el supuesto de normalidad.

b. Resultados del ANDEVA

i. ANDEVA general

En el cuadro 9 pueden observarse los resultados del análisis de varianza que se realizó utilizando la totalidad de los árboles de la muestra.

Cuadro 9. ANDEVA para los árboles muestreados a nivel general.

Fuente	S.C.	g.l.	C.M.	F	Valores p
Modelo	137.77	54	2.55	948.32	<0.0001.
Árbol	137.11	51	2.69	999.32	<0.0001.
Tratamiento	0.66	3	0.22	81.29	<0.0001.
Error	0.41	153	2.70E-03		
Total	138.18	207			

Donde:

S.C: Suma de cuadrados.

g.l: Grados de libertad.

C.M: Cuadrados medios.

F: Valor de F.

Los resultados del análisis de varianza muestran valores de p inferiores al nivel de significancia establecido del 5 %, tanto al evaluar el factor “árboles” como el factor “ecuación”. Esto quiere decir que la mayor parte de las variaciones entre los valores pueden ser explicadas por los factores considerados en el modelo y no simplemente por factores aleatorios. En otras palabras, las diferencias, tanto entre bloques (árboles) como tratamientos (ecuaciones), son significativas.

En el caso de las diferencias entre árboles, este resultado es esperado ya que la muestra está conformada por árboles de diámetros variados y por ende volúmenes muy diferentes entre árboles. Los resultados confirman entonces que sí se muestreó una variedad de árboles de distintos volúmenes y no únicamente árboles con volúmenes similares. Esto permite saber que, en efecto, las ecuaciones están siendo evaluadas para árboles de una variedad de tamaños.

Por otro lado, los resultados para el factor “ecuaciones” muestran que sí existen diferencias significativas entre ellas, o entre las ecuaciones y el volumen real. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis post hoc para determinar qué ecuaciones son las que presentan diferencias o similitudes. Este análisis consistió en una prueba de Dunnett y de Scott-Knott que puede observarse en los cuadros 12 y 13.

ii. ANDEVA por zonas de vida

- **Bosque Húmedo Subtropical (templado)**

En el cuadro 5 puede observarse los resultados del análisis de varianza realizado para los árboles de la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado.

Cuadro 10. ANDEVA para los árboles muestreados en el Bosque Húmedo Subtropical Templado.

S.V	S.C.	g.l.	C.M.	F	Valores p
Modelo	44.68	22	2.03	767.71	<0.0001.
Árbol	44.55	19	2.34	886.36	<0.0001.
Tratamient	0.13	19	2.34	886.36	<0.0001.
Error	0.14	54	2.6E-03		
Total	44.82	76			

Donde:

S.C: Suma de cuadrados.

g.l: Grados de libertad.

C.M: Cuadrados medios.

F: Valor de F.

Los valores de p observados en el cuadro 5 muestran que existen diferencias significativas entre las distintas ecuaciones (tratamientos). Para determinar si existen ecuaciones que no presenten diferencias con los valores reales, se realizó una prueba de Scott-Knott que se observa en el cuadro 13.

• Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical

En el cuadro 6 puede observarse los resultados del análisis de varianza realizado para los árboles de la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical.

Cuadro 11. ANDEVA para los árboles muestreados en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical

S.V.	S.C	g.l.	C.M.	F	Valores p
Modelo	76.76	32	2.4	992.42	<0.0001.
Árbol	76.36	29	2.63	1089.37	<0.0001.
Tratamiento	0.4	3	0.13	55.22	<0.0001.

Continuación Cuadro 11

Error	0.21	87	2.4E-0.3
Total	76.97	119	

Donde:

S.C: Suma de cuadrados.

g.l: Grados de libertad.

C.M: Cuadrados medios.

F: Valor de F.

Al igual que en la zona de vida discutida en la sección anterior, se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical. En este caso también se realizó una prueba de Scott-Knott observada en el cuadro 10.

2.6.3 Selección del modelo más adecuado

A. Prueba post-hoc

Después de los análisis de varianza, se realizaron pruebas post-hoc para determinar las diferencias entre ecuaciones. En los cuadros 12 y 13 pueden observarse estos resultados para todos los árboles de la muestra y en los cuadros 14 y 15 se observan los resultados para cada zona de vida.

Cuadro 12. Prueba post-ANDEVA de Dunnett para los árboles muestreados a nivel general.

Contrastes (Dunnett)				
Tratamientos	SC	gl	CM	Valor p
Peters - real	1.2E-04	1	1.2E-04	0.8353
Sanchez - real	0.48	1	0.48	<0.0001.
Zapón - Real	0.03	1	0.03	0.0005
Total	0.66	3	0.22	<0.0001.

Puede observarse en el cuadro 12 que todos los modelos, excepto el de Peters, presentan un valor de p inferior a 0.05, indicando que solo este último no presenta diferencias significativas con los valores reales.

Cuadro 13. Prueba post-ANDEVA de Scott-Knott para los árboles muestreados a nivel general.

Trat	Medias	n	Grupo
Real	1.14	52	A
Peters	1.14	52	A
Zapón	1.18	52	B
Sánchez	1.28	52	C

Esto mismo se confirma con la prueba de Scott-Knott, en la cual se agrupa a la ecuación de Peters con los valores reales como se observa en el cuadro 13.

En el cuadro 14 se presentan los resultados de la prueba de Scott-Knott realizada para comparar los modelos en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado.

Cuadro 14. Prueba de Scott-Knott para los árboles muestreados en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado.

Tratamiento	Media	n	Grupo
Real	0.96	22	A
Peters	0.99	22	A
Zapón	1.02	22	B
Sánchez	1.11	22	C

Puede observarse que en esta zona también se agrupa a la ecuación de Peters con los valores reales. Lo mismo puede observarse en el cuadro 15 para la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical

Cuadro 15. Prueba de Scott-Knott para los árboles muestreados en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical.

Tratamiento	Media	n	Grupo
Real	1.25	30	A
Peters	1.27	30	A
Zapón	1.30	30	B
Sánchez	1.40	30	C

Con este análisis se buscaba determinar si las ecuaciones que se generaron a nivel local eran aptas para ser aplicadas a nivel de la zona de vida en la que fueron generadas, y determinar si en estos casos eran más adecuadas que la ecuación de Peters. Sin embargo, los resultados de los análisis de varianza y post ANDEVA muestran nuevamente que la ecuación de Peters sigue siendo la única que no presenta diferencias significativas con los valores reales, mientras que las otras dos ecuaciones sí. Esto evidencia que no siempre es adecuado analizar únicamente el coeficiente de determinación de las ecuaciones.

2.7 CONCLUSIONES

1. Las tres ecuaciones mostraron coeficientes de determinación muy cercanos a 1, indicando que casi el 100 % de las variaciones en los valores predichos son explicados por los modelos y un pequeño porcentaje por el error. El coeficiente de variación fue también muy bajo para todas, pero la ecuación de Peters presentó el menor coeficiente.
2. Los análisis de varianza presentaron valores de p inferiores a 0.05 al comparar entre ecuaciones, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula y se puede decir que sí existen diferencias significativas entre las ecuaciones o entre ecuaciones y valores reales. Lo mismo se observa tanto a nivel general como a nivel de zonas de vida.
3. Se determinó que, a nivel general, el modelo de Peters fue el único que no presentó diferencias significativas con los valores reales, por lo que es el modelo más recomendado. Así mismo, para ambas zonas de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado y Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical, el modelo de Peters fue el único modelo que no presentó diferencias significativas con los volúmenes reales y por lo tanto es el modelo más recomendado.

2.8 RECOMENDACIONES

1. Continuar utilizando la ecuación de Roland Peters para la estimación de volumen sin corteza de árboles individuales de *Pinus oocarpa* Schiede, tanto a nivel regional como nacional ya que no presentó diferencias significativas con los valores de volumen reales. La tabla de volumen puede observarse en el cuadro 11A y la ecuación es la siguiente:

$$V = 0.0268287659 + 0.0000287215 * D^2 * H.$$

Donde:

V: Volumen total sin corteza (m³).

D: Diámetro (cm), a la altura del pecho (1.30m).

H: Altura total del árbol (m).

2. Validar las ecuaciones de volumen para las demás zonas de vida en las cuales encuentra distribuido *Pinus oocarpa* Schiede en Guatemala.
3. Generar y validar ecuaciones de volumen para la estimación de volumen con leña para *Pinus oocarpa* Schiede y las demás especies de coníferas en Guatemala.
4. Fomentar las investigaciones del mismo tipo para la validación de ecuaciones de volumen de otras especies de coníferas en Guatemala, de manera a contribuir con la mejora del manejo forestal en el país.
5. Generar ecuaciones de volumen para otras especies forestales que aún no cuentan con formas exactas de cuantificar su volumen en pie, para que pueda haber más herramientas prácticas y exactas para su cubicación.

9. Harrison, S. 1990. Regression of a model on real-system output: an invalid test of model validity. *Agricultural Systems* 34(3):183-190.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0308521X90900833INAB>
 B (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). 2004. Guía práctica para la cubicación de madera. Guatemala. p. 13.

10. 2017. Pino de ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.). Guatemala. 40 p.

11. Kim, H-Y 2019. Statistical notes for clinical researchers: Simple linear regression 3 – residual analysis. *Restorative Dentistry & Endodontics* 44(1):1-8.
 DOI: <https://doi.org/10.5395/rde.2019.44.e11>

12. Kindt, R; Coe, R. 2005. Analysis of counts of trees. *In* Kindt, R; Coe, R. Tree diversity analysis; A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre. p. 71-101. Disponible en
https://www.researchgate.net/profile/Roeland_Kindt/publication/270503803_Kindt_R_Coe_R_Tree_Diversity_Analysis_A_Manual_and_Software_for_Common_Statistical_Methods_and_Biodiversity_Studies_World_Agroforestry_Centre_ICRAF_Nairobi/links/586b2c8b08ae329d621137f1/Kindt-R-Coe-R-Tree-Diversity-Analysis-A-Manual-and-Software-for-Common-Statistical-Methods-and-Biodiversity-Studies-World-Agroforestry-Centre-ICRAF-Nairobi.pdf

13. Law, A. 1983. Statistical analysis of simulation output data. *Operations Research* 31(5):981-1197. <https://www.jstor.org/stable/170836?seq=1>

14. Lee, S; Lee, DK. 2018. Multiple comparison test and its imitations what is the proper way to apply the multiple comparison test? *KJA Korean Journal Anesthesiology* (5):353-360. DOI: <https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00242>.

15. Madriz Masis, JP. 2005. Cambios genéticos en la regeneración natural de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* Schiede ex Schlechtendal, causado por el manejo forestal y la deforestación en Comayagua, Honduras. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE-, Escuela de Postgrado. 235 p. Disponible en
http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5168/Cambios_geneticos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

16. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2000. Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de Guatemala. Guatemala. 48 p. Disponible en
<https://www.maga.gob.gt/download/clasificacion-suelo.pdf>

17. Mitchell, PL. 1997. Misuse of regression for empirical validation of models. *Agricultural Systems* 54(3):313-326.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X96000777>
18. Nau, R. 2019. Regression diagnostics: Testing the assumptions of linear regression. USA, Duke University, Fuqua School of Business. Consultado 2 mar. 2019. Disponible en <http://people.duke.edu/~rnau/testing.htm>
19. Peters, R. 1977. Tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala: Volúmenes cúbicos aserrables y de madera para pulpa según diversos índices de utilización. Guatemala, FAO / PNUD / INAFOR.
20. Romahn De la Vega, CF; Ramírez Maldonado, H. 2004. Dendrometría. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 313 p.
21. Sánchez Montenegro, HE. 2009. Generación de tablas de volumen para pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede), en el departamento de Zacapa, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 76 p. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9134/1/CD%20CEDIA.pdf>
22. Standley, PC; Steyermark, JA. 1958. Flora de Guatemala. Chicago, US, Chicago Natural History Museum: Fieldiana Botany, v. 24, pte. 1, p. 51-54.
23. Universidad Nacional de Colombia. 2005. Prueba de significancia para cada coeficiente de la regresión.
http://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/libros/2007315/lecciones_html/capitulo_5/leccion7/leccion7-2/hipo-ind-beta.html.
24. Zapón Morales, DA. 2009. Tablas de volumen para pino ocote *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlttl , en áreas de distribución natural de la región sur del departamento de El Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 78 p. <http://bibliod.url.edu.gt/Tesis/06/04/Zapon-Daniel/Zapon-Daniel.pdf>



2.10 ANEXOS

Nombre encargado: _____ Fecha: _____

N° árbol:	
Fuste (recto, bifurcado, torcido,...)	
Sanidad:	
Finca (o municipio):	
Coordenadas	
H total	0
DAP:	
Corteza al DAP	

Leña ramas	
Ancho de pila (m)	
Alto de pila (m)	
Largo de pila (m)	
Factor de apl.	
Observac.	
Vol aparente	0
Vol real	0

Sección	Altura (m)	Largo sección (m)	Diámetro (cm)	Grosor corteza (cm)	Observación
Tocón	0				
1	0				
2	0				
3	0				
4	0				
5	0				
6	0				
7	0				
8	0				
9	0				
10	0				
11	0				
12	0				
13	0				
14	0				
15	0				
16	0				
17	0				
18	0				
TOTAL					

Observaciones

Fuente: elaboración propia (2019).

Figura 11A. Boleta de campo utilizada para la cubicación de árboles individuales de *Pinus oocarpa* Schiede.

Cuadro 16A. Tabla de volumen total para Pinus oocarpa Schiede elaborada por Roland Peters (Peters, 1977)

DAP (cm)	ALTURA TOTAL (m)											
	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
	VOLUMEN (m ³)											
10	0.053	0.061	0.07	0.079	0.087	0.096	0.104	0.113	0.122	0.13	0.139	0.147
12	0.064	0.076	0.089	0.101	0.114	0.126	0.138	0.151	0.163	0.176	0.188	0.201
14	0.077	0.094	0.111	0.128	0.145	0.162	0.179	0.196	0.213	0.229	0.246	0.263
16	0.093	0.115	0.138	0.159	0.181	0.203	0.225	0.247	0.269	0.292	0.314	0.336
18	0.111	0.138	0.166	0.194	0.222	0.25	0.278	0.306	0.334	0.362	0.39	0.418
20	0.13	0.165	0.199	0.234	0.268	0.303	0.337	0.371	0.406	0.44	0.475	0.509
22	0.152	0.194	0.235	0.277	0.319	0.36	0.402	0.444	0.486	0.527	0.569	0.611
24	0.176	0.225	0.275	0.325	0.374	0.424	0.474	0.523	0.573	0.622	0.672	0.722
26	0.202	0.26	0.318	0.376	0.435	0.493	0.551	0.609	0.668	0.726	0.784	0.842
28	0.229	0.297	0.365	0.432	0.5	0.567	0.635	0.702	0.77	0.837	0.905	0.973
30	0.259	0.337	0.415	0.492	0.57	0.647	0.725	0.802	0.88	0.957	1.035	1.113
32	0.292	0.38	0.468	0.556	0.644	0.733	0.821	0.909	0.997	1.086	1.174	1.262
34	0.326	0.425	0.525	0.624	0.724	0.824	0.923	1.023	1.122	1.222	1.322	1.421
36	0.362	0.474	0.585	0.697	0.809	0.92	1.032	1.144	1.255	1.367	1.479	1.59
38	0.4	0.525	0.649	0.773	0.898	1.022	1.147	1.271	1.395	1.52	1.644	1.769
40	0.44	0.578	0.716	0.854	0.992	1.13	1.268	1.405	1.543	1.681	1.819	1.957
42	0.483	0.635	0.787	0.939	1.091	1.243	1.395	1.547	1.699	1.851	2.003	2.155
44	0.527	0.694	0.861	1.028	1.195	1.361	1.528	1.695	1.862	2.029	2.195	2.362
46	0.574	0.756	0.938	1.121	1.303	1.485	1.668	1.85	2.032	2.215	2.397	2.579
48	0.622	0.821	1.019	1.218	1.416	1.615	1.814	2.012	2.211	2.409	2.608	2.806
50	0.673	0.888	1.104	1.319	1.535	1.75	1.966	2.181	2.396	2.612	2.827	3.043
52	0.726	0.959	1.192	1.425	1.658	1.891	2.124	2.357	2.59	2.823	3.056	3.289
54	0.781	1.032	1.283	1.534	1.786	2.037	2.288	2.539	2.791	3.042	3.293	3.544
56	0.837	1.108	1.378	1.648	1.918	2.189	2.459	2.729	2.999	3.269	3.54	3.81
58	0.896	1.186	1.476	1.766	2.056	2.346	2.636	2.925	3.215	3.505	3.795	4.085
60	0.957	1.268	1.578	1.888	2.198	2.508	2.819	3.129	3.439	3.749	4.059	4.37
62	1.02	1.352	1.683	2.014	2.345	2.677	3.008	3.339	3.67	4.001	4.333	4.664
64	1.086	1.439	1.791	2.144	2.497	2.85	3.203	3.556	3.909	4.262	4.615	4.968
66	1.153	1.528	1.903	2.279	2.654	3.029	3.405	3.78	4.155	4.531	4.906	5.281
68	1.222	1.621	2.019	2.417	2.816	3.214	3.613	4.011	4.409	4.808	5.206	5.605
70	1.293	1.716	2.138	2.56	2.982	3.404	3.827	4.249	4.671	5.093	5.516	5.938
72	1.367	1.814	2.26	2.707	3.154	3.6	4.047	4.494	4.94	5.387	5.834	6.28
74	1.442	1.914	2.386	2.858	3.33	3.802	4.273	4.745	5.217	5.689	6.161	6.633
76	1.52	2.018	2.515	3.013	3.511	4.008	4.506	5.004	5.501	5.999	6.497	6.994
78	1.6	2.124	2.648	3.172	3.696	4.221	4.745	5.269	5.793	6.318	6.842	7.366
80	1.681	2.233	2.784	3.336	3.887	4.438	7.99	5.541	6.093	6.644	7.196	7.747

Fuente: elaboración propia (2019).

The seal of the Academia Carolina is circular, featuring a central figure of a woman in a red and white dress, likely a saint or historical figure, surrounded by various symbols including a golden crown, a lion, a castle, and a knight on a white horse. The Latin text "ACADEMIA CAROLINA" is at the top, "ORBIS CONSPICUA" on the left, "CETTERAS" at the bottom left, "MALENSIS INTER" at the bottom, and "COACTEM" on the right.

CAPÍTULO III. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE MANEJO DE BOSQUES NATURALES, DE LA DIRECCIÓN DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE BOSQUES, DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES

3.1 PRESENTACIÓN

El Sistema de Información Forestal de Guatemala – SIFGUA - fue creado con el propósito de consolidar, analizar y socializar la información que se genera a través las principales actividades forestales del país. El objetivo es que esta información que pueda ser utilizada por las autoridades y público en general como una fuente de información fiable a nivel nacional contribuyendo así al desarrollo del Sector Forestal de Guatemala.

El INAB, en el cumplimiento de su mandato legal, contribuye a la funcionalidad del SIFGUA, aportando datos generados a través de evaluaciones y monitoreos de las diferentes actividades forestales. Entre las acciones principales del equipo de campo del INAB se encuentra la georreferenciación y delimitación de los proyectos forestales. Sin embargo, muchos proyectos se encuentran mal georeferenciados, ya sea por dificultades en el geoposicionamiento o errores de tabulación al ingresar las coordenadas a la base de datos.

Por lo tanto, uno de los enfoques principales fue la corrección de la información geográfica del sistema SIFGUA. Debido a la gran cantidad de proyectos en la base de datos, este proceso se dividió en tres servicios que corresponden cada uno a un tipo de polígono en particular. El primer servicio consistió en la identificación y corrección de polígonos erróneos de las fincas bajo licencia, el segundo en los polígonos correspondientes a las licencias de producción, y el tercero en una subdivisión de estos que corresponden a los POAs. Los distintos tipos de polígonos tienen una relación entre sí, por lo que en cada etapa se veló por conservar la congruencia con los polígonos corregidos en las etapas anteriores.

Además de la contribución al sistema SIFGUA, también se buscó actualizar los conocimientos del departamento de Manejo de Bosques Naturales sobre las investigaciones existentes en temas de importancia para el departamento. Así pues, el cuarto servicio consistió en la actualización de investigaciones para la estimación de volumen de árboles individuales de coníferas en Guatemala.

3.2 SERVICIO 1: REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE POLÍGONOS DE FINCAS BAJO LICENCIA PARA EL SISTEMA SIFGUA

SIFGUA es una herramienta de captura, procesamiento y análisis primario de la información generada dentro del sector forestal nacional. Como parte de este sistema se registra la ubicación y delimitación de las áreas bajo licencia. Sin embargo, muchas de estas áreas están delimitadas por polígonos con errores de distintos tipos, que deben ser corregidos antes de ser cargados en la plataforma en línea.

3.2.1 Objetivos

A. Objetivo General

- Corregir los polígonos de fincas bajo licencia para el sistema SIFGUA.

B. Objetivos Específicos

- 1 Identificar los puntos con coordenadas erróneas.
- 2 Corregir las coordenadas de los puntos previamente identificados.
- 3 Marcar los puntos y polígonos que necesiten futura revisión.

3.2.2 Metodología

A. Identificación sistematizada de puntos con coordenadas erróneas

En un primer paso para corregir los puntos, se ordenaron las coordenadas de menor a mayor, de manera a identificar aquellos puntos con coordenadas que salen del rango del

país. Lo mismo se realizó ordenándolas de mayor a menor, en las coordenadas de latitud y longitud. En todos los casos se revisaron las coordenadas identificadas como erróneas para determinar el tipo de error en las coordenadas.

B. Corrección de los puntos con errores notorios.

Los puntos identificados se compararon con otros puntos de la misma licencia, cuando era posible, de manera a determinar si el error era fácilmente corregible. En la mayoría de los casos se encontraron errores de tabulación, que pudieron ser corregidos al referirse a las coordenadas de los demás puntos de un mismo polígono. En ciertos casos, se trataba de errores de proyección, que se corrigieron re proyectando los puntos y verificando que se encontraran en el municipio indicado en la base de datos.

C. Trazo y revisión de polígonos de fincas.

Después de una primera depuración de la base de datos de coordenadas, se trazaron los polígonos de fincas. Una vez trazados los polígonos de fincas se procedió a la revisión manual de todos los polígonos para identificar aquellos que tenían puntos desordenados o puntos con coordenadas erróneas.

D. Corrección de los puntos con errores menos evidentes

Habiendo identificado los polígonos con errores se procedió a reordenar los puntos o corregir las coordenadas de los puntos erróneos.

E. Trazo y revisión de los nuevos polígonos

Se procedió luego a volver a trazar los polígonos con las coordenadas corregidas de manera a determinar si quedaron con polígonos con errores. Este paso consiste en una revisión más detallada de los polígonos.

F. Repetición de corrección y vuelta a trazar polígonos

Los dos pasos anteriores se repitieron numerosas veces, para revisar cada vez con mayor detalle los polígonos con errores en un intento de corregir la totalidad. Los polígonos que no pudieron ser corregidos fueron identificados.

G. Identificación de los polígonos con errores deben ser revisados en expediente

Se marcaron los polígonos que deben ser revisados en expediente y se elaboró un cuadro resumen para poder compartir con las subregiones para revisión.

3.2.3 Resultados

A. Puntos con coordenadas erróneas

En esta primera fase se produjo un shapefile y un documento Excel señalando los puntos que necesitan corrección. En la figura 12 puede observarse el resultado del shapefile creado, en el que muchos de los puntos están fuera del territorio nacional.

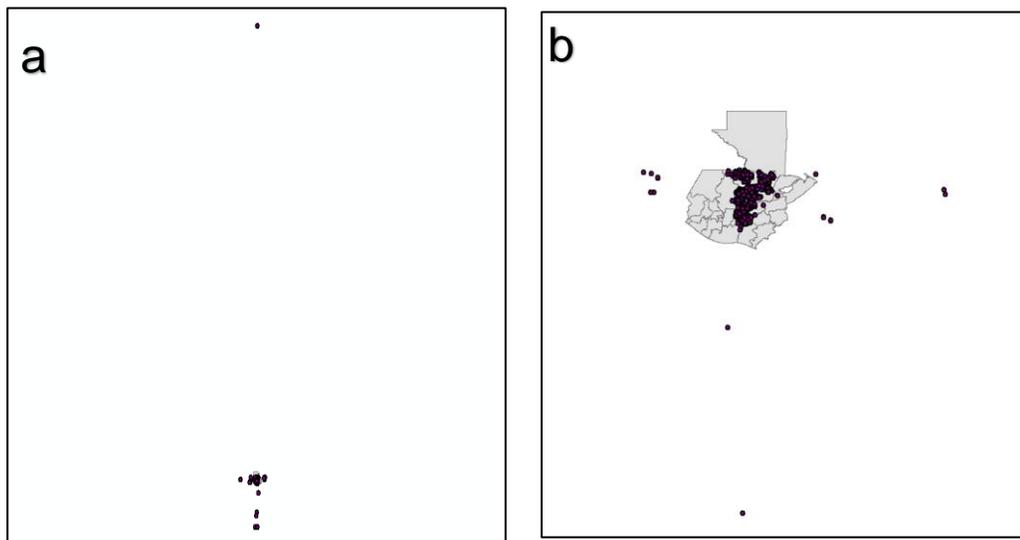


Figura 12. Vista de puntos erróneos. a) vista alejada b) vista de cerca

B. Corrección de polígonos

Los resultados de esta fase fueron los mismos archivos de la etapa anterior, pero con los puntos corregidos. En la figura 13 puede observarse un ejemplo de las coordenadas que debieron ser corregidas.

22-1506-51-1.1.1-2017	10	7	499226.00	1653657.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	4	498117.00	1653453.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	3	498190.00	1653402.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	2	498199.00	1653307.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	5	498200.00	1653550.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	1	498215.00	1653238.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	27	498215.00	1653238.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	6	498218.00	1653609.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	8	498244.00	1653719.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	26	498300.00	1653270.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	25	498312.00	1653260.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	22	498331.00	1653232.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	10	498333.00	1653485.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	9	498335.00	1653575.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	21	498350.00	1653208.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	23	498358.00	1653259.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	24	498368.00	1653282.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	20	498401.00	1653176.00	5/24/2017	796
22-1506-51-1.1.1-2017	10	11	498403.00	1653468.00	5/24/2017	796

Figura 13. Corrección de coordenadas en casos evidentes

En la figura 14 se observa también el shapefile resultante con los polígonos de fincas corregidos en color verde.

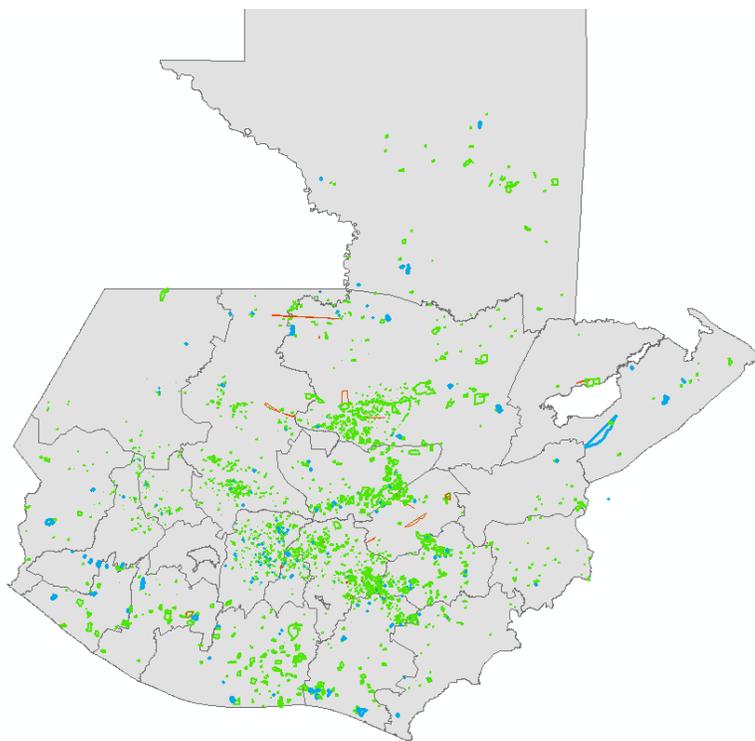


Figura 14. Polígonos de fincas corregidos e identificados

C. Identificación de puntos para futura revisión

Por último, se produjo un shapefile que identifica los polígonos que aún necesitan ser corregidos o revisados, como puede verse en los polígonos rojos y azules de la figura 15.



Figura 15. Acercamiento de polígonos de fincas corregidos (en verde), por corregir (en rojo) y por revisar (en azul)

El shapefile fue acompañado por un cuadro resumen que indica los puntos que deben corregirse y las razones por las cuales no pudieron ser corregidos, como puede observarse en la figura 16.

Codigo_Municipi	Codigo_Licencia	Punto	Coordenada_X	Coordenada_Y	Fecha_Aprobacion	Año	Id_poligonc	Error	Observac
111	10-132-38-1.1-2012	3	493335.00	1632803.00	5/6/2012	2012	96	1	Puntos cruzados
111	10-132-38-1.1-2012	4	492995.00	1632805.00	5/6/2012	2012	96	1	Puntos cruzados
111	10-132-38-1.1-2012	2	493374.00	1633614.00	5/6/2012	2012	96	1	Puntos cruzados
111	10-132-38-1.1-2012	1	493017.00	1633882.00	5/6/2012	2012	96	1	Puntos cruzados
111	10-132-38-1.1-2012	5	493017.00	1633882.00	5/6/2012	2012	96	1	Puntos cruzados
111	10-132-38-1.1-2012	3	493335.00	1633803.00	5/6/2012	2012	96	1	Puntos cruzados
111	10-132-38-1.1-2012	4	492995.00	1633805.00	5/6/2012	2012	96	1	Puntos cruzados
103	10-124-69-1.1-2012	5	508001.00	1611759.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	6	508036.00	1611790.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	4	507921.00	1611801.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	7	508084.00	1611858.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	3	507935.00	1611858.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	1	508089.00	1611870.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	8	508089.00	1611870.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	2	507961.00	1611953.00	10/22/2012	2012	100	1	Tiene la misma licencia que el 108 pero están separados
110	10-131-63-1.1-2012	1	485473.00	1627965.00	2/10/2012	2012	104	1	
103	10-124-69-1.1-2012	1	521112.00	1613306.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	14	521112.00	1613306.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	2	520719.00	1613328.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	13	521120.00	1613330.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	6	521028.00	1613360.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	5	520961.00	1613413.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	12	521156.00	1613467.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	11	521166.00	1613476.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	10	521179.00	1613478.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	4	520974.00	1613482.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	9	521188.00	1613490.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	8	521186.00	1613503.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	7	521152.00	1613514.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados
103	10-124-69-1.1-2012	3	520837.00	1613526.00	10/22/2012	2012	108	1	Tiene la misma licencia que el 100 pero están separados

Figura 16. Cuadro con puntos para revisar en expediente

3.2.4 Evaluación

Los errores en la captura de coordenadas pueden ser difíciles detectar pero principalmente difíciles de corregir. Con este servicio se pudieron corregir la mayoría de polígonos de licencia que estaban mal registrados en el sistema SIFGUA. Esto es de gran utilidad ya que estos polígonos podrán ser ahora cargados en la plataforma en línea para uso de técnicos, regentes y el público en general. Además, el cuadro resumen producido permitirá saber a qué subregiones solicitar información para corregir los polígonos que tenían errores muy grandes y así aumentar la fiabilidad de estos datos.

3.3 SERVICIO 2: REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE POLÍGONOS DE LICENCIAS DE PRODUCCIÓN

3.3.1 Objetivos

A. Objetivo General

Corregir los polígonos de licencias de producción.

B. Objetivos específicos

- 1 Identificar los puntos con coordenadas erróneas.
- 2 Corregir las coordenadas de los puntos previamente identificados.
- 3 Marcar los puntos y polígonos que necesiten futura revisión.

3.3.2 Metodología

A. Identificación sistematizada de puntos con coordenadas erróneas

Al igual que con los polígonos de fincas, se ordenaron las coordenadas de menor a mayor, de manera a identificar aquellos puntos con coordenadas que salen del rango del país. Lo mismo se realizó ordenándolas de mayor a menor, en las coordenadas de latitud y longitud. En todos los casos se revisaron las coordenadas identificadas como erróneas para determinar el tipo de error en las coordenadas.

B. Corrección de los puntos con errores notorios.

Los puntos identificados en el paso anterior se revisaron y se corrigieron en los casos en los que era posible. En los casos en los que las correcciones no eran realizables, se marcaron los puntos para su futura revisión en expediente.

C. Trazo y revisión de polígonos de fincas.

Se colocaron identificadores de polígonos a los puntos de manera a agruparlos acorde a la licencia, para poder graficarlos con el software ArcMap. Los polígonos obtenidos se revisaron detalladamente para encontrar otros errores además de los identificados previamente.

D. Corrección de los puntos con errores menos evidentes

Habiendo identificado los polígonos con errores, se procedió a corregir los puntos que podían ser corregidos y a marcar los errores para futura revisión en expediente.

E. Trazo y revisión de los nuevos polígonos

Se trazaron nuevamente los polígonos en ArcMap de manera a identificar a una escala más detallada si existían más polígonos con errores. Estos polígonos se marcaron para volver a corregirlos.

F. Repetición de corrección y vuelta a trazar polígonos

Se realizaron las nuevas correcciones a los polígonos identificados y se siguieron repitiendo estos dos pasos hasta haber corregido e identificado la totalidad de polígonos.

G. Identificación de los polígonos con errores deben ser revisados en expediente

Los polígonos que no pudieron ser corregidos se marcaron y se realizó un cuadro resumen para su revisión en expediente.

H. Puntos con coordenadas erróneas

El primer resultado de esta fase fue un documento Excel con una columna que indica los puntos erróneos. Además de este documento Excel, también se produjo un shapefile de puntos en el cual se pueden identificar fácilmente los polígonos que necesitaban corrección.

I. Corrección de polígonos

En esta etapa, el resultado fue el mismo shapefile de puntos producido en la etapa anterior, pero con las coordenadas corregidas. Además, se guardaron las coordenadas en una hoja de cálculo Excel ya que es el formato utilizado para la base de datos de INAB. En la figura 17 pueden observarse los polígonos corregidos (en verde) y los polígonos que no pudieron ser corregidos (en rojo).

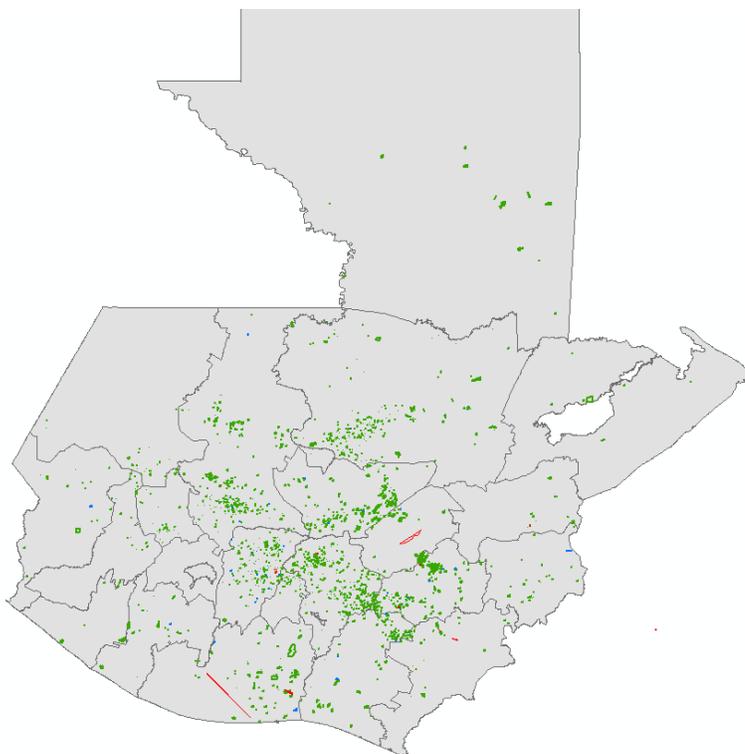


Figura 17: Polígonos de licencias de producción corregidos e identificados

J. Identificación de puntos para futura revisión

Por último, se produjo un cuadro resumen indicando los polígonos que no pudieron ser corregidos y las razones por las cuales no pudieron ser corregidos. Este cuadro se produjo en la forma de una hoja Excel que acompaña el otro documento y shapefile con las coordenadas de todos los polígonos.

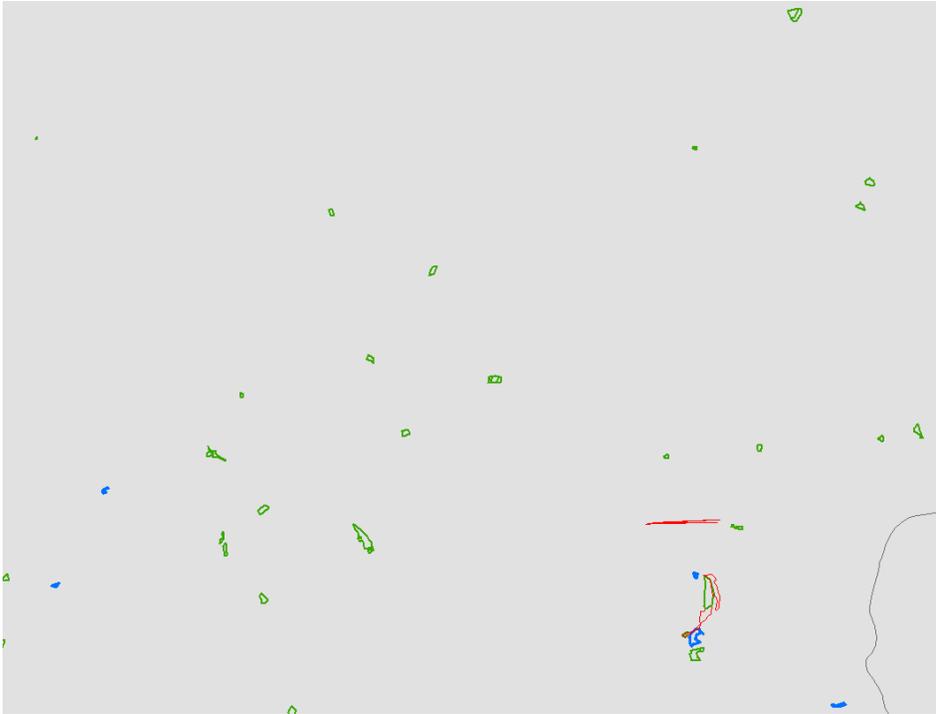


Figura 18. Vista cercana de polígonos de licencias de producción

3.3.3 Evaluación

Al igual que para los polígonos de fincas, es importante que el sistema SIFGUA cuente con información de buena calidad de los polígonos de producción. De lo contrario, la información a nivel nacional de las áreas de producción de madera sería errónea o muy poco precisa. Con este servicio se pudieron corregir los polígonos correspondientes a las licencias de producción, mejorando así la precisión y fiabilidad del SISTEMA SIFGUA y de la información sobre producción forestal a nivel nacional

3.4 SERVICIO 3: REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE POLÍGONOS DE POAS

En el mismo sistema SIFGUA están registrados los Planes Operativos Anuales – POA - para cada licencia. Los polígonos para estos POAs deben ser también revisados para identificar los errores en su ubicación y delimitación, verificando que se encuentren dentro de los polígonos de su licencia correspondiente.

3.4.1 Objetivos

A. Objetivo General

Corregir los polígonos Planes Operativos Anuales para cada licencia.

B. Objetivos específicos

- 1 Identificar los puntos con coordenadas erróneas.
- 2 Corregir las coordenadas de los puntos previamente identificados.
- 3 Marcar los puntos y polígonos que necesiten futura revisión.

3.4.2 Metodología

A. Identificación sistematizada de puntos con coordenadas erróneas

Para iniciar, se filtraron los puntos cuyas coordenadas se encontraban fuera de los límites nacionales. Esto sirvió como un primer filtro para detectar los puntos con errores más evidentes en sus coordenadas.

B. Corrección de los puntos con errores notorios.

Habiendo identificado estos puntos, se procedió a determinar si los errores posibles para corregirlos. En muchos casos las coordenadas de latitud y longitud estaban invertidas, en otros tenía números repetidos extra. Para asegurarse que las correcciones eran adecuadas, en muchos casos fue posible comparar con las coordenadas de otros puntos de la misma licencia que sí se encontraban en el lugar adecuado. Además, se verificó que los puntos estuvieran en el municipio que indica la base de datos.

C. Identificación automática de los puntos alejados de los demás puntos en un mismo polígono

Se utilizaron fórmulas de Excel para calcular la distancia promedio entre puntos de un mismo polígono y luego se identificaron automáticamente los puntos que se distanciaban significativamente de los demás puntos de un mismo polígono. De esta manera se identificó rápidamente los polígonos que debían ser corregidos por poseer algunos puntos con coordenadas erróneas. Cuando fue posible se corrigieron estos puntos y en el resto de los casos se dejaron marcados para su futura revisión.

D. Reordenación de puntos según código de POA y número de Rodal

Se procedió a ordenar los puntos en base al número de licencia y luego en base al número de polígono de POA dentro de la licencia. De esta manera se pudo asignar un número identificador a cada polígono que luego podrá ser utilizado en ArcMap.

E. Identificación de puntos sueltos

A través de fórmulas de Excel se identificaron los puntos sueltos, es decir las licencias que solo tienen un punto.

F. Identificación de puntos sin identificador de rodal

Se marcaron los puntos que tienen un mismo código de POA pero no poseen identificador de rodal para diferenciarlos entre sí. A estos polígonos se les deberá asignar distintos identificadores de polígonos de manera a separarlos entre sí.

G. Asignación de identificador de polígonos para cada rodal

A los polígonos que se encontraron sin identificador de rodal se los separó asignándoles distintos identificadores de polígonos.

H. Cuadro resumen de polígonos para su revisión en expediente

Se elaboró un cuadro resumen de los polígonos de POA que deben ser revisados en expediente.

3.4.3 Resultados

A. Puntos con coordenadas erróneas

Al igual que para los polígonos de fincas y de licencias de producción, para los polígonos de POAs se produjo un Excel que indica los puntos erróneos, acompañado de un shapefile que permite visualizarlos. En la figura 19 pueden observarse en color rojo los puntos erróneos de los polígonos de POA.

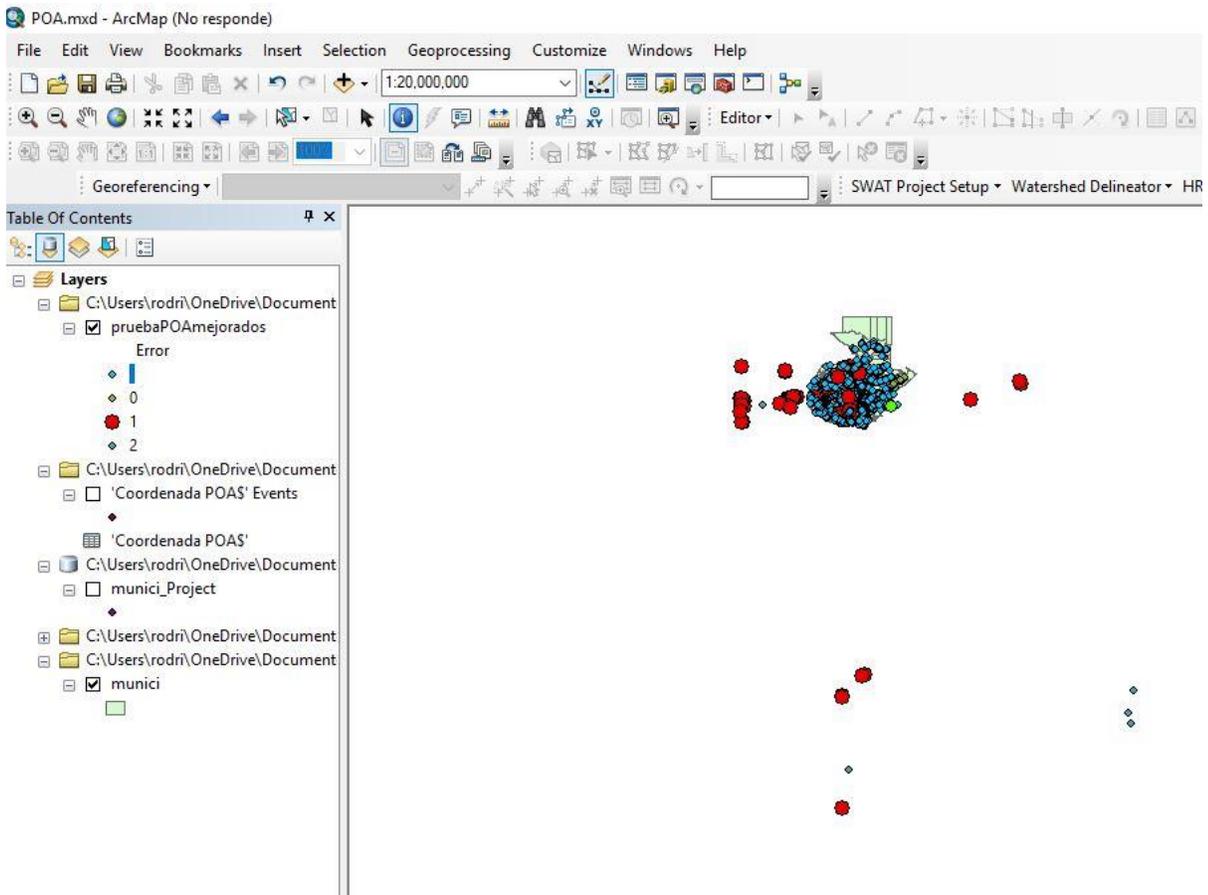


Figura 19. Puntos de POAs previos a su corrección

B. Corrección de polígonos

El resultado de la corrección de polígonos de POA fue un Excel y un shapefile que contienen puntos corregidos como pueden verse en la figura 20.

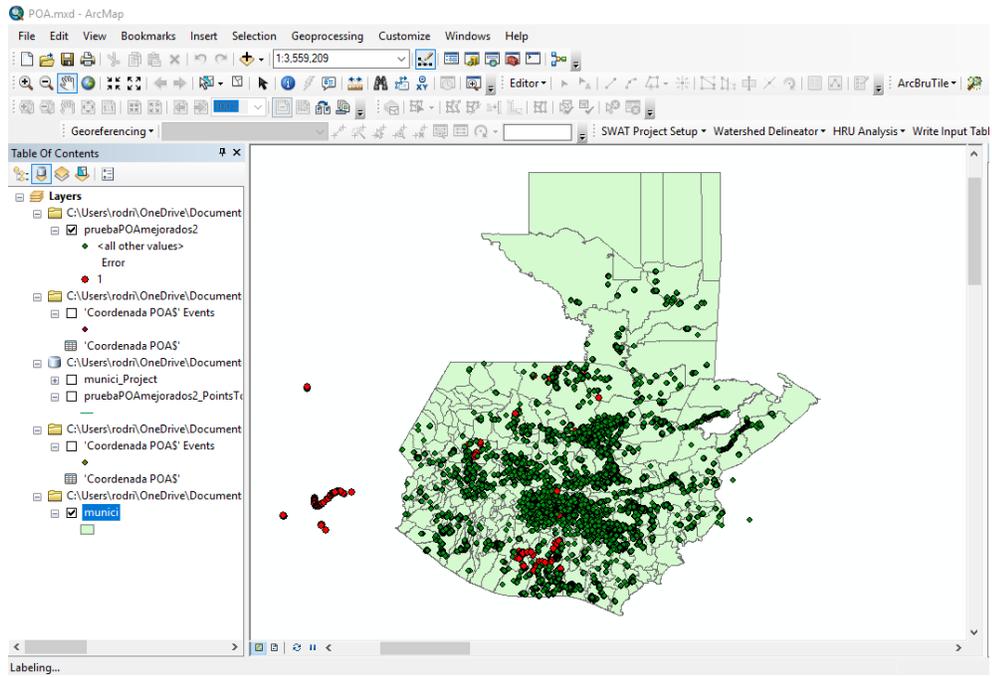


Figura 20. Puntos de POAs después de las primeras fases

El documento Excel en este caso también incluyó una columna corregida con los identificadores de rodal, como puede observarse en la figura 21.

No_Región	No_SubRegión	Departamento	Municipio	Código_Muni	Código_POA	No_Rodal	Punto	Coordenada_X	Coordenada_Y	Fecha_Aprobación	Id_poligono	Error	Detalle	Punto_suelto	Poligono_incompleto	puntos_Lejanos
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	1	501396	1614191	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	2	501413	1614179	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	3	501424	1614184	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	4	501444	1614116	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	5	501439	1614112	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	6	501428	1614102	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	7	501453	1614085	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	8	501375	1614063	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	9	501356	1614082	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	10	501336	1614102	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	11	501323	1614125	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	12	501315	1614153	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	13	501310	1614173	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	14	501329	1614177	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	15	501332	1614175	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	16	501345	1614161	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	17	501371	1614159	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	18	501370	1614171	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	19	501369	1614184	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	20	501369	1614186	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-101-1.6-2012-1	I	21	501396	1614191	4/10/2012		1	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	1	502891.0001	1615891	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	2	502889.0001	1615778	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	3	502965.0001	1615771	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	4	502968.0001	1615692	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	5	503005.4897	1615685.184	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	6	503014.0001	1615698	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	7	503019.1057	1615682.708	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	8	503034.0001	1615680	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	9	503044.0001	1615824	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	10	503050.0001	1615824	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	11	503037.0001	1615644	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	12	503028.0001	1615643	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	13	502951.0001	1615630	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	14	502891.0001	1615619	10/22/2013		2	0	0	0	0
I	I-1	GUATEMALA	GUATEMALA	101	10-101-105-1.6-2013-1	I	15	502713.0001	1615589	10/22/2013		2	0	0	0	0

Figura 21. Cuadro mostrando los distintos indicadores para identificar y filtrar los errores

C. Identificación de polígonos de puntos para futura revisión

Finalmente se produjo un Excel identificando todos los puntos que no pudieron ser corregidos, explicando las razones por las cuales no se pudieron corregir. Un ejemplo de este documento puede observarse en la figura 22.

Id_poligon	No_Regiorio	SubReg	Codigo_POA	No_Rodal	Error
3607	IV	IV-1	41-2101-7-1.1-2010-1	II	1
110	I	I-1	10-103-75-1.1-2016-1	null	1
143	I	I-1	10-110-103-1.6-2016-1	null	1
312	I	I-1	10-124-216-1.1-2014-1	I	1
391	I	I-1	10-124-46-1.1-2016-1	null	1
425	I	I-1	10-124-63-1.1-2011-1	I	1
426	I	I-1	10-124-63-1.1-2011-1	II	1
427	I	I-1	10-124-63-1.1-2011-1	III	1
463	I	I-1	10-124-88-1.1-2011-1	I	1
474	I	I-1	10-124-88-1.1-2011-1	XII	1
492	I	I-1	10-124-99-1.1-2012-1	I	1
560	I	I-1	10-126-50-1.1-2015-1	null	1
608	I	I-1	10-127-51-1.1-2016-1	null	1
674	I	I-1	10-129-93-1.6-2012-1	I	1
689	I	I-1	10-130-68-1.1-2015-1	null	1
795	I	I-1	10-132-1-1.1-2016-1	null	1
796	I	I-1	10-132-1-1.1-2016-2	null	1
847	I	I-1	10-132-3-1.1-2012-1	I	1
1055	II	II-1	21-1502-55-1.1-2010-1	I	1
1096	II	II-1	21-1602-35-1.1-2013-1	V	1
1101	II	II-1	21-1602-42-1.1-2010-1	I	1
1108	II	II-1	21-1602-66-1.1-2010-1	I	1
1113	II	II-1	21-1603-100-1.1-2016-1	null	1
1124	II	II-1	21-1603-1-1.1-2010-1	I	1
1140	II	II-1	21-1603-122-1.1-2015-1	null	1
1144	II	II-1	21-1603-13-1.1-2016-1	null	1
1145	II	II-1	21-1603-13-1.1-2016-2	null	1
1146	II	II-1	21-1603-132-1.1.1-2017	null	1
1171	II	II-1	21-1603-175-1.1-2014-1	II	1
1225	II	II-1	21-1603-48-1.1-2011-1	I	1
1246	II	II-1	21-1603-63-1.1-2017-	null	1

Figura 22. Muestra de cuadro resumen de polígonos de POAs para su revisión en expediente

3.4.4 Evaluación

Los polígonos de POA son de gran importancia ya que son un componente esencial en los planes de manejo. Este servicio permitió corregir la mayor parte de estos polígonos para que el sistema SIFGUA pueda contar con información precisa y de buena calidad. Además dentro de los resultados se produjo un documento que permitirá identificar las subregiones que deben proveer más información sobre los polígonos erróneos para poder tener información aún más completa

3.5 SERVICIO 4: ACTUALIZACIÓN DE INVESTIGACIONES PARA ESTIMACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE CONÍFERAS EN GUATEMALA

Una de las acciones estratégicas que se plantean en el plan estratégico del departamento de Manejo de Bosques Naturales es la utilización de la investigación como base de la silvicultura. Para esto, una de las actividades propuestas es la sistematización de estudios de investigación ya generados. Dentro de estos estudios se encuentran investigaciones sobre tablas de volumen y ecuaciones para estimar el volumen de árboles individuales. Los resultados de estas investigaciones siguen sin utilizarse y podrían reemplazar a las fórmulas de Peters, que son las más utilizadas y recomendadas actualmente por el INAB, por lo menos en las regiones donde han sido generadas. Por lo tanto, es necesario hacer una compilación de todas las investigaciones relacionadas para luego compararlas entre sí y determinar los casos en que se recomienda su utilización.

3.5.1 Objetivos

A. Objetivo General

Elaborar una base de datos con información actualizada de investigaciones sobre ecuaciones para la estimación de volumen de árboles individuales de especies de coníferas en Guatemala y evaluar las ecuaciones.

B. Objetivos Específicos

- 1 Recopilar las investigaciones realizadas en Guatemala relacionadas con la estimación de volumen de árboles individuales de especies de coníferas.
- 2 Elaborar un cuadro resumen con las ecuaciones para la estimación de volumen.
- 3 Evaluar las ecuaciones existentes para una de las especies de coníferas de importancia en Guatemala.

3.5.2 Metodología

A. Búsqueda y solicitud de investigaciones relacionadas en instituciones académicas

Para la elaboración de la base de datos se inició por revisar en distintas bases de datos las investigaciones que se han realizado con relación a ecuaciones de volumen de coníferas.

Se consultaron bases de datos de las distintas universidades de Guatemala, principalmente la Universidad Rafael Landívar y la Universidad de San Carlos de Guatemala y todas sus sedes regionales.

Además, se contactó a responsables de algunas sedes regionales para solicitar todas las investigaciones relacionadas al tema en caso de que estas no fueran encontradas en línea. Con el mismo propósito se visitó la biblioteca de la FAUSAC para buscar otras investigaciones al igual que la biblioteca central de la Universidad Rafael Landívar y el SINFOR dentro de las instalaciones de INAB.

B. Clasificación de investigaciones según especies y ubicación

Todas las investigaciones encontradas se clasificaron según la especie para la cual se realizó la ecuación y se detalló la información relacionada a la ubicación y características de la investigación.

C. Recopilación de las fórmulas presentes en las investigaciones

Se revisó cada una de las investigaciones de manera a extraer las ecuaciones elaboradas y las condiciones en las cuales se realizó la investigación (metodología, factores considerados, ubicación, etc.). Toda esta información se plasmó en un cuadro resumen como se observa a continuación.

D. Elaboración de base de datos de las investigaciones

Se juntaron todos los documentos de las investigaciones encontradas y la información de los documentos se recopiló en un cuadro Excel de manera a que puedan ser consultadas fácilmente.

E. Selección de una especie para evaluar ecuaciones

Para seleccionar una especie cuyas ecuaciones deben ser evaluadas, se realizó un análisis de priorización. En este análisis se tomó en cuenta el número de POAs existentes, el volumen total de madera a extraer registrado en los POAs y la cantidad de ecuaciones existentes para las especies. Se buscó seleccionar una especie con alta demanda y con mayor cantidad de ecuaciones para estimación de volumen sin corteza.

Cuadro 17: Priorización de la especie a evaluar

Número de POAs pináceas total	Volumen total pináceas	Número de ecuaciones total sin corteza
2,168	469,719	11

Cuadro 18: Datos con base en porcentaje total de pináceas

	No. POAs	Resumen Estimado	No. Investigaciones	Total	Total incluyendo solo volumen y número investigaciones
<i>P. maximinoi</i>	41%	24%	18%	83%	42%
<i>P. oocarpa</i>	32%	19%	27%	79%	46%

3.5.3 Resultados

A. Recopilación de investigaciones

El primer resultado de este servicio fue un archivo Excel que cumple la función de base de datos de todas las investigaciones con temas relevantes para el departamento de Manejo de Bosques Naturales. En este documento Excel se actualizaron todas las investigaciones relacionadas a la estimación de volumen de especies arbóreas. Un extracto de esta base de datos puede observarse en el cuadro 19. Además, se entregó una carpeta con todos los documentos de investigación de la base de datos en formato PDF.

Cuadro 19: Muestra de base de datos de investigaciones

No	Título del documento	Autor	palabras_claves	Temática	Tipo de documento	Año de la publicación	Disponibilidad	Formato	Especie	Nombre PDF
1	GENERACIÓN DE TABLAS DE VOLUMEN PARA Pinus maximinoi H.E. MOORE EN EL MUNICIPIO DE SAN JOSE PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA	De Leon Sánchez, Oscar Joel	maximinooi; tablas de volumen; pinus; candelillo; con corteza; sin corteza	Tablas de volumen	Tesis licenciatura	2004	URL - en línea	Digital	Pinus maximinoii	De leon URL 04
2	Distribución de volumen por producto para Pinus maximinoii en los departamentos de Alta y baja Verapaz	Girón Hernández, Jorge Luis	pinus maximinoii; con corteza; candelillo		Tesis licenciatura	1998	USAC - en línea	Digital	Pinus maximinoii	Giron USAC 98
3	ELABORACION DE TABLAS DE VOLUMEN DE Pinus maximinoii H.E. MOORE, EN LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ Y BAJA VERAPAZ	Lemus Arana, Ruben Antonio	maximinooi; tablas de volumen; pinus; candelillo; con corteza;		Tesis licenciatura	1996	URL - en línea	Digital	Pinus maximinoii	Lemus URL 96
4	Tablas de volumen para las especies de coníferas en Guatemala	Peters, Roland	coníferas; guatemala; nacional; tablas de volumen		Publicación investigación	1977	FAUSAC - biblioteca	Análogo	Abies guatemalensis; Cupressus lusitánica; Pinus ayacahuite; Pinus Caribaea; Pinus Montezumae; Pinus oocarpa; Pinus pseudostrobus; Pinus rudis; Pinus tenuifolia	Peters FAO 77
5	GENERACIÓN DE TABLAS DE VOLUMEN PARA PINO OCOTE (Pinus oocarpa Schiede), EN EL DEPARTAMENTO DE ZACAPA, GUATEMALA	Sánchez Montenegro, Humberto Enrique	Pinus oocarpa; ocote; colorado; Zacapa		Tesis licenciatura	2009	USAC - en línea	Digital	Pinus oocarpa	Sanchez USAC 09
6	Tablas de volumen para pino ocote pinus oocarpa schiede ex schtdl, en áreas de distribución natural de la región sur del departamento de El Quiché	Zapón Morales, Daniel Abraham	Pinus oocarpa; ocote; colorado; Quiché;		Tesis licenciatura	2009	URL - en línea	Digital	Pinus oocarpa	Zapon URL 09
7	DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO DE Pinus pseudostrobus Lindl, EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLÁ	Camey Bernardino, Ronaldo Antonio	volumen por producto; pseudostrobus; Chimaltenango; sololá		Tesis licenciatura	2009	USAC - en línea	Digital	Pinus pseudostrobus	Camey USAC 09
8	Elaboración de tablas de volumen local para Pinus rudis en el bosque municipal de San Juan Ixcay	Martinez Corea, Ilieberto	volumen por producto; rudis; Huehuetenango; tablas de volumen local;		Tesis licenciatura	1977	USAC - en línea	Digital	Pinus rudis	Martinez USAC 77
9	ELABORACION DE TABLAS DE VOLUMEN DE Pinus tecunumanii Schwerdtfeger Eguiluz et Perry EN EL DEPARTAMENTO DE BAJA VERAPAZ.	Caal Soto, Otto Leonardo	tecunumanii, Baja Verapaz	Tablas de volumen	Tesis licenciatura	2003	URL - en línea	Digital	Pinus tecunumanii	Caal URL 03

B. Cuadro resumen

El segundo producto de este servicio fue un cuadro específico para las especies de coníferas en Guatemala, en donde se resumen las ecuaciones existentes para la estimación de volumen de árboles individuales. Este cuadro también incluye la información resumida del contexto en el cual se relacionaron las investigaciones, como puede verse en el cuadro 20.

Cuadro 20 Muestra del cuadro resumen para ecuaciones de volumen

Sp.	Ubicación	Ecuación con corteza	Ecuación Sin corteza	Autor	Año	Partes incluidas	Muestra utilizada	Diámetros
<i>Pinus maximinoii</i>	San José Pinula, Guatemala	$V = -0.000213 + 0.022276 * H + 0.000032882 * D^2 * H$	$V = -0.000610 * D * H + 0.02622 * H + 0.000033573 * D^2 * H$	Oscar de León Sánchez	2004	Incluye tocón leña y fuste	96 árboles de distintas clases diamétricas	Desde 12.5 hasta 86 cm
	Alta y Baja Verapaz	$V = -0.051595 + 0.000233 * D^2 + 0.001554 * H + 0.000031983 * D^2 * H$		J.L. Girón	1998	Incluye tocón, troza, trocillo y leña	Mínimo 3 árboles por clases diamétrica. 14 clases diamétricas, intervalos cada 5 cm.	Desde 10 cm hasta 80 cm con corteza
	Alta y Baja Verapaz	$V = 0.000017256733 * (\ln(D))^{1.81505126} * (\ln(H))^{1.367481729522}$		Rubén A. Lemus	1996	(Total con corteza y sin tocón)	83 árboles distribuidos en 13 clases diamétricas con intervalos a cada 5 cm	Desde 10 cm hasta 95 cm con corteza
	Área de distribución natural Guatemala		$V = -0.0044171177 + 0.0000285570 * D^2 * H$	Peters	1977	Sin leña	117 árboles	Desde 10 cm a 8 cm

C. Evaluación de ecuaciones

Por último, se produjo un informe de investigación sobre la estimación de volumen de una de estas especies de coníferas: el pino oocarpa. Este informe se presenta en el capítulo II de este documento

3.5.4 Evaluación

El departamento de Manejo de Bosques Naturales necesita contar con un registro actualizado de las investigaciones de importancia para el manejo de bosques. Con este servicio se pudo actualizar el registro ya existente pero desactualizado, sentando las bases teóricas para la elaboración futura de documentos técnicos.

Además, se pudieron determinar los temas importantes en los cuales se debe realizar mayor investigación. Entre estos temas se encuentra el tema de investigación presentado en el capítulo II de este documento. Este trabajo de investigación se realizó exitosamente y permitió al departamento determinar la ecuación más adecuada para estimar el volumen de árboles individuales de *Pinus oocarpa* Schiede.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA - FAUSAC -
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES - IIA -



REF. Sem. 41/2020

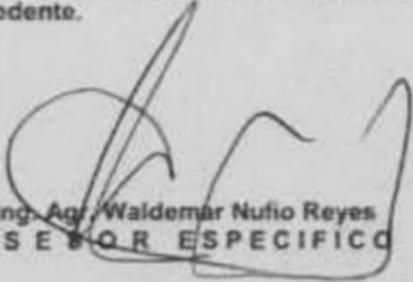
EL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMEN DE ARBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa* Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C. A."

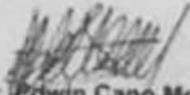
DESARROLLADO POR EL ESTUDIANTE: RODRIGO ANTONIO MOLINA DACARET

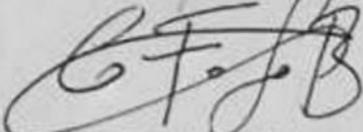
CARNE: 201408078

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Willy Quintana
Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Ing. Agr. Edwin Cano Morales

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Dirección del Área Integrada para lo procedente.


Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
ASESOR ESPECIFICO


Ing. Agr. Edwin Cano Morales
DOCENTE - ASESOR EPS


Ing. Agr. Carlos Fernando Lopez Bucaro
DIRECTOR DEL IIA



CFLB/nm
c.c. Archivo

Ref. SAIEPSA.38.2021

Guatemala, 28 de abril de 2021

TRABAJO DE GRADUACIÓN: EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa* Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A., DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB- GUATEMALA, C.A.

ESTUDIANTE: RODRIGO ANTONIO MOLINA DACARET

No. CARNÉ 201408078

Dentro del Trabajo de Graduación se presenta el Capítulo II que se refiere a la Investigación Titulada:

“EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa* Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A.”

LA CUAL HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Willy Quintana
Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Ing. Agr. Edwin Cano Morales

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.

“Id y Enseñad a Todos”



Vo. Bo. Ing. Agr. M.A. Pedro Peláez Reyes
Coordinador Area Integrada – EPS

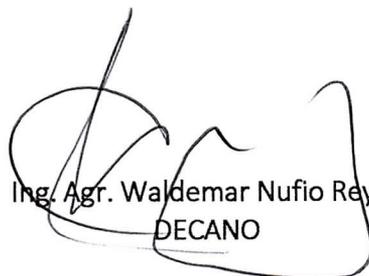
No. 40.2021

Trabajo de Graduación: "EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMEN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Pinus oocarpa* Schiede EN BOSQUES NATURALES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, C.A., DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB – GUATEMALA, C.A."

Estudiante: Rodrigo Antonio Molina Dacaret

Carné: 201408078

"IMPRÍMASE"


Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DECANO

