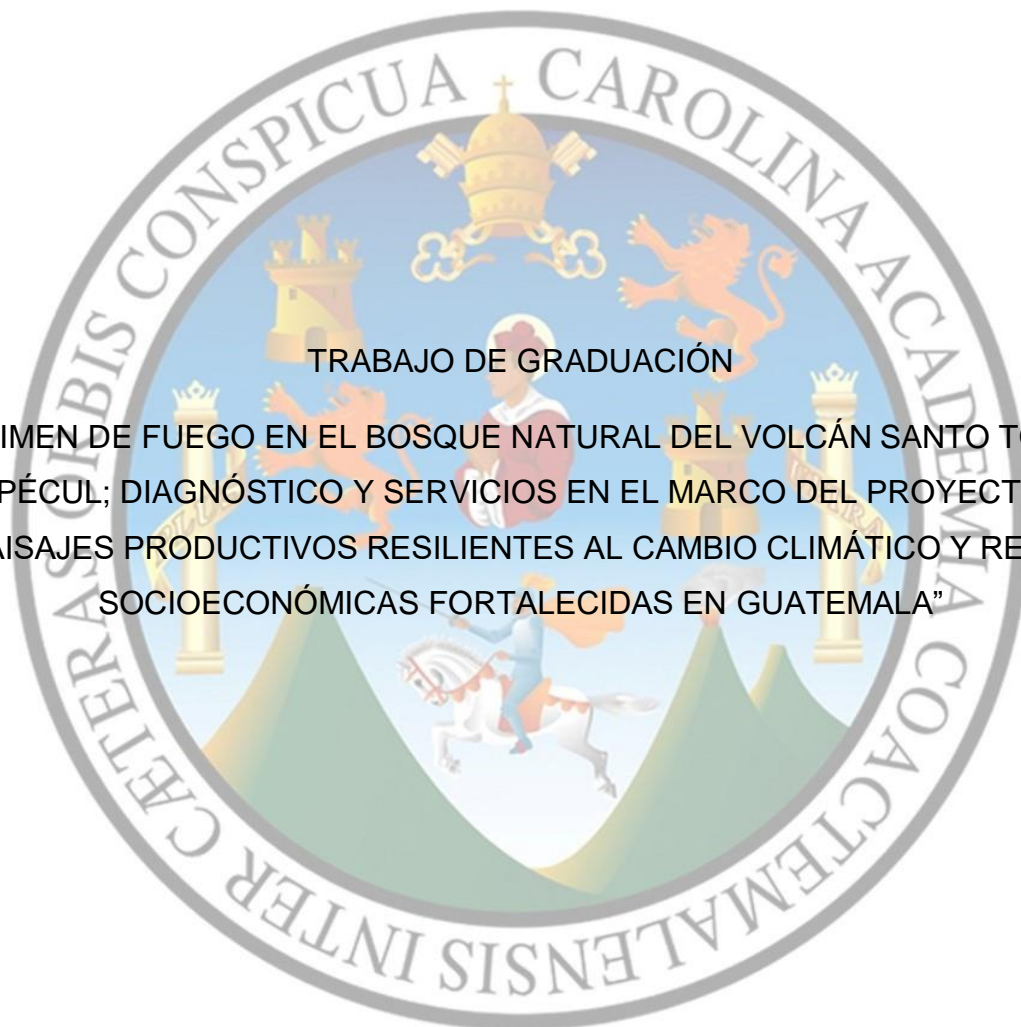


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

RÉGIMEN DE FUEGO EN EL BOSQUE NATURAL DEL VOLCÁN SANTO TOMÁS
PÉCUL; DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL MARCO DEL PROYECTO
“PAISAJES PRODUCTIVOS RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDES
SOCIOECONÓMICAS FORTALECIDAS EN GUATEMALA”

CARLOS ERNESTO DONIS MEZA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

RÉGIMEN DE FUEGO EN EL BOSQUE NATURAL DEL VOLCÁN SANTO TOMÁS
PÉCUL; DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL MARCO DEL PROYECTO
“PAISAJES PRODUCTIVOS RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDES
SOCIOECONÓMICAS FORTALECIDAS EN GUATEMALA”

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

POR

CARLOS ERNESTO DONIS MEZA

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

DR. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	ING. AGR. MARIO ANTONIO GODÍNEZ LÓPEZ
VOCAL PRIMERO	DR. TOMÁS ANTONIO PADILLA CÁMBARA
VOCAL SEGUNDO	ING. AGR. M.A CÉSAR LINNEO GARCÍA CONTRERAS
VOCAL TERCERO	ING. AGR. M.Sc. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ
VOCAL CUARTO	PERITO AGR. WALFER YASMANY GODOY SANTOS
VOCAL QUINTO	P.CONTADOR NEYDI YASMINE JURACÁN MORALES
SECRETARIO ACADÉMICO	ING. AGR. JUAN ALBERTO HERRERA ARDÓN

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2017

Guatemala, noviembre de 2017

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:

RÉGIMEN DE FUEGO EN EL BOSQUE NATURAL DEL VOLCÁN SANTO TOMÁS PÉCUL; DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL MARCO DEL PROYECTO “PAISAJES PRODUCTIVOS RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDES SOCIOECONÓMICAS FORTALECIDAS EN GUATEMALA”.

Como requisito previo a optar al 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”

Carlos Ernesto Donis Meza

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS** Por darme la vida y la oportunidad de llegar a este logro con momentos de paz y bendiciones.
- MIS PADRES** Por ser parte fundamental en mi vida, por su apoyo y amor, porque hacer que sientan orgullo es uno de los planes en mi vida, los amo.
- MIS HERMANAS** Por ser un pilar en mi vida, gracias por su amor, cariño, apoyo y fortaleza para lograr cumplir todas las metas, este logro es para y por ustedes. Las amo.
- MI SOBRINO** Itzam porque siempre quiero ser uno de tus ejemplos y por los momentos felices que paso cuando sonrías.
- MIS FAMILIA** Por todo su apoyo y amor en este día tan especial.
- MIS AMIGOS** Su presencia es parte muy importante en mi vida y saber que estos logros son parte de su apoyo incondicional, mil gracias.

TRABAJO DE GRADUACIÓN
DEDICADO A LA MEMORIA
KARLA MARIANA DONIS MEZA (KARLITA)

Tú que no exigías un palmo de tierra para su sepultura, merece ser oída, y no sólo ser oída sino también seguida. Tú iras hacia el sol de la libertad o hacia la muerte; por lo que tú lucha, tus ideales y tus causas seguirán viviendo.

Y otros te seguiremos.

(Augusto Sandino)

Te amo y besos hacia la omnipresencia de tu energía y que siga esa lucha por la justicia e igualdad.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A DIOS Por su amor, paz y por permitir encontrarme en lugares llenos de paz donde la representación del arte es la naturaleza.

A Al país más hermoso del mundo y en especial a todas las
GUATEMALA comunidades que luchan en defensa de la tierra y los recursos naturales. Porque “podrán cortar todas las flores, pero jamás podrá detenerse la primavera”. Pablo Neruda

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

A MIS Por enseñarme que con amor y lucha uno puede cumplir sus
PADRES sueños y verlos sonreír en un efecto de muchos momentos de fortaleza y sacrificios pero tienen sus recompensa, gracias a la vida por permitir ser su hijo. Los amo.

A MIS A vos Karlita por darme el amor más puro que ahora lo recibo
HERMANAS desde el cielo, a vos Maru por ser un apoyo, por enseñarme a no caer, a tus palabras y a tu amor. Gracias por poder hacerlas sentir orgullosas y porque tuve la dicha de recibir el amor más puro.

MI SOBRINO Desde que llegaste a este mundo venís lleno de felicidad y pureza, este logro va para ti.

MIS A mi abuelita Julia por ser unas de la estrella más bella del cielo
ABUELAS y a mi abuelita Miriam por todo el amor y apoyo que me brinda.

MIS AMIGOS Por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos. Porque un verdadero amigo es alguien que te conoce tal como eres, comprende dónde has estado, te acompaña en tus logros y tus fracasos, celebra tus alegrías, comparte tu dolor y jamás te juzga por tus errores. Gracias por ser uno de mis tesoros.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme culminar mi formación profesional y darme la fuerza para terminar mis obstáculos.

A Mazatenango, el pueblito que me vio nacer.

A la **colonia Bilbao**, por acobijarme en toda la etapa de mi infancia y en especial a mis grandes amigos porque siempre seremos un sábado perpetuo, ya que, éramos la ley sin decreto, de la noche merodeadores, del amanecer buscadores, éramos buen tiempo perdido, el capricho de un suspiro, por las calles noches en vela, recibiendo el sol en la acera. Mil gracias esto va para ustedes.

A mi familia, por todo el amor, apoyo y esfuerzo que cada uno aportaron para que este sueño se me cumpliera, gracias por ser las personas que creyeron en mí y esto es parte de ustedes, los amo.

A la **Universidad de San Carlos de Guatemala** y a la **Facultad de Agronomía** por brindarme las herramientas que me permitirán desenvolverme en el campo profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi supervisor **Dr. Marco Vinicio Fernández Montoya**, por su valiosa asesoría y supervisión brindada en la ejecución del presente trabajo de graduación. Infinitas gracias.

A mis asesores **Ing. Agr. Edin Alejandro Gil** y el **Ing. For. Carlos Gómez Quiroa** por su valioso aporte científico, acompañamiento para la elaboración de la investigación, ustedes son parte importante del éxito de este Trabajo de Graduación, mil gracias.

A mi evaluador, **Ing. Agr. Carlos López Búcaro**. Por sus valiosos aportes a la investigación, gracias.

Al **Ing. Agr. Johnny Toledo**, por su valioso apoyo y la oportunidad en experiencia profesional por medio del Ejercicio Profesional Supervisado. Muchas gracias.

Al equipo del **Proyecto PPRCC**, infinitas gracias por el apoyo en todas las actividades profesionales realizadas en el proyecto, en especial al **Ing. Agr. Faustino Barrera**.

A la **Cooperativa Nahualá R.L.**, por todo el cariño y apoyo recibido en el Ejercicio Profesional Supervisado, en especial al **Ing. Agr. Humberto Samayoa**.

A **mis amigos y futuros colegas**, infinitas gracias por compartir esta etapa única en mi vida, gracias por ser un apoyo en mis malos y por ser una bendición en grandes momentos, el compartir sonrisas, fiestas, giras y sobre todo su tiempo conmigo hace que les tenga un gran aprecio, siempre los llevo en mi corazón. Muchísimas gracias

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO GENERAL COMUNITARIO DE LOS CASERÍOS DE PASAC, POCHOL, PACANAL I Y PACANAL II DE LA ALDEA XEJUYUP, MUNICIPIO DE NAHUALÁ, SOLOLÁ.	1
1.1 PRESENTACIÓN	3
1.2 MARCO REFERENCIAL	4
1.2.1 Proyecto PPRCC.....	4
1.2.1.1 Socios estratégicos.....	5
1.2.1.2 Resultados esperados del proyecto	6
A. Actividad de resultado Uno.....	6
B. Actividad de resultado Dos.....	6
C. Actividad de resultado Tres.....	7
D. Actividad de resultado Cuatro.....	7
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 General.....	9
1.3.2 Específicos.....	9
1.4 METODOLOGÍA.....	9
1.4.1 Identificación de Actores locales.....	9
1.4.2 Recopilación de información	10
1.4.3 Análisis de la información	10
1.4.4 Identificación de la problemática ambiental local.....	10
1.4.5 Determinación de las principales causas y efectos de los problemas ambientales.....	11
1.4.6 Jerarquización de los problemas ambientales.	11

CONTENIDO	PÁGINA
1.5 RESULTADOS	11
1.5.1 Actores del área.....	11
1.5.2 Aspectos socioeconómicos.....	15
1.5.2.1 Demografía	15
A. Población total.....	15
B. Población por edades y género	16
C. Población económicamente activa –PEA-	17
1.5.2.2 Nivel de ingresos económicos.....	18
A. Salarios mínimos	18
B. Ingresos mensuales y anuales.....	19
1.5.2.3 Educación.....	19
A. Nivel de escolaridad	19
B. Grado de escolaridad	20
1.5.2.4 Idiomas.....	20
1.5.2.5 Migraciones.....	21
A. Origen y causas.....	21
1.5.2.6 Organización comunitaria	21
A. Caserío Pacanal II.....	21
B. Caserío Pacanal IA.....	22
C. Caserío Pasac.....	22
D. Caserío Pochol	22
1.5.2.7 Actividades productivas	23
A. Producción agrícola.....	23
B. Producción pecuaria.....	25

CONTENIDO	PÁGINA
C. Producción industrial.....	25
D. Producción artesanal.....	26
1.5.2.8 Servicios e infraestructura	26
A. Salud.....	26
a. Infraestructura de salud.....	26
b. Morbilidad y mortalidad	26
B. Agua potable.....	28
a. Caserío Pacanal II	28
b. Caserío Pacanal IA.....	29
c. Caserío Pasac.....	29
d. Caserío Pochol.....	29
e. Principales fuentes de recursos hídricos.....	29
C. Energía eléctrica.....	30
D. Comercios y mercados.....	30
E. Sistema de drenajes	31
F. Seguridad	32
G. Cementerios.....	32
H. Forma y tenencia de la tierra	32
1.5.3 Aspectos biofísicos.....	33
1.5.3.1 Clima.....	33
A. Temperatura media.....	33
B. Precipitación	33
1.5.3.2 Zonas de vida	34
1.5.3.3 Recurso hídrico	34

CONTENIDO	PÁGINA
1.5.3.4 Recurso suelo.....	35
A. Uso de la tierra.....	35
B. Capacidad de uso de la tierra.....	36
a. Clase IV:	36
b. Clase VII:	36
c. Clase VIII:	36
C. Intensidad de uso.....	37
D. Taxonomía de suelos.....	37
a. Código Dd	37
b. Código Dd – Eo.....	38
c. Código Dd – Ud.....	38
E. Series de suelos	39
a. Serie Totonicapán (Tp).....	39
b. Serie Camanchá Erosionada (Cme)	39
c. Serie Suchitepéquez (Sx).....	39
d. Serie Samayac (Sm).....	40
1.5.3.5 Recurso bosque.....	40
A. Tipo de cobertura	40
1.5.3.6 Biodiversidad	41
A. Flora	42
B. Fauna	43
1.5.4 Problemas ambientales.....	51
1.5.4.1 Contaminación de agua	51
1.5.4.2 Desechos solidos.....	51

CONTENIDO	PÁGINA
1.5.4.3 Deforestación.....	52
1.5.5 Riesgos.....	53
1.5.5.1 Riesgo a deslizamientos	53
1.5.6 Problemática ambiental local	53
1.5.6.1 Matriz de causas y efectos	53
1.5.6.2 Problemas ambientales identificados por caseríos.....	56
1.5.7 Análisis diagnóstico de las comunidades en estudio.....	58
1.6 CONCLUSIONES.....	63
1.7 RECOMENDACIONES.....	64
1.8 BIBLIOGRAFÍAS	65
CAPÍTULO II: RÉGIMEN DE FUEGO EN EL BOSQUE NATURAL DEL VOLCÁN SANTO TOMAS PÉCUL, NAHUALÁ, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.....	67
2.1 PRESENTACIÓN	69
2.2 MARCO TEÓRICO.....	71
2.2.1 Marco Conceptual	71
2.2.1.1 Ecosistema	71
A. Tipos de ecosistemas.....	71
2.2.1.2 Ecología del fuego de los ecosistemas forestales	72
2.2.1.3 Diversidad en los ecosistemas	74
2.2.1.4 Sucesión	74
A. Modelos sucesionales	75
B. Dinámica de la sucesión	77
2.2.1.5 Incendios.....	78

CONTENIDO	PÁGINA
2.2.1.6 Regímenes de fuego.....	79
2.2.1.7 Rol del fuego en los ecosistemas	81
2.2.1.8 Efectos del fuego sobre la vegetación.....	82
2.2.1.9 Combustibles.....	83
2.2.1.10 Alteración de los regímenes del fuego	84
2.2.1.11 Capacidad regenerativa de la Vegetación.....	85
2.2.1.12 Mecanismos sucesionales.....	86
A. Estrategias de regeneración y capacidad de colonización, crecimiento y desarrollo.....	86
B. Facilitación, tolerancia e inhibición.....	87
C. Métodos de estudio de la sucesión.....	87
a. Muestreo preferencial	88
b. Muestreo probabilístico	88
c. Muestreo estratificado.....	88
2.2.1.13 Estudios realizados.....	89
2.2.2 MARCO REFERENCIAL.....	90
2.2.2.1 Ubicación geográfica del proyecto de investigación	90
2.2.2.2 Aspectos demográficos y económicos	92
A. Población total.....	92
B. Nivel de ingresos	92
2.2.2.3 Vías de acceso.....	93
2.2.2.4 Condiciones climáticas.....	93
2.2.2.5 Zonas de vida.....	94
2.2.2.6 Taxonomía de suelos	96

CONTENIDO	PÁGINA
2.2.2.7 Fisiografía.....	96
2.2.2.8 Régimen de propiedad / Tenencia de la tierra.....	97
2.2.2.9 Biodiversidad.....	98
A. Flora.....	98
B. Fauna.....	99
2.3 OBJETIVOS.....	100
2.3.1 Objetivo General.....	100
2.3.2 Objetivos Específicos.....	100
2.4 METODOLOGÍA.....	101
2.4.1 Área de estudio.....	101
2.4.2 Métodos de muestro.....	102
2.4.3 Unidades de muestreo.....	103
2.4.4 Identificación de los ecosistemas forestales.....	104
2.4.4.1 Características dasonométricas de los ecosistemas forestales.....	106
2.4.4.2 Variables dasonométricas.....	107
2.4.4.3 Características biofísicas de los ecosistemas forestales.....	108
2.4.4.4 Ecología del fuego de los ecosistemas forestales.....	109
2.4.4.5 Regeneración natural.....	111
2.4.5 Estructura florística en el bosque natural del volcán Santo Tomás Pecul.....	111
2.4.5.1 Estrato arbustivo.....	111
2.4.5.2 Estrato herbáceo.....	112
2.4.5.3 Colecta y secado de la muestras vegetales.....	112

CONTENIDO	PÁGINA
2.4.5.4	Determinación botánica de las especies vegetales.....113
2.4.5.5	Composición florística del volcán Santo Tomás Pecul.....113
2.4.5.6	Índice de valor de importancia de Cottan114
2.4.5.7	Diversidad alfa (α)115
2.4.5.8	Diversidad beta116
2.4.5.9	Modelo de sucesión vegetativa117
2.4.6	Cuantificación de combustibles forestales 118
2.4.7	Identificación del riesgo de las áreas a incendios forestales..... 122
2.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN 124
2.5.1	Identificación de los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul según episodios de fuego ocurridos..... 124
2.5.1.1	Ecosistemas forestales del volcán Santo Tomas Pecul.....126
2.5.1.2	Características dasonométricas de los ecosistemas forestales129
A.	Sitio Los Pinos131
B.	Sitio Centro Ceremonial Pecul.....132
C.	Sitio Los Pino – Aliso.....134
D.	Sitio Los Pinabetes135
E.	Sitio Los Cipresales.....137
F.	Sitio La Loma de Caballo138
2.5.1.3	Características biofísicas de los ecosistemas forestales139
2.5.1.4	Ecología de fuego de los ecosistemas forestales.....142
2.5.1.5	Regeneración natural148
2.5.1.6	Escenarios de los ecosistemas forestales.....152

CONTENIDO	PÁGINA
2.5.1.7 Estructura florística en el bosque natural del volcán	154
A. Especies vegetales presentes	154
B. Composición florística del Cerro Pecul.....	156
C. Valor de importancia vegetal del Cerro Pecul.....	159
D. Diversidad estructural florística de los ecosistemas forestales.....	163
a. Diversidad alfa (α).....	163
b. Diversidad beta.....	166
2.5.2 Modelo de Sucesión vegetativa en base al régimen de fuego	173
2.5.2.1 Interpretación del modelo de sucesión vegetativa	180
A. Conformación Bosque de Pinus sp y Alnus sp.....	180
B. Conformación Bosque Abies guatemalensis Rehder.	181
C. Conformación Bosque de Ciprés (<i>Cupressus lusitánica</i>).....	182
2.5.3 Cuantificación de combustibles forestales.....	183
2.5.3.1 Dinámica de la carga de combustibles leñosos.....	186
2.5.3.2 Dinámica de la carga por cama de combustibles y cama de fermento	187
2.5.4 Identificación del riesgo en las áreas a incendios forestales	190
2.5.4.1 Riesgo por la estructura vegetal.....	191
2.5.4.2 Riesgo territorial	193
2.5.4.3 Riesgo por valores meteorológicos	194
2.5.4.4 Riesgo por frecuencia de incendios.....	195
2.5.4.5 Riesgo total en el ecosistema forestal del volcán Santo Tomás.....	196
2.5.5 Discusión del componente vegetacional y estrato forestal	200

CONTENIDO	PÁGINA
2.5.6 Discusión del componente de relieve y fisiografía del terreno	210
2.6 CONCLUSIONES.....	213
2.7 RECOMENDACIONES.....	215
2.8 BIBLIOGRAFÍA.....	217
2.9 ANEXOS	224
CAPÍTULO III: INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL MARCO DEL PROYECTO “PAISAJES PRODUCTIVOS RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDES SOCIOECONÓMICAS FORTALECIDAS EN GUATEMALA – PPRCC	227
3.1 PRESENTACIÓN.....	229
3.2 ÁREA DE INFLUENCIA	230
3.3 OBJETIVO GENERALES.....	230
3.4 SERVICIOS PRESTADOS.....	231
3.4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES PLAGAS Y ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE MAXÁN (<i>Calathea crotalifera S.Watson</i>)	231
3.4.1.1 Definición del problema.....	231
3.4.1.2 Objetivos Específicos	231
3.4.1.3 Metodología	232
A. Identificación de las zonas productivas.....	232
B. Identificación de principales daños	232
C. Unidad de muestreo	232
D. Método de muestreo de material vegetal dañado	233
E. Categorización del tipo de daño en cultivo.....	233

CONTENIDO	PÁGINA
F. Identificación de principales plagas en el cultivo de maxán	233
a. Colecta y captura de insectos plaga.....	233
b. Montaje a nivel de laboratorio	234
c. Identificación de plagas.....	234
G. Identificación de principales enfermedades en el cultivo de maxán	235
a. Colecta de material enfermo.....	235
b. Preparación de la muestra a nivel de laboratorio	235
c. Observación de estructuras anatómicas y morfológicas.....	235
d. Identificación de las principales plagas y enfermedades.....	236
3.4.1.4 Resultados.....	236
A. Principales características generales de la especie <i>Calathea crotalifera</i> <i>S. Watson</i>	236
a. Taxonomía de la especie	237
b. Descripción botánica	237
c. Características biofísicas.....	238
B. Principal plaga en el cultivo de maxán	238
a. Descripción general	239
b. Principales daños.....	240
C. Principales enfermedades en el cultivo de maxán	242
3.4.1.5 Descripción de los patógenos.....	243
3.4.2 TALLER Y ASISTENCIA TÉCNICA A GRUPOS COMUNITARIOS Y EXTENSIONISTAS DEL MAGA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VIVEROS FORESTALES COMUNITARIOS	245
3.4.2.1 Definición del problema	245

CONTENIDO	PÁGINA
3.4.2.2	Objetivos Específicos 245
3.4.2.3	Metodología 246
	A. Identificación de grupos focales..... 246
	B. Realización de talleres 246
3.4.2.4	Resultados 246
	A. Capacitaciones a grupos comunitarios y extensionistas del MAGA 246
	B. Implementación de un vivero forestal comunitario 247
3.4.2.5	Constancias 248
3.4.3	CAPACITACIÓN EN PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS A PRODUCTORES DE LOS CASERÍOS PASAC, PACANAL II Y TZAMABAJ, ALDEA XEJUYUP, MUNICIPIO DE NAHUALÁ, SOLOLÁ..... 250
3.4.3.1	Definición del problema..... 250
3.4.3.2	Objetivos Específicos 251
3.4.3.3	Metodología 251
	A. Identificación de grupos locales..... 251
	B. Selección de áreas con necesidad de conservación de suelos 251
	C. Realización de talleres de capacitación..... 252
	D. Implementación de prácticas de conservación de suelos 252
3.4.3.4	Resultados 253
	A. Talleres con temática en prácticas de conservación de suelos 253
	B. Implementación de prácticas de conservación de suelos. 253
3.4.3.5	Constancias 255

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO GENERAL COMUNITARIO DE LOS CASERÍOS DE PASAC, POCHOL, PACANAL I Y PACANAL II DE LA ALDEA XEJUYUP, MUNICIPIO DE NAHUALÁ, SOLOLÁ.	
Figura 1. Mapa de intervención del proyecto PPRCC.....	8
Figura 2. Gráfica poblacional para los caseríos en estudio.....	16
Figura 3. Cantidades porcentuales de la población total por género de los caseríos en estudio.....	17
Figura 4. Principales causas de morbilidad en infantes.....	27
Figura 5. Principales causas de morbilidad en población materna.....	27
Figura 6. Principales causas de morbilidad de población general.....	28
Figura 7. Mapa de ubicación de las comunidades en estudio, Nahualá, Sololá.....	44
Figura 8. Mapa de zonas de vida para el área de estudio.....	45
Figura 9. Mapa del uso de la tierra para el área de estudio.....	46
Figura 10. Mapa de intensidad de uso para el área de estudio.....	47
Figura 11. Mapa de taxonomía de suelos para el área de estudio.....	48
Figura 12. Mapa de los tipos de cobertura del suelo para el área de estudio.....	49
Figura 13. Mapa de capacidad de uso de la tierra para el área de estudio.....	50
Figura 14. Esquema de las causas y efectos de la problemática ambiental local.....	62
CAPÍTULO II: RÉGIMEN DE FUEGO EN EL BOSQUE NATURAL DEL VOLCÁN SANTO TOMAS PÉCUL, NAHUALÁ, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.	
Figura 15. Principales tipos de ecosistemas.....	72
Figura 16 Sucesión secundaria tras un incendio.....	75

FIGURA	PÁGINA
Figura 17. Potencial de incendios según la cama de combustible disponible en cada estrato.	84
Figura 18. Mapa de ubicación geográfica y topografía del área de estudio.	91
Figura 19. Forma y tamaño de las unidades de muestreo para los ecosistemas del volcán Santo Tomás Pecul.....	104
Figura 20. Esquema de los índices de riesgo evaluados para la estimación total de riesgo de los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul ante incendios forestales	123
Figura 21. Mapa de ecosistemas forestales presentes volcán Santo Tomás.....	128
Figura 22. Mapa del Bosque natural del volcán Santo Tomás, según su ecología del fuego.....	147
Figura 23. Valores de la regeneración natural por ecosistema forestal.	149
Figura 24. Comportamiento de la regeneración natural por especie forestal en base a número de individuos	151
Figura 25. Escenarios de los ecosistemas del volcán Santo Tomás Pecul.....	153
Figura 26. Análisis de conglomerados de las parcelas evaluadas de los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul.....	156
Figura 27. Agrupación de los ecosistemas forestales del volcán, por medio de la técnica de Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)	159
Figura 28. Valores del índice de valor de importancia para las comunidades vegetales evaluadas del volcán Santo Tomás Pecul.....	161
Figura 29. Perfil idealizado de la vegetación del sitio Los Pinos.....	168
Figura 30. Perfil idealizado de la vegetación del sitio Centro Ceremonial Pecul.....	169
Figura 31. Perfil idealizado de la vegetación del sitio Los Pinabetes.....	170
Figura 32. Perfil idealizado de la vegetación del sitio Los Pinos – Aliso.	171
Figura 33. Perfil idealizado de la vegetación del sitio Los Cipresales.....	172

FIGURA	PÁGINA
Figura 34. Modelo de sucesión vegetal para el bosque natural del volcán Santo Tomás, según su régimen de fuego.....	179
Figura 35. Carga total de combustibles forestales en T/ha, en los Sitios del bosque natural.....	185
Figura 36. Distribución de la carga de combustible leñoso por tiempo de retardo, en los sitios del bosque natural.....	186
Figura 37. Valor de carga de combustible T/ha, provenientes de la cama de combustibles y capa de fermento, por cada sitio.....	187
Figura 38. Altura promedio (cm), de cama combustible y capa de fermento por Sitio en el bosque natural.....	188
Figura 39. Relación de Carga T/ha de la cama de combustible y capa de fermento con la altura media.	189
Figura 40. Principales materiales de la cama de combustibles.....	190
Figura 41. Mapa de zonas de riesgo a incendios forestales del volcán Santo Tomás	199
Figura 42. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el sitio Los Pinos.	201
Figura 43. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el sitio Centro Ceremonial Pecul.	203
Figura 44. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el sitio Los Pinos - Aliso.....	204
Figura 45. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el sitio Los Pinabetes.....	206
Figura 46. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el sitio Los Cipresales.....	208
Figura 47. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el sitio La Loma de Caballo.	209
Figura 48. Brecha natural en el área del bosque natural de volcán Santo Tomás Pecul	212

FIGURA	PÁGINA
CAPÍTULO III: INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL MARCO DEL PROYECTO “PAISAJES PRODUCTIVOS RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDES SOCIOECONÓMICAS FORTALECIDAS EN GUATEMALA – PPRCC	
Figura 49. Larva de Saturniidae, vista de los tubérculos presentes.....	239
Figura 50. Aparato bucal masticador, vista con aumento 20x en estereoscopio	240
Figura 51. Daños provocados por larvas en <i>C. crotalifera</i> S. Watson.....	241
Figura 52. Hoja de maxán en Fase E de daño por larvas	242
Figura 53. Apreciación de fase A y B en campo en cultivo de maxán, caserío Pasac.....	242
Figura 54. Enfermedad de la Mancha Blanca en la hoja de maxán.....	244
Figura 55. Hoja de maxán con un 90 % de daño en el área foliar.	244
Figura 56. Taller de implementación de viveros forestales comunitarios en Comunidad Camache Chiquito.....	248
Figura 57. Taller de implementación de viveros forestales comunitarios en Camache Chiquito.....	248
Figura 58. Construcción del techo del vivero comunitario	249
Figura 59: Construcción de las paredes laterales del vivero comunitario	249
Figura 60: Camas germinadoras para la producción de plántulas	250
Figura 61. Capacitación a productores del caserío de Tzamabaj	255
Figura 62. Capacitación del uso del nivel en "A", caserío Pasac	255
Figura 63. Capacitación a productores del caserío Pacanal II.....	256
Figura 64. Capacitación en campo en caserío Pasac.....	256
Figura 65. Barrera viva en curva a nivel de maxán en cultivo de café	256
Figura 66. Barrera viva con maxán en cultivo de Café.....	257
Figura 67. Acequia realizada en cultivo de maxán.....	257
Figura 68. Elaboración de terrazas individuales en cultivo de café.....	258

FIGURA	PÁGINA
Figura 69. Mapa de ubicación de las parcelas con prácticas de conservación implementadas.	259

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO GENERAL COMUNITARIO DE LOS CASERÍOS DE PASAC, POCHOL, PACANAL I Y PACANAL II DE LA ALDEA XEJUYUP, MUNICIPIO DE NAHUALÁ, SOLOLÁ.	
Cuadro 1. Principales actores presentes en las comunidades.	12
Cuadro 2. Número de habitantes por caseríos en estudio para el diagnóstico comunitario.	15
Cuadro 3. Población estudiantil por centro educativo.....	20
Cuadro 4. Rendimiento y producción por área de los principales cultivos.....	23
Cuadro 5. Calendario agrícola de las principales cosechas en un ciclo de producción anual.....	24
Cuadro 6. Principales plagas y enfermedades en sistemas productivos locales.....	25
Cuadro 7. Número de familias según el tipo de fuente de agua.....	29
Cuadro 8. Número de familias con servicio de energía eléctrica.....	30
Cuadro 9. Número y tipos de los principales comercios locales.....	31
Cuadro 10. Tenencia de tierras por familias en los caseríos en estudio	33
Cuadro 11. Tipos de cobertura presentes en el área ocupada por las comunidades en estudio.	40
Cuadro 12. Listado de las principales especies arbóreas identificadas por percepción comunitaria.....	42
Cuadro 13. Listado de fauna silvestre según percepción comunitaria.....	43
Cuadro 14. Estimación de emisión de desechos sólidos por familia	51
Cuadro 15. Principales causas y efectos de los problemas ambientales identificados en el área de estudio.....	54
Cuadro 16. Problemas ambientales identificados por actores locales.....	57

**CAPÍTULO II: RÉGIMEN DE FUEGO EN EL BOSQUE NATURAL DEL
VOLCÁN SANTO TOMÁS PÉCUL, NAHUALÁ, SOLOLÁ,
GUATEMALA, C.A.**

Cuadro 17. Componentes de un régimen de perturbación	78
Cuadro 18. Tipos de regímenes de fuego.....	81
Cuadro 19. Centros poblados del área de estudio.....	90
Cuadro 20. Número de habitantes por comunidades.....	92
Cuadro 21. Especies indicadoras para las zonas de vida de Guatemala.	95
Cuadro 22. Listado de las principales especies arbóreas identificadas por comunitarios.....	98
Cuadro 23. Listado de fauna silvestre identificadas por comunitarios.	99
Cuadro 24. Unidades de muestreo evaluadas en el bosque natural del volcán Santo Tomás Pecul.	103
Cuadro 25. Episodios de fuego ocurridos en el bosque natural del volcán Santo Tomás Pecul.....	105
Cuadro 26. Episodios de fuego ocurridos en el bosque natural del volcán Santo Tomás.....	125
Cuadro 27. Principales factores climáticos en los incendios ocurridos en el volcán Santo Tomás.	126
Cuadro 28. Principales Ecosistemas forestales clasificados en el volcán Santo Tomás Pecul.....	127
Cuadro 29. Nombre y simbología de los ecosistemas forestales identificados	129
Cuadro 30. Características dasonométricas de los ecosistemas del volcán Santo Tomás.....	130
Cuadro 31. Principales características dasonométricas por especie en Sitio Los Pinos.	131
Cuadro 32. Distribución de los individuos por clase diamétrica en sitio Los Pinos.....	132

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 33. Principales características dasonométricas por especie en sitio Centro Ceremonial Pecul.....	133
Cuadro 34. Distribución de los individuos por clase diamétrica en sitio Centro Ceremonial Pecul.....	133
Cuadro 35. Principales características dasonométricas por especie en sitio Los Pinos – Aliso.	134
Cuadro 36. Distribución de los individuos por clase diamétrica en sitio Los Pinos – Aliso.	134
Cuadro 37. Principales características dasonométricas por especie en sitio Los Pinabetes.	135
Cuadro 38. Distribución de los individuos por clase diamétrica en sitio Los Pinabetes.	136
Cuadro 39. Principales características dasonométricas por especie en sitio Los Cipresales.	137
Cuadro 40. Distribución de los individuos por clase diamétrica en sitio Los Cipresales.	137
Cuadro 41. Principales características dasonométricas por especie en sitio La Loma de Caballo.	138
Cuadro 42. Distribución de los individuos por clase diamétrica en sitio La Loma de Caballo.....	139
Cuadro 43. Principales factores biofísicos de los ecosistemas forestales.	140
Cuadro 44. Clasificación de los ecosistemas forestales, según su ecología del fuego.	143
Cuadro 45. Clasificación según la ecología del fuego por especie	146
Cuadro 46. Listado de especies vegetales presentes en el bosque natural.	155
Cuadro 47. Probabilidad de presencia de las especies vegetales por cada sitio evaluado del volcán Santo Tomás Pecul.....	157
Cuadro 48. Valor de importancia por cada especie vegetal encontrada en área del muestreo del volcán.	160

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 49. Índices de diversidad alfa en los sitios evaluados del volcán Santo Tomás Pecul.....	164
Cuadro 50. Índice de Sorensen para cada sitio evaluado del volcán Santo Tomás Pecul.....	166
Cuadro 51. Clasificación de los ecosistemas evaluados en base a los estados de sucesión propuestos por (Mueller - Dombios y Ellenger 1974).....	174
Cuadro 52. Carga de combustibles forestales en T/ ha, por material leñoso y no leñoso de los ecosistemas forestales	183
Cuadro 53. Matriz la evaluación de riesgo por estructura vegetal, por sitio del bosque natural del volcán Santo Tomás Pecul.	191
Cuadro 54. Matriz para evaluar el riesgo territorial por sitio del bosque natural.	193
Cuadro 55. Matriz para evaluar el riesgo por factores meteorológicos en cada ecosistema del bosque natural.	195
Cuadro 56. Matriz para evaluar el riesgo por frecuencia de incendios ocurridos en los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul.	196
Cuadro 57. Riesgo total para los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul.....	197
Cuadro 58A. Listado de especies vegetales identificadas en los sitios de muestreo del volcán Santo Tomás Pecul.....	224
Cuadro 59A. Índice de valor de importancia para las especies vegetales encontradas en el área muestreada del volcán Santo Tomás Pecul.....	225
Cuadro 60A. Matriz de ponderación de indicadores de riesgo para los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul.	226

CUADRO

PÁGINA

**CAPÍTULO III: INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL MARCO
DEL PROYECTO “PAISAJES PRODUCTIVOS
RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDES
SOCIOECONÓMICAS FORTALECIDAS EN
GUATEMALA – PPRCC**

Cuadro 61. Prácticas de conservación de suelos utilizadas por actividad.254

]

RESUMEN GENERAL

En el Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía, se tiene como requerimiento el siguiente trabajo de graduación, vinculado en el marco del proyecto Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático y Redes Socio-económicas Fortalecidas en Guatemala (PPRCC), con los actores del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como el ente financiante y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) como el ente ejecutor, el cual tiene como objetivo principal aumentar la resiliencia ante el clima de los paisajes productivos y de los sistemas socio-económicos en los municipios dentro de la cuenca hidrográfica del río Nahualate.

El Capítulo I, presenta el diagnóstico, este se realizó en los caseríos de Pasac, Pacanal II, Pacanal IA y Pochol de la aldea de Xejuyup del municipio de Nahualá, Sololá, el cual presenta la situación del aspecto socioeconómico. En los caseríos se determinó una proyección para el año 2016 de una población total de 3,390 habitantes, con una distribución por género del 55 % mujeres y un 45 % hombres. Una de las principales actividades económicas es la producción agrícola, los principales cultivos son el café, hoja de maxán y el banano, los cuales perciben ingresos económicos mensuales de Q 500.00 a Q 800.00.

Los aspectos biofísicos del área indican una alta diversidad biológica y un alto potencial en recarga hídrica, los suelos son de los órdenes Udans y Ultisoles con condiciones favorables para actividades agrícolas, el área está dentro de la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo subtropical. Entre las principales problemáticas ambientales se determinó que el deterioro de los recursos naturales por factores antropogénicos y el cambio climático, causan efectos desfavorables y una disminución en la utilización de los servicios eco sistémicos actuales.

En el Capítulo II se presenta la investigación titulada Régimen de fuego en el bosque natural del volcán Santo Tomás Pécul. Se realizó en el ecosistema forestal del volcán Santo Tomás, dicho ecosistema tiene una extensión que abarca un área de 392.48 ha, el cual presenta una perturbación provocada por el fuego, a partir de los incendios

forestales, en este ecosistema han ocurrido cinco incendios forestales en el periodo del 2000 al 2016.

A partir de esta investigación, se obtuvieron los siguientes resultados: a) la identificación de cuatro ecosistemas forestales, siendo los siguientes: Sitios Los Pinos, Los Pinos – Aliso, Centro Ceremonial Pecul, Los Pinabetes, Los Cipresales y La Loma de Caballo, entre los cuales las especies forestales identificadas *Pinus hartwegii* Lindl, *Alnus acuminata* Kunt in Humb, *Abies guatemalensis* Rehder, *Arbutus xalapensis* y *Buddleia* sp. b) se elaboró un modelo de sucesión vegetativa basado en la regeneración natural y los patrones de regímenes de fuego, por lo que se clasificaron tres conformaciones: Bosque *Pinus* sp. – *Aliso* sp, Bosque *Abies guatemalensis* Rehder y Bosque de Ciprés común (*Cupressus lusitánica*), se determinó que un régimen de fuego de baja intensidad y con una ocurrencia de cada ocho años, el cual tendrá un rol benéfico en los bosques con dominancia de las especies *Pinus hartwegii* Lindl, *Alnus acuminata* Kunt in Humb. Mientras que en las otras conformaciones se debe excluir el fuego como una herramienta de manejo. c) se estimó un total de 2,357.61 Ton / ha, de combustibles forestales siendo según su clasificación de combustibles leñosos y un tiempo de retardo de 1,000 horas d) el ecosistema forestal presenta un alto riesgo a incendios forestales de alta intensidad y larga duración.

En el Capítulo III se presentan los servicios profesionales realizados en el marco del proyecto (PPRCC): a) identificación de las principales plagas y enfermedades en el cultivo de maxán (*Calathea crotalifera* S. Watson), b) taller y asistencia técnica a grupos comunitarios y extensionistas del (MAGA) para la implementación de viveros forestales comunitarios y c) capacitación en prácticas de conservación de suelos a productores de los caseríos Pasac, Pacanal II y Tzamabaj. En cada uno de ellos contiene la metodología utilizada y los principales resultados obtenidos en su ejecución.



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO

DIAGNÓSTICO GENERAL COMUNITARIO DE LOS CASERÍOS DE PASAC, POCHOL, PACANAL I Y PACANAL II DE LA ALDEA XEJUYUP, MUNICIPIO DE NAHUALÁ, SOLOLÁ.

1.1 PRESENTACIÓN

Las comunidades en estudio son los caseríos de Pasac, Pacanal II, Pacanal IA y Pochol de la aldea de Xejuyup del municipio de Nahualá Sololá, estos caseríos tienen una población proyectada para el año 2016 de 3,390 habitantes, dicha población tiene una distribución por género que establece un promedio de 55 % de mujeres y un 45 % hombres, la población económicamente activa pertenece en su mayoría a la población masculina en donde las principales actividades se derivan de la agricultura siendo estos los principales cultivos de hoja de maxan, café, banano y entre otros. En donde los ingresos dependen directamente de las actividades productivas locales las cuales se estimaron ingresos promedios mensuales son de Q500.00 y Q800.00, por lo que el nivel socioeconómico local es muy bajo repercutiendo en la calidad de vida de la población la cual presenta un bajo índice de desarrollo.

Este diagnóstico indican los aspectos biofísicos los cuales concluyen que son áreas de suma importancia debido a la alta diversidad biológica local, además de ser un área con alto potencial en recarga hídrica y los suelos presentan características edafológicas que permiten el desarrollo de cultivos de importancia como el café, cual es de buena calidad debido a las características altitudinales y climáticas, esta última es identificada como bosque muy húmedo montano bajo subtropical, por lo que estas áreas son de suma importancia por el alto potencial subutilizado de los servicios ambientales que esta zonas ofrecen.

Los recursos hídricos, suelos y bosques se ven altamente deteriorados por la acción de factores antropogénicos. El recurso hídrico local presenta un alto grado de contaminación debido a la falta de sistema de alcantarillado de aguas servidas las cuales son depositadas directamente a los cauces naturales, como también carecen de algún tipo de regulación en la privatización de nacimientos naturales, los cuales son apropiados por las comunidades las cuales se encargan de la venta o la utilización de los mismos.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Proyecto PPRCC

El proyecto Paisajes Productivos Resilientes al Cambio Climático y Redes Socio-económicas Fortalecidas en Guatemala (PPRCC) nace el 2014, con los actores del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como ente financiante y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) como ente ejecutor, el cual tiene como líneas de acción el fortalecimiento de la gestión ambiental, reducción de riesgos a desastres, aprovechamiento de energía renovables, acceso a servicios de agua potables y saneamiento, y la implementación de medidas de adaptación al cambio climático que potencien el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y sistemas productivos como parte del aumento de la resiliencia de los municipios de la parte media y alta de la cuenca del río Nahualate, en los departamentos de Sololá y Suchitepéquez.

El proyecto tiene como objetivo aumentar la resiliencia ante el clima de los paisajes productivos y de los sistemas socio-económicos en los municipios de destino amenazados por los impactos del cambio climático y la variabilidad climática, en particular los fenómenos hidrometeorológicos que están aumentando en frecuencia e intensidad.

El área de intervención del proyecto cubre 1,376 km² y comprenden la parte media y alta de la cuenca hidrográfica del Nahualate (Figura 1). Esta selección se basó en los siguientes criterios: índice de calidad de vida, frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos (inundaciones y derrumbes), presencia de zonas de recarga hídrica, y porcentaje de población indígena.

En la cuenca del Nahualate se identificó a beneficiarios directos de las acciones específicas del proyecto propuesto son organizaciones comunitarias de un subconjunto de 19 micro-cuencas. Las cuencas destinatarias son: Alto Nahualate (58.12 km²), Uguualxucube (22.35 km²), Tzozomá (45.67 km²), Paximbal (19.27 km²), Igualcox (105 km²), Masá (51.01 km²), Ixtacapa (134.1 km²), Yatzá (58.92 km²), Panán (54.39 km²), Mixpiyá (23.28 km²), Nicá (57.93 km²), Mocá (91.93 km²), Paquiácamiyá (3.4 km²) Tarro (26.39 km²), Bravo (24.48 km²), San Francisco (45.43 km²), Chunajá (24.97 km²) Sigüacán (64.93 km²) y Coralito (12.63 km²)

El total de población priorizada para estas micro cuencas es 139,545 personas, de las cuales 85,341(61%) son rurales, y 69,918 (50%) son mujeres. Al menos veinticinco organizaciones comunitarias y no menos de 42,000 habitantes se beneficiarán directamente del proyecto.

1.2.1.1 Socios estratégicos

Los principales socios estratégicos del PPRCC son. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), Ministerio de Ambiente y Recurso Naturales (MARN), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Ministerio de Economía (MINECO), las organizaciones comunitarias y el sector privado, los cuales tienen como finalidad el aporte de estrategias y acciones que de forma conjunta potencien la resiliencia en las de acción del proyecto y creen mejoras en las personas beneficiarias.

1.2.1.2 Resultados esperados del proyecto

El Proyecto se tiene como resultados esperados a corto plazo los cuales van desde la mejora de las capacidades institucionales para apoyar en la construcción de economías locales más resilientes, y el aumento de la capacidad de adaptación de las comunidades. Esto se lograra mediante los cuatro componentes principales del proyecto como parte estratégica para garantizar el cumplimiento de los resultados de forma integral.

A. Actividad de resultado Uno

Fortalecimiento de la capacidad institucional y política para la incorporación de medidas de adaptación al cambio climático en la planificación nacional, departamental, municipal, en la inversión pública, el presupuesto y la toma de decisiones.

B. Actividad de resultado Dos

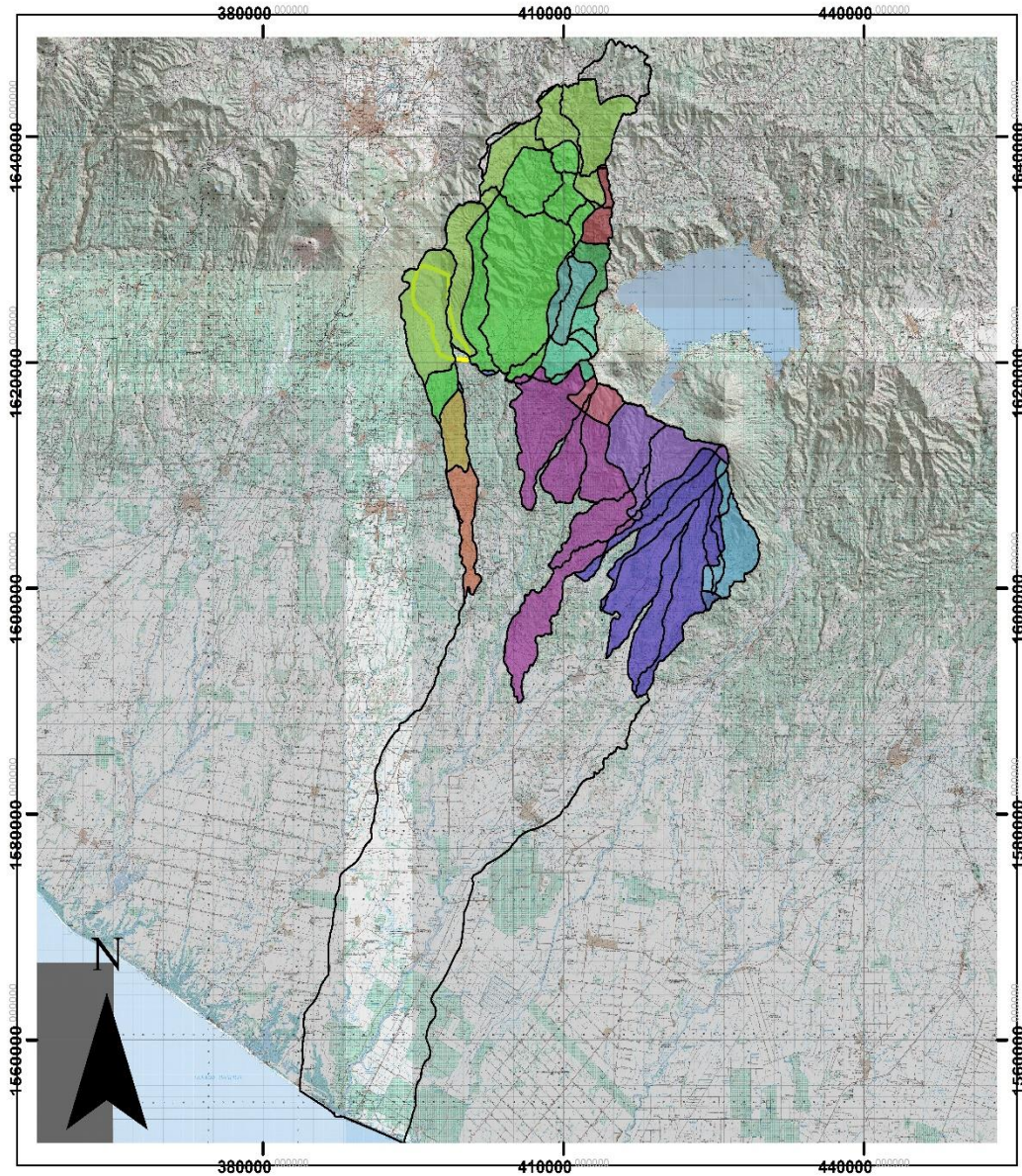
Desarrollo e implementación de la gestión de los ecosistemas para su resiliencia al cambio climático y prácticas productivas que reduzcan la vulnerabilidad de las comunidades.

C. Actividad de resultado Tres

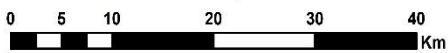
Aumento de la capacidad de las asociaciones comunitarias de base para reducir los riesgos asociados a las pérdidas socio-económicas y ecosistémicas vinculadas al clima en los municipios del área de intervención.

D. Actividad de resultado Cuatro

Establecimiento de un sistema de información, sobre la base de los actuales centros sub-nacionales y nacionales especializados, para apoyar el proceso de toma de decisiones sobre una base más sólida y científica.



Datum:
 WGS 1984
Sistema de Coordenadas:
 GTM
Fuente Capas:
 IGN, 2006
Indice Hojas Cartográficas: ING, 2006
Elaborado por:
 Carlos Ernesto Donis Meza
Escala Numérica 1:555,018



Cuenca río Nahualate	
	Municipios
	Chicacao
	Nahualá
	Patulul
	San Antonio Suchitepéquez
	San Juan Bautista
	San Juan La Laguna
	San Pablo Jocopila
	San Pedro La Laguna
	Santa Bárbara
	Santa Catarina Ixtahuacán
	Santa Clara la Laguna
	Santa Lucía Utatlán
	Santa María Visitación
	Santiago Atitlán
	Santo Tomás La Unión

Figura 1. Mapa de intervención del proyecto PPRCC

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Realizar un diagnóstico comunitario, identificando las principales problemáticas ambientales a partir del conocimiento de la situación actual de las comunidades Pochol, Pasac, Pacanal I y Pacanal II de la Aldea Xejuyup en el municipio de Nahualá, Sololá.

1.3.2 Específicos

1. Conocer la situación actual de las comunidades Pochol, Pasac, Pacanal I y Pacanal II de la Aldea Xejuyup en el municipio de Nahualá, Sololá.
2. Identificar las principales problemáticas ambientales en los caseríos de Pasac, Pochol, Pacanal I y Pacanal II de la Aldea Xejuyup, Municipio de Nahualá, Sololá.
3. Describir las condiciones generales de las comunidades con énfasis en sus dinámicas sociales y económicas, así como sus aspectos naturales relevantes.
4. Determinar las principales problemáticas ambientales que afectan principalmente a las comunidades

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Identificación de Actores locales

Se realizó un sondeo con la finalidad de identificar los principales actores locales, institucionales y privados que su campo de acción se ven orientados al planteamiento de estrategias para la implementación de acciones de desarrollo social, económico y ambiental en el área de influencia de los caseríos en estudio.

1.4.2 Recopilación de información

Se recopiló la información de fuentes primarias, como actores locales, comunitarios e institucionales por medio de visitas, recorridos de campo, por medio de un sondeo a grupos de desarrollo comunitario. Por lo que se utilizó una boleta de campo para obtener la información necesaria.

Se utilizó sistemas de información geográficas por medio de levantamientos de mapas temáticos como actividades de campo para la caracterización de los aspectos biofísicos locales.

1.4.3 Análisis de la información

Se interpretó la información recopilada de los aspectos socioeconómicos y biofísicos, por lo que se realizó un análisis descriptivo local con la finalidad de identificar las principales debilidades en aspectos sociales, económicos y ambientales.

1.4.4 Identificación de la problemática ambiental local

En la identificación de la problemática ambiental se realizaron distintas actividades participativas, las cuales se llevaron a cabo en la fase diagnóstica de los caseríos en estudio, por lo que se realizaron talleres participativos y el uso de boletas de campo como herramientas para la obtención de información primaria, entre las que se pueden mencionar reuniones con los COCODES de cada uno de los caseríos, como también la aplicación de un sondeo participativo a los actores locales.

Como también se utilizaron los sistemas de información geográfica para conocer la situación actual de los recursos naturales y el comportamiento por medio de las dinámicas en los recursos en periodos anteriores.

1.4.5 Determinación de las principales causas y efectos de los problemas ambientales.

Se determinaron las principales causas y efectos de las problemáticas ambientales por medio de la realización de una matriz donde expone las principales causas y efectos relacionados con las problemáticas ambientales presentes.

La matriz de causas y efectos expone los principales factores que provocan la presencia de la problemática ambiental, como también los efectos directos que tienen los mismos sobre los aspectos socioeconómicos y ambientales en la región.

1.4.6 Jerarquización de los problemas ambientales.

La jerarquización de los problemas ambientales identificados se elaboró un esquema de análisis de causas y efectos, en el cual se priorizaron los problemas ambientales parciales sobre el impacto sobre los aspectos socioeconómicos, biofísicos y ambientales del área en estudio, como también se definió un problema general, el cual está categorizado como el de mayor impacto.

Se utilizó un árbol de causas y efectos como una herramienta de suma importancia ya que expone la problemática de mayor importancia y como también la situación actual de la que esta provoca sobre la región.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Actores del área

Los principales actores locales e institucionales que tienen en su marco de acción promover el desarrollo económico, social y ambiental en los caseríos de Pacanal II, Pacanal I, Pasac y Pochol. Se describen en el cuadro 1

Cuadro 1. Principales actores presentes en las comunidades.

Actores	Descripción	Principales logros
-MAGA-	El ministerio por medio de las oficinas regionales y sus programas de extensión, promueven el desarrollo rural local con estrategias que vinculen el fortalecimiento de redes productivas por medio de capacitaciones, planes de asesoría técnica y la formación de grupos o asociaciones locales de desarrollo comunitario.	<p>Los logros principales de las oficinas regionales de extensión es promover las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diversificación de los sistemas de producción agrícola. • Mejoramiento genético en maíz para la prevención de plagas y enfermedades. • Asistencia técnica en producción agrícola comunitaria.
-CONRED-	La CONRED por medio de sus programas locales tiene sedes denominadas COLRED, los cuales son los entes organizativos locales que promueven las acciones como monitoreo y control en caso de desastres naturales, asistencia para la organización local comunitaria para programas de búsqueda, control y rescate en presencia de un evento, como también implementación de programas de capacitaciones en zonas de alta vulnerabilidad a riesgos.	<p>Los principales logros que han conseguido la coordinadora nacional en la formación de dos centros de COLRED, en la Aldea Xejuyup, esto se debe a raíz de la alta vulnerabilidad a riesgos de incendios forestales en el Volcán Santo Tomas, por lo tanto, promueve una facilidad de acción ante eventos de esa índole.</p>
INACOP-	El instituto es el ente gubernamental en brindar asesoría técnica y administrativa a pequeños grupos comunitarios con el fin de lograr la formación de pequeñas cooperativas, el cual entre sus principales campos de acción promueven este tipo de organizaciones, con la ayuda de gestión y control de este tipo nivel organizativo, todo este tipo de formación y organización se rige bajo la Ley General de Cooperativas	<p>En sus principales acciones locales, han tenido los resultados en la formación y fortalecimiento de dos cooperativas en el área de influencia las cuales son productoras de café, como también promueven la equidad de género y el desarrollo integral rural.</p>

...continua cuadro 1

Actores	Descripción	Principales logros
-COCASNAH R.L-	Esta cooperativa es una de las principales agrupaciones de fomento de desarrollo de la localidad, es una organización que tiene una representatividad legal, por lo que la ha llevado a fomentar el desarrollo local a través de los asociados, su eje principal de trabajo es la implementación de proyectos que se dedican a la siembra, cosecha, compra y venta de café orgánico, lo que promueve a la participación local como el crecimiento económico de sus asociados.	Los logros que han sido de alta influencia sobre los recursos naturales como también del desarrollo comunitario integral. Entre las principales actividades es el fomento y la participación de la mujer en proyectos de desarrollo, el mayor proyecto de alto auge ha sido el llamado "Café Femenino" el cual se basa en la producción, siembra, cosecha y venta de café orgánico, con la participación en todos los procesos solo de mujeres, como también el cuidado del ambiente, debido a que estos ven beneficiados del aprovechamiento de los productos provenientes de los recursos suelo y agua.
-ANACAFE-	Esta tiene un gran impacto en los sistemas productivos de café. En la aldea Xejuyup se ha visto beneficiada por la formación a partir de transferencia de conocimientos por medio de talleres, capacitaciones y asistencia técnica a los caficultores locales. Como también la prestación de servicios de laboratorios para el análisis de suelos y de aguas residuales que son utilizados en la producción de café.	Entre los principales logros se enfocan en promover la importancia de la renovación de cafetales, como también la adopción local a nuevas variedades resistentes a plagas y enfermedades (Roya), por medio de programas y seguimiento se ha logrado identificar mejoras productivas, los cuales tienen como indicadores el aumento de la producción en ciclos cortos.
Organización Vivamos Mejor	Es una organización que tiene como un enfoque integral en manejo sostenible de las cuencas y la resiliencia de las mismas antes los riesgos del cambio climático, como también busca por medio de un enfoque integral y participativo la	Entre los principales logros que tienen como organización en la zona de influencia de los caseríos en estudio se promueve distintos proyectos y programas entre los que podemos mencionar: proyectos con enfoque de equidad

...continua cuadro 1

Actores	Descripción	Principales logros
Organización Vivamos Mejor	Creación de programas y proyectos comunitarios para el fortalecimiento de redes económicas, mejoras en la calidad de vida en las comunidades del departamento de Sololá, las cuales por sus acciones tradicionales y productivas promueven al uso irracional de los recursos naturales.	De género, programas de agricultura familiar y seguridad alimentaria por medio de la implementación de huertos familiares, proyecto apícola familiar local y asesoramiento técnico a las comunidades en distintos campos. Como también tienen líneas de investigación que aportan a la zona conocimientos científicos y lineamientos para el manejo sostenible de los recursos naturales.
Asociación Raíces y Alas	Es una asociación ubicada en el caserío Pasac, la cual tiene como enfoque principal la educación y la salud de los niños de las comunidades. Dicha asociación trabaja con donaciones internacionales para la implementación de programas educativos y de nuevas estrategias con el fin de mejorar la calidad de vida de los niños a través del conocimiento de una vida saludable.	Las líneas de acción de la asociación han logrado un fuerte avance y un gran crecimiento en el conocimiento a través de su diplomado de computación para niños y jóvenes de la comunidad de Pasac y de sus alrededores, beneficiando a 80 niños entre las edades de 4 – 12 años de edad. Como también el programa de vida saludable, por medio de una purificadora de agua local, fomentan la importancia del beber agua pura en los niños y en las familias otorgando un servicio de bajo costo.

Los actores potenciales en los caseríos en estudio tienen como un limitante la carencia de presupuesto o aportes por parte de entidades no gubernamentales que los lleven a la formación de programas o de proyectos de desarrollo comunitario, esto se debe a que en la mayoría de estos son de origen no gubernamental y con ciertos aportes privados, siendo esta la principal limitante que estos presentan para el cumplimiento de sus objetivos como grupos organizados.

Por otra parte, existe una deficiente participación por parte de las instituciones del estado las cuales por la carencia de personal no logran con cumplir con la cobertura correspondiente a cada institución, como también acciones que sean solo inmediatas o en situaciones de emergencia, lo cual provoca un déficit en el seguimiento de las mismas de forma permanentes que lograrían aspectos de prevención.

1.5.2 Aspectos socioeconómicos

1.5.2.1 Demografía

A. Población total

El número total de habitantes proyectado en base a la tasa de crecimiento anual para el interior del país es de 2.34 % propuesta por el INE (Instituto Nacional de Estadística) indica que la totalidad de la población que componen a los caseríos bajo estudio es de 3,390 personas de las cuales el 10.2 % (347 habitantes) son del caserío Pacanal IA, el 18.6 % (629 habitantes) son del caserío de Pacanal II, el 33.4 % (1131 habitantes) pertenecen al caserío Pochol y el 37.8 % (1282 habitantes) pertenecen al caserío de Pasac, siendo este el que presenta una mayor una cantidad de población por lo tanto, es uno de los que más área de influencia en la zona de investigación. (Figura 7)

Cuadro 2. Número de habitantes por caseríos en estudio para el diagnóstico comunitario.

Departamento	Municipio	Aldea	Caseríos	No. Habitantes
Sololá	Nahualá	Xejoyup	Pacanal 1 ^a	347
			Pacanal II	629
			Pasac	1282
			Pochol	1131
Total de la Población año 2016				3390

Fuente: Censo de población por Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de la República de Guatemala, Proyección 2016.

B. Población por edades y género

La clasificación de la población por edades se presente por medio de una pirámide poblacional, la cual tiene como objetivo determinar la edad mayoritaria en la cual se encuentra la población en estudio.

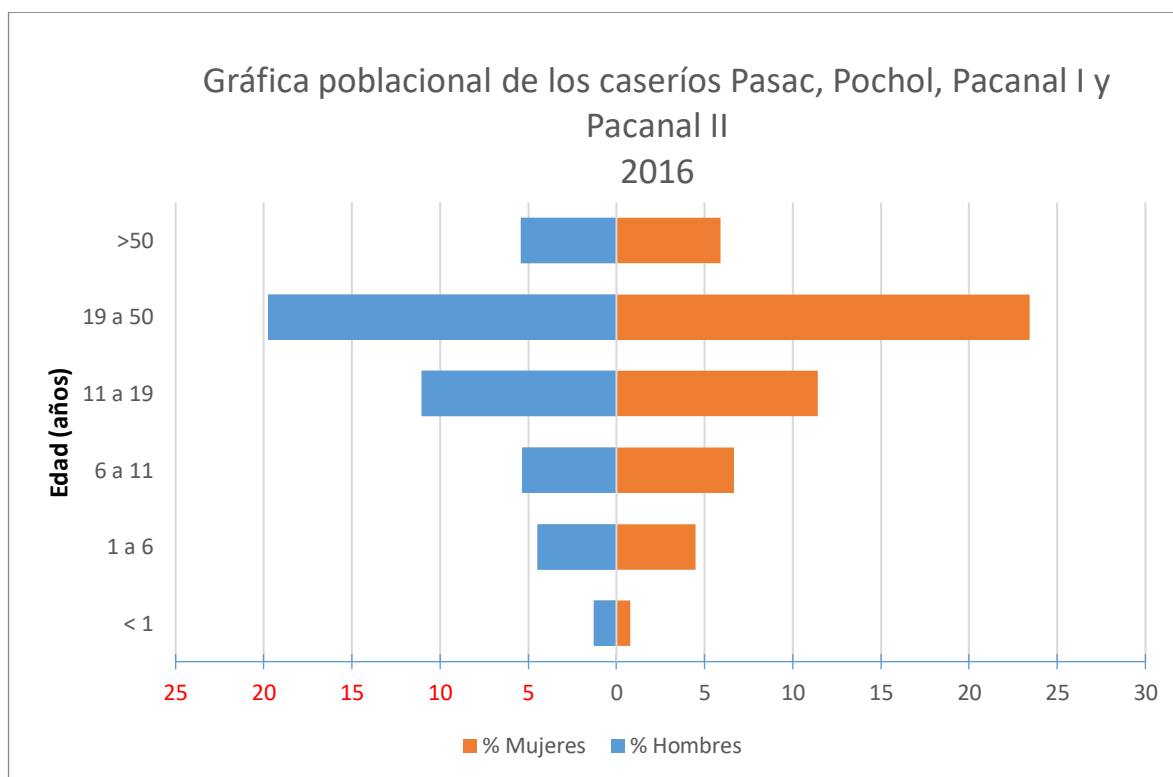


Figura 2. Gráfica poblacional para los caseríos en estudio.

Fuente: Censo de población por Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de la República de Guatemala, Proyección 2016.

La figura 1 hace referencia a la pirámide poblacional para la totalidad de los habitantes de los caseríos en estudio, en la cual indica el comportamiento en porcentaje de la distribución por edades en la población, la cual indica como resultado que el mayor porcentaje de edad de los habitantes oscila entre los 19 a 50 años, siendo este entre 20% a 25% de la población total y entre 10% del total de la población se encuentra comprendida entre los 11 a 18 años.

En la figura 2 se puede observar el patrón de distribución por género que siguen los caseríos en estudio de la aldea Xejuyup, esta indica que existe una media porcentual de 53.35% (1,809 habitantes) son mujeres y el 46.65% (1,582 habitantes) son hombre. Por lo tanto existe un comportamiento que indica que la mayor parte de la población pertenece al género femenino.

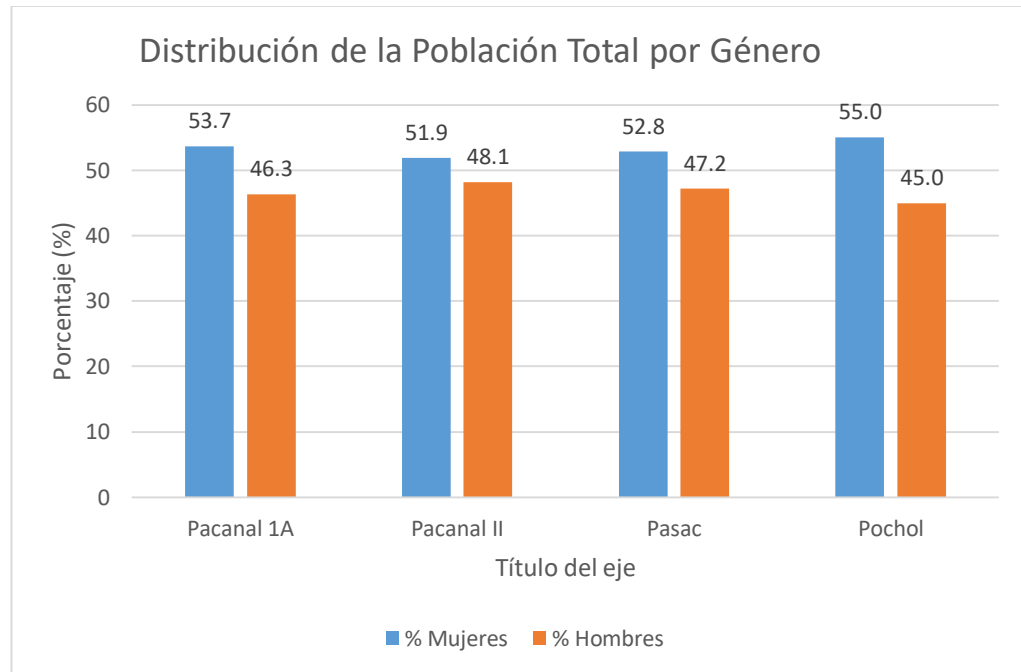


Figura 3. Cantidades porcentuales de la población total por género de los caseríos en estudio.

Fuente: Censo de población por Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de la República de Guatemala, Proyección 2016.

C. Población económicamente activa –PEA-

En los caseríos de Pacanal IA, Pacanal II, Pochol y Pasac de la aldea Xejuyup, tiene un sesgo a que la PEA sea en su mayoría habitantes del sexo masculino esto se debe a factores sociales ancestrales como el patriarcado en las familias, como también el

tipo de trabajo que se realiza en la zona, dichas actividades son de sistemas de producción agrícola o trabajo fuente de campo.

Es importante mencionar que la mayor parte de la PEA de los caseríos esta fuera de cualquier programa de desarrollo y seguridad social. La situación anterior de una problemática social debido a que los trabajadores carecen de protección por los que gastos como de salud proviene de los ingresos para la adquisición de medicamentos.

Solamente existe una proyección que alrededor del 25% de la población pertenece a la PEA de las cuales en su totalidad son hombres, esto se debe al tipo de ambiente laboral y las actividades que estos realizan, por otro lado las mujeres principalmente participan de forma laboral como amas de casa y otras actividades domésticas las cuales carecen de algún tipo de ingreso económico.

1.5.2.2 Nivel de ingresos económicos

A. Salarios mínimos

La mayor parte de los ingresos de los pobladores obtienen sus ingresos económicos por medio de la agricultura, vendiendo parcialmente o total la cosecha obtenida. Así mismo otras personas se dedican a buscar empleo en Santo Tomas La Unión, Suchitepéquez en: Mecánicas, tiendas, panaderías, etc. el comercio es de carácter artístico y oficioso que se practica así como la albañilería, herrería, carpintería, panificador, agricultor, sastres y pilotos. Siendo un dato comprendido de salario mínimo de entre Q500.00 y Q800.00 mensuales, lo cual indica el factor determinante del bajo nivel de vida de la población. Mientras que existe un pequeño porcentaje de la población que tiene mayor nivel educativo los cuales tienen mejores oportunidades laborales como: maestros, cajeros y auxiliares en cualquier rama, este tipo de población tiene un rango de ingresos de Q. 1,500.00 a Q. 3,000.00 promedio mensual, por lo que tienen una mejor oportunidad en calidad de vida.

B. Ingresos mensuales y anuales

Debido a la escasez de fuentes de trabajo en los Municipios, la actividad agrícola es la principal fuente de generadora de empleo, la cual se ve afectada por la temporalidad de las cosechas, plagas (actualmente roya en los cafetales) y escasas de lluvia en los cultivos (Cultivo de maxán, café, maíz, tomate y frijol).

De acuerdo a los datos recopilados, se determinó que la mayor parte de la población, se ubica en el rango de ingresos de Q 500.00 a Q 800.00 mensuales y un rango comprendido entre Q7000.00 y Q8000.00 anuales, lo cual es un factor determinante en el bajo nivel de vida de la población.

1.5.2.3 Educación

A. Nivel de escolaridad

La educación en los poblados tiene una fuerte cobertura a nivel comunitarios, ya que, un 85% de la población es alfabeta y el restante 15% son personas analfabetas comprendiendo hombres y mujeres para dicha variable las cuales son personas de la tercera edad, estas son las personas que no tuvieron un acceso a educación por los tiempos anteriores.

En los caseríos en estudio en los últimos años por medio de gestiones locales a instituciones internacionales y al estado se ha logrado obtener la infraestructura de cuatro escuelas de educación preprimaria y primaria entre la que se pueden mencionar:

- Escuela Oficial Rural Mixta Caserío Pacanal II

- Escuela Oficial Rural Mixta Caserío Pacanal IA
- Escuela Oficial Rural Mixta Caserío Pasac
- Escuela Oficial Rural Mixta Caserío Pochol

Cuadro 3. Población estudiantil por centro educativo.

No	Clasificación	Ubicación	Nivel Educativo	Población Estudiantil
1	EORM	Caserío Pasac	Pre y primaria	260 alumnos
2	EORM	Caserío Pacanal I	Pre y primaria	78 alumnos
3	EORM	Caserío Pacanal II	Pre y primaria	160 alumnos
4	EORM	Caserío Pochol	Pre y primaria	500 alumnos

B. Grado de escolaridad

El grado de escolaridad en los caseríos pertenece solo a los niveles pre primarios y primarios debido al incremento a la educación en los últimos años siendo de beneficio para las comunidades, para los niveles de básico y diversificado tiene que movilizarse a los centros educativos de Santo Tomas la Unión, Suchitepéquez y aldea de Xejuyup, Nahualá, Sololá. Cabe resaltar que hay un porcentaje muy bajo de personas que no tienen ningún grado de escolaridad, que son quienes comprenden las personas de edad adulta.

1.5.2.4 Idiomas

La población mayoritaria un 98 % es de origen k`iché, el resto lo conforman de origen de otra cultura indígena, puesto que se ha dado el caso que se han unido en

matrimonio con alguna persona del pueblo, por lo tanto, el Idioma que se maneja dentro del área de estudio es el idioma k'iché.

1.5.2.5 Migraciones

A. Origen y causas

La migración se conforma con la emigración e inmigración, es el desplazamiento de habitantes de un lugar a otro por razones sociales, económicas y políticas, lo que genera trastornos en la sociedad, como: el incremento en el índice de pobreza, violencia, desempleo y sub empleo en las áreas rurales y urbanas. De acuerdo a la información recopilada en campo, se estableció que del total de la población el 20% de los habitantes emigra hacia otras regiones, en su mayoría ciudad de Guatemala y otros a EE. UU de forma ilegal. Por consiguiente la principal causa es la búsqueda de mejores fuentes trabajo, para mejorar la calidad de vida.

1.5.2.6 Organización comunitaria

A. Caserío Pacanal II

Este tipo de organización lo rige ante el orden municipal un Consejo Comunitario de Desarrollo, como también tiene una junta directiva local la cual se encarga de la toma de decisiones y se hace de forma participativa y no excluyente. La junta directiva la conforma:

- COCODE
- Comité escolar
- Comité para funerarios
- Fontaneros
- Comité de seguridad

B. Caserío Pacanal IA

La junta directiva la conforma:

- COCODE
- Consejo de padres de familia
- Líderes religiosos

Caserío Pasac

La junta directiva la conforma:

- COCODE
- Comité de mujeres
- Comité de seguridad
- Comité escolar
- Cooperativa Nahuala
- Organización Raíces y alas
- Comisión de becas
- Instituto de telesecundaria
- COLRED
- Iglesia Católica
- Iglesia Evangélica

C. Caserío Pochol

La junta directiva la conforma:

- COCODE
- Principales (ex – alcalde auxiliar)
- Aguaciles

1.5.2.7 Actividades productivas

A. Producción agrícola

Entre sus productos agrícolas sobresalen el café, que es de buena calidad, maíz, frijol, tomate, chile pimiento, chile chiltepe y cultivo hoja de maxan, siendo estos los cultivos principales los cuales algunos de ellos son para consumo propio como el maíz y el frijol, el resto es para venta.

En el cuadro 4 se presenta los principales rendimientos y producción total de los principales cultivos utilizados por la población de los caseríos en estudio.

Cuadro 4. Rendimiento y Producción por área de los principales cultivos.

Principales Productos Agrícolas			
Principales Cultivos	Producción/cuerda	Dimensional	Valor de mercado
Café	5	Quintales	Q350.00/qq
Hoja de Maxan	5	Bulto (mil hojas)	Q100 - Q150/bulto
Banano	3	Quintales	Q.60.00/qq
Frijol	3	Quintales	Q350.00/qq
Maíz	3	Quintales	Por consumo

Como también se expone el calendario agrícola local, en el cual presenta los principales meses de cosecha por cultivo, los cuales se observan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Calendario agrícola de las principales cosechas en un ciclo de producción anual.

Principales Cultivo	Meses de Cosecha por cultivo												Lugar de Producción	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic		
Hoja de Maxan														Pacanal II
Café														Pasac-Pacanal IA
Banano														Pasac-Pacanal IA
Maíz														Pochol
Frijol														Pochol
Tomate														Pochol
Chile Pimiento														Pochol

Según el cuadro 5 indica que el cultivo de la hoja de maxan tiene un ciclo corto de producción por lo que sus ingresos por cosechas se ven de suma importancia para la región debido a los ingresos económicos que tiene en los productores locales, por el manejo y el ciclo corto del cultivo le permite obtener cosechas en los 12 meses del año.

Como todo sistema productivo se observan las principales plagas y enfermedades que se expresan en estos sistemas producción agrícola local, por lo tanto, se expresan en el cuadro 6 los principales problemas en los sistemas de producción agrícola.

Cuadro 6. Principales Plagas y Enfermedades en sistemas productivos locales.

Principales Cultivo	Principales Plagas o Enfermedades	Método de Control	Plan de Fertilización
Hoja de Maxan	No sé a identificado	No se aplica	No Cuenta
Café	Roya del café	Productos orgánicos	Si cuenta
Banano	Antracnosis en ápice de especímenes maduros	No se aplica	No cuenta
Maíz	Mancha de asfalto e insecto defoliador	Productos Químicos	Si cuenta
Frijol	Roya del frijol	Productos Químicos	Si cuenta
Tomate	Mosca blanca, Mal de talluelo y tizón	Productos Químicos	Si cuenta
Chile Pimiento	No se detecta	X	X

B. Producción pecuaria

La actividad local pecuaria a nivel comunitario es muy poca, ya que no existe ningún grupo productor de animales, esto se debe a que la única crianza de animales son aves de patio y a lo sumo llegan a poseer un cerdo para auto consumo.

C. Producción industrial

A nivel comunitario la producción industrial mayor fortalecida es el beneficio de café de la Cooperativa Nahualá en el caserío Pasac, en esta industria se le da un proceso de preparación al café del despulpe y secado del grano para café de exportación el cual es transportado a Quetzaltenango.

D. Producción artesanal

En la mayor parte de los caseríos la única actividad artesanal es la elaboración de tejidos para el uso propio, esta práctica es realizada principalmente por mujeres amas de casa.

1.5.2.8 Servicios e infraestructura

A. Salud

a. Infraestructura de salud

La infraestructura de salud para las comunidades es por parte del Estado, por medio del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, es su programa de cobertura nacional cuenta en la zona con un centro de salud ubicado en la aldea Xejuyup, el cual tiene entre su cobertura al caserío Pochol, mientras para los caseríos de Pacanal II, Pacanal IA y Pasac, están vinculados a la casa de salud ubicada en el caserío de Pacanal I. Estos centros de asistencia de salud tienen solo la posibilidad de atender enfermedades menores y controles preventivos ya que no cuentan con ningún tipo de equipo especializado para atender emergencias de mayor gravedad, en caso de estos sucesos los pacientes tienen que ser transportados al hospital general de Mazatenango.

b. Morbilidad y mortalidad

Las principales causas de morbilidad en los caseríos se presentan en las siguientes graficas

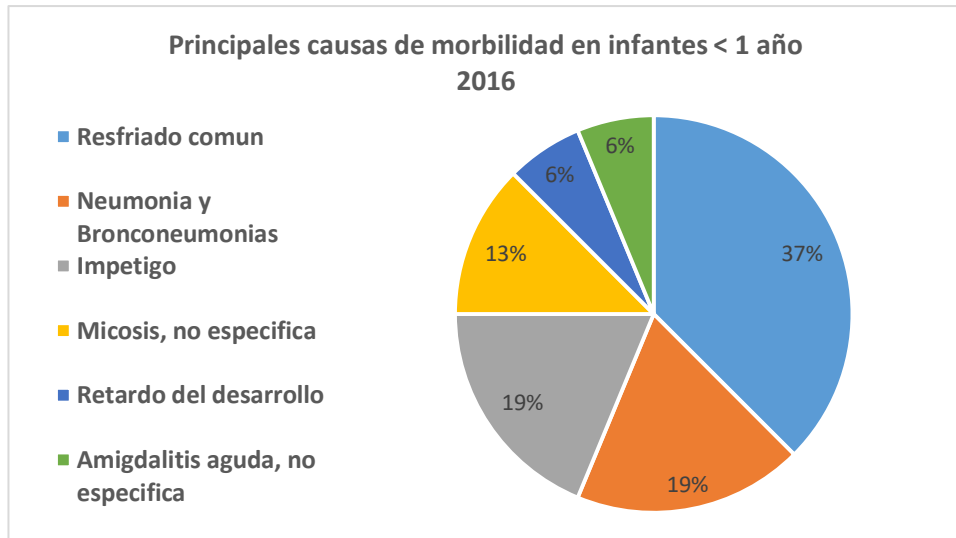


Figura 4. Principales Causas de morbilidad en infantes.

Fuente: Censo de población por Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de la República de Guatemala, Proyección 2016.

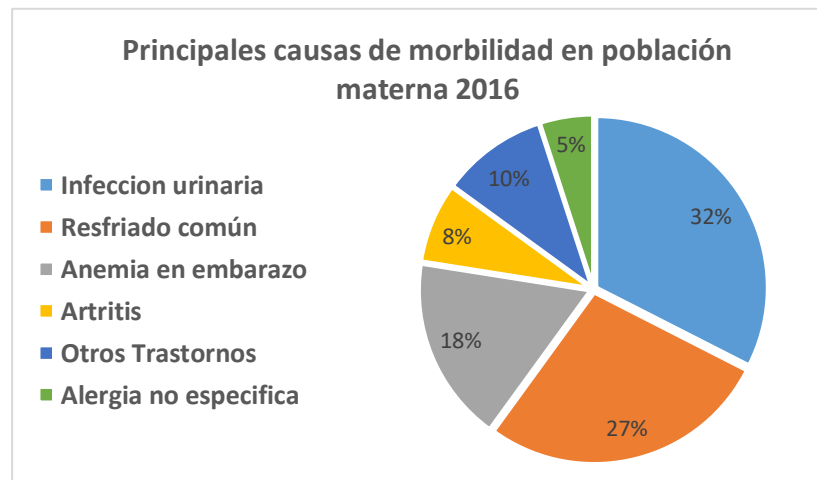


Figura 5. Principales causas de morbilidad en población materna.

Fuente: Censo de población por Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de la República de Guatemala, Proyección 2016.

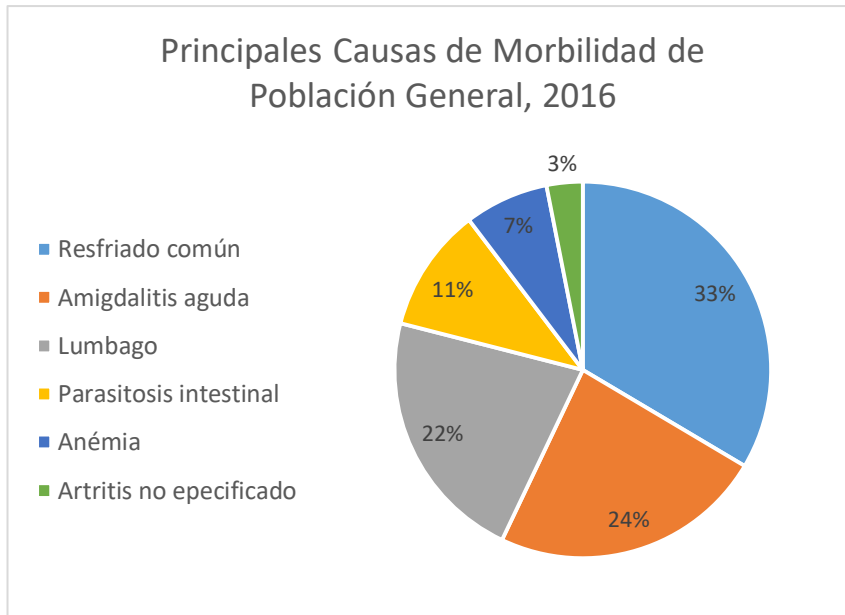


Figura 6. Principales causas de morbilidad de población general.

Fuente: Censo de población por Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de la República de Guatemala, Proyección 2016

B. Agua potable

a. Caserío Pacanal II

La comunidad cuenta con 15 nacimientos entre los cuales son aprovechados como fuente de recurso hídrico como agua para uso doméstico, el transporte del recurso hídrico es por medios de un sistema por gravedad por medio de tuberías.

b. Caserío Pacanal IA

La comunidad cuenta con dos nacimientos de agua los cuales son aprovechados por medio de un sistema por gravedad en cual es encargado del transporte y distribución del recurso hídrico, su principal uso es para uso doméstico.

c. Caserío Pasac

La comunidad cuenta con siete nacimientos de agua, de los cuales solo dos nacimientos son aprovechados como fuente de agua. Su transporte es por medio de un sistema por gravedad a través de líneas de conducción por medio de tuberías.

d. Caserío Pochol

Esta comunidad cuenta con tres nacimientos de agua de los cuales solo dos son para agua para uso doméstico.

e. Principales fuentes de recursos hídricos

Cuadro 7. Número de familias según el tipo de fuente de agua.

Número de Familias según tipo fuente de agua										
Comunidad	Chorro propio		Chorro comunitario		Río, lago o manantial		Pozo propio		Otro	
Pacanal 1A	62	100%								
Pochol	82	98%					1	1%	1	1%
Pacanal II	110	96%	1	1%	1	1%	2	2%	1	1%
Pasac	241	96%	1	1%					8	3%

El cuadro anterior expone el tipo de fuente de agua en las familias de las comunidades, la cual indica que el 99 % de la fuente principal es por medio de chorro propio la cual establece que el agua solo lleva un proceso previo de clorado.

C. Energía eléctrica

El servicio de energía eléctrica si existe por medio de la cobertura de líneas de cables para la distribución de este servicio, por lo tanto el siguiente cuadro muestra el número de familias con este servicio, entre las cuales se puede apreciar que existen aún familias que carecen de este servicio esto se debe a que las misma no tiene el poder económico para poder adquirir este servicio.

Cuadro 8. Número de familias con servicio de energía eléctrica.

Número de Familias con servicio de energía eléctrica				
Comunidad	Si		No	
Pacanal 1A	55	87%	8	13%
Pochol	75	87%	11	13%
Pacanal II	105	90%	12	10%
Pasac	237	94%	15	6%

D. Comercios y mercados

El los caseríos en estudio se observó que los únicos tipos de comercios fueron tiendas de productos de consumo diario, en las cuales son una forma de actividad económica para las familias ya que en estos casos son actividades comerciales que son manejadas por mujeres como una actividad adicional, en algunas comunidades se pudieron observar otro tipos de comercios, los cuales se pueden observar en el cuadro 9.

Cuadro 9. Número y tipos de los principales comercios locales.

Comercios Locales			
Caserío	No. De Comercio	Tipo de comercio	Otro Comercio
Pacanal II	5	Tienda de consumo diario	X
Pacanal I	4	Tienda de consumo diario	Barbería y Sastrería
Pasac	25	Tienda de consumo diario	Cafés Internet y Librería
Pochol	20	Tienda de consumo diario	X

En cuanto a mercados en ningún caserío cuenta con un mercado, ni días de mercado como lo practican en otras comunidades cercanas, el mercado más cercano es el de la aldea Xejuyup, la cual es el centro poblado más importante de la región.

E. Sistema de drenajes

De los caseríos en estudio solo los caserío de Pasac y Pochol cuentan con un sistema de drenaje y alcantarillado para la comunidad, mientras que los caseríos restantes carecen de este servicio los cuales están como se dice a “flor de tierra” o en cunetas a la orilla de la calle, siendo este una causa de principales enfermedades en la población.

F. Seguridad

En el aspecto de seguridad los caseríos cuentan como una forma de organización local por medio de un comité de seguridad conformados por pobladores y los alcaldes auxiliares, los cuales tienen la obligación de establecer un control y vigilancia en las comunidades, los principales problemas relacionados con estos aspectos son la vagancia juvenil y drogadicción en menor escala, dichas problemáticas ya han sido intervenidas por dicho comité.

G. Cementerios

En los caseríos en estudio solo se cuenta con un cementerio comunitario el cual está ubicado en el caserío Pasac, según la información de actores locales fue el primer cementerio establecido por las primeras comunidades que ocuparon las tierras de la boca costa del municipio de Nahualá.

H. Forma y tenencia de la tierra

En los aspectos de tenencia de la tierra, se puede observar que en los caseríos en estudio el comportamiento de la forma de tenencia de la tierra es por medio de un minifundio local, esto lleva a que los productores tengan acceso a tenencia de la tierra, esto se debe a que estas tierras fueron adquiridas por medio de herencias y en casos de poco suceso existe compra y venta de tierras entre las mismas personas, la cuerda en el área local tiene las siguientes dimensiones: 1 cuerda = 529 m² (23 m x 23 m). En el siguiente cuadro se presenta de forma simplificada el promedio de cuerdas por familia en los caseríos.

Cuadro 10. Tenencia de Tierras por Familias en los caseríos en estudio

Caserío	Promedio de cuerdas/Familia	Tipo de Adquisición
Pasac	20-30	Compra venta Y Herencia
Pacanal IA	10	Herencia
Pacanal II	15	Herencia
Pochol	10	Herencia

1.5.3 Aspectos biofísicos

1.5.3.1 Clima

A. Temperatura media

Dentro del área de influencia se puede presentar una temperatura media entre un rango entre 19 °C a 25 °C característico de un bosque muy húmedo subtropical, lo que hace que exista abundante biodiversidad en la zona, por lo que es un área que tiene una cierta variación en dependiendo de sus piso altitudinales en los que encontramos en la parte más alta del área de estudio temperaturas mínimas hasta los 12 °C lo que crea una diversidad de ecosistemas en distancias cortas, por esto esta área es de suma importancia el control en el cambio del uso de la tierra ya que estos ecosistemas son muy susceptibles a cambios drásticos.

B. Precipitación

Según los valores estimados de precipitación propuestos por la clasificación climática del sistema Holdridge. Indica que en el área se presenta una precipitación máxima de

3,900 mm / año y en la parte más baja una máxima de 2,066 mm / año, lo que hace que esta sea un área muy húmeda en el país, lo que la convierte en un área con alta recarga hídrica, se estimó el valor de precipitación debido a que en el área se carece de información de estaciones meteorológicas de la red nacional o privada por lo que se limita a obtener valores exactos del comportamiento de la precipitación.

1.5.3.2 Zonas de vida

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge para Guatemala, se logró la identificación de tres tipos de zonas de vida en la zona de influencia de los caseríos en estudios, entre las que se pueden mencionar son: bosque muy húmedo montano bajo subtropical Bmh-MB, bosque húmedo montano bajo subtropical Bh-MB, estas zonas presentan ciertas diferencias entre las que podemos mencionar: para el Bmh-MB presenta un precipitación promedio de 2892 mm / año, en este ecosistema presenta una alta biodiversidad la cual tiene como especies indicadoras el Ciprés común, Pino blanco, Roble y Encino, Las dos zonas de vida presentan un relieve accidentado por lo que su comportamiento altitudinal e muy variado en distancias muy cortas. Por ultimo presenta el bosque muy húmedo subtropical cálido Bmh-S(c) este presenta diferencias ya que esta zona es pura de un bosque latifoliado debido a que sus especies indicadoras son las especies de nombre común Corozo, Volador, Conacaste y entre otras. Debido a su comportamiento altitudinal y su temperatura que tiene un promedio de 21 °C hace que este ecosistema presenta gran diversidad florística. (Figura 8)

1.5.3.3 Recurso hídrico

En cuanto a recurso hídrico la zona de evaluada está ubicada en la parte alta de la Subcuenca del Río Ixtacapa, la parte alta de dicha subcuenca es de suma importancia

para los centros poblados debido a que por su material de origen volcánico tiene una importancia en la proporción de agua, dicho recurso es utilizado por los caseríos en estudio como fuente de agua potable. El potencial hídrico de esta zona se debe a que está clasificada como zona de recarga hídrica, por lo tanto, la degradación de los recursos naturales han provocado efectos debido a que 32 km² del área total es zona de recarga hídrica sin cobertura forestal y 14 km² están clasificados en un zona de recarga hídrico con cobertura forestal. Por lo que se evidencia un cambio en la disposición del recurso hídrico en la época de estiaje.

1.5.3.4 Recurso suelo

A. Uso de la tierra

El uso actual de la tierra se caracteriza en tres principales usos (figura 9), entre los cuales el que representa el mayor área de uso es de cultivos agrícolas entre los principales identificados son los cultivos de hoja de maxan, banano y café, estos sistemas productivos abarcan un área aproximadamente de 17 km² estos cultivos.

El segundo uso identificado es bosque mixto latifoliado, esta es un área con gran diversidad biológica, esto se debe al bosque natural con bajos índices de perturbación pero su principal amenaza es el avance de la frontera agrícola. Este uso ocupa un área de 6 km² del área total de influencia de los caseríos diagnosticados. El siguiente uso se clasifica como otro uso está ubicado en la parte alta del volcán Santo Tomas Pécul, es una área desprovista de vegetación por el uso turístico del área, este uso ocupa la menor área de 2.4 km².

B. Capacidad de uso de la tierra

La capacidad de uso de la tierra fue determinada en base al sistema de clasificación de capacidad de uso de la tierra del – USDA -, en la que se encontraron las siguientes clases. (Figura 13)

a. Clase IV:

Son tierras cultivables con severas limitaciones permanentes, con relieve ondulado o inclinado, aptas para pastos y cultivos perennes, requieren prácticas intensivas de manejo. Productividad de mediana a baja. Esta ocupa alrededor de 4.8 km².

b. Clase VII:

Son tierras que presenta poca resistencia a factores erosivos, con pendientes mayores 32 % con un relieve quebrado con pendientes muy inclinadas, por lo que se clasifican como tierras no cultivables, aptas solamente para fines de producción forestal. Ocupa la mayor área alrededor de 11.5 km².

c. Clase VIII:

Tierras no aptas para el cultivo, aptas solo para parques nacionales, recreación y vida silvestre y para protección de cuencas hidrográficas a través de reforestaciones y

también áreas para recarga hídrica, presentan un relieve ondulado y quebrado fuerte, con áreas escarpadas, son tierras con riesgo a erosión severa. Ocupan un área de 9.4 km².

C. Intensidad de uso

La clasificación para la intensidad del uso de la tierra en el área de influencia (figura 10), se determina que el 75 % de las tierras presentan un sobre uso, indicando así que las mismas presentan condiciones de degradación por la utilización de sistemas agrícolas en áreas que no es recomendada para el uso actual ocupando alrededor de 17 km², mientras que el 25 % restante tiene la clasificación de uso correcto en donde se puede apreciar una cobertura de masas forestales en zonas donde se pueden apreciar áreas de bosque natural en la parte alta y en la parte baja también encontramos uso correcto debido a la aplicación de sistemas productivos en tierras con esta vocación.

D. Taxonomía de suelos

Según la taxonomía de suelos para el área, se encuentran la siguiente clasificación taxonómica. (Figura 11)

a. Código Dd

Son suelos que presentan un suborden Udands, los cuales presentan las siguientes características. Son suelos de orden Andisol los cuales en su interior no están secos

por más de 90 días en el años, lo que indica que son suelos que la mayor parte del año se encuentran húmedos. Son suelos con alto potencial para la agricultura que para su manejo son suelos que presentan un alto riesgo a la erosión hídrica se carecen de cobertura vegetal.

b. Código Dd – Eo

Son suelos que presentan las mismas características del suborden Udands y del orden Andisol, solo que su variación en su clasificación Eo indica que presentan un segundo suborden Orthents del Orden Entisol, los cuales son suelos profundos que generalmente están ubicados en zonas de altas pendientes los cuales se han originado a partir de deposiciones o coluviamientos gruesos y recientes. Estos suelos no son apropiados para actividades agrícolas más en zonas con altas pendientes, presentan alta pedregosidad interna y afloramientos rocosos. Su principal vocación es para producción forestal o sistemas agroforestales.

c. Código Dd – Ud

Según su variación de clasificación Ud, son suelos que pertenecen al orden taxonómico Ultisol, son suelos que su régimen de humedad permanece seco entre 90 y 180 días al año, los cuales presentan un déficit de humedad fuerte. Para su manejo es recomendable la aplicación de técnicas de fertilidad natural y con técnicas de conservación de suelos para el control y manejo de la erosión.

E. Series de suelos

Según la clasificación de las series de suelos propuesta por Simmons para Guatemala en el área podemos encontrar las siguientes:

a. Serie Totonicapán (Tp)

Material original cenizas volcánicas, encontrado arriba de los 2,400 m s n m, relieve suave, buen drenaje, color negro o café muy oscuro, textura moderadamente fina, profundidad efectiva promedio 90 cm, pH ácido (5.95) , riesgo de erosión alto, potencial de fertilidad regular. Área ocupada 5 km².

b. Serie Camanchá Erosionada (Cme)

Formado de ceniza volcánica, en altitudes de 2300 m s n m, relieve inclinado, buen drenaje, textura media, alto riesgo de erosión ó severamente erosionados. Esta serie es la que mayor área ocupa siendo esta alrededor de 14.5 km².

c. Serie Suchitepéquez (Sx)

Material original de cenizas volcánicas, encontrada entre 400 m s n m a 1,200 m s n m, relieve suave, buen drenaje, color café oscuro, textura media, profundidad efectiva entre 150 cm y 200 cm, pH ácido (6.00), presenta un riesgo de erosión regular a alto, pedregoso ocasionalmente, potencial de fertilidad regular o bajo (baja saturación de bases).

d. Serie Samayac (Sm)

Formado a base de flujo lodoso volcánico, relieve inclinado, buen drenaje, color café muy oscuro, textura media, profundidad efectiva promedio de 50 cm pH ácido (6.00), riesgo de erosión alto, pedregoso, regular potencialidad de fertilidad. Esta serie es la que menor está presente ocupando un área de 1.8 km².

1.5.3.5 Recurso Bosque

A. Tipo de Cobertura

Cuadro 11. Tipos de Cobertura presentes en el área ocupada por las comunidades en estudio.

No	Tipo de Cobertura	Área (km ²)
1	Bosque	15
2	Cultivo de Café	25.6
3	Cultivos permanentes herbáceos	3.5
4	Vegetación arbustiva baja	1.8
5	Centros Urbanos	0.35

En el área de influencia de los caseríos en estudio se determinaron cinco principales tipos de cobertura entre los cuales, el cultivo de café presenta el principal uso de la tierras locales ocupando un área de 25.6 km², esta plantaciones de café la mayor parte de ellas esta como sistemas agroforestales con asocio a especies forestales o cultivo de banano, el área ocupada a cultivos permanentes herbáceos hace referencia a las áreas de producción del cultivo de hoja de maxan y el área de cobertura boscosa o bosque es el segundo mayor uso, ocupando así alrededor de 15 km² de bosques

latifoliados y mixtos, siendo estos ecosistemas los principales productores de madera o leña para el uso local. (Figura 12)

1.5.3.6 Biodiversidad

Se logró por medio de fuentes primarias locales la identificación de las principales especies forestales presentes en el bosque natural del volcán Santo Tomás Pécul y también las principales especies fauna local.

A. Flora

Cuadro 12. Listado de las principales especies arbóreas identificadas por percepción comunitaria.

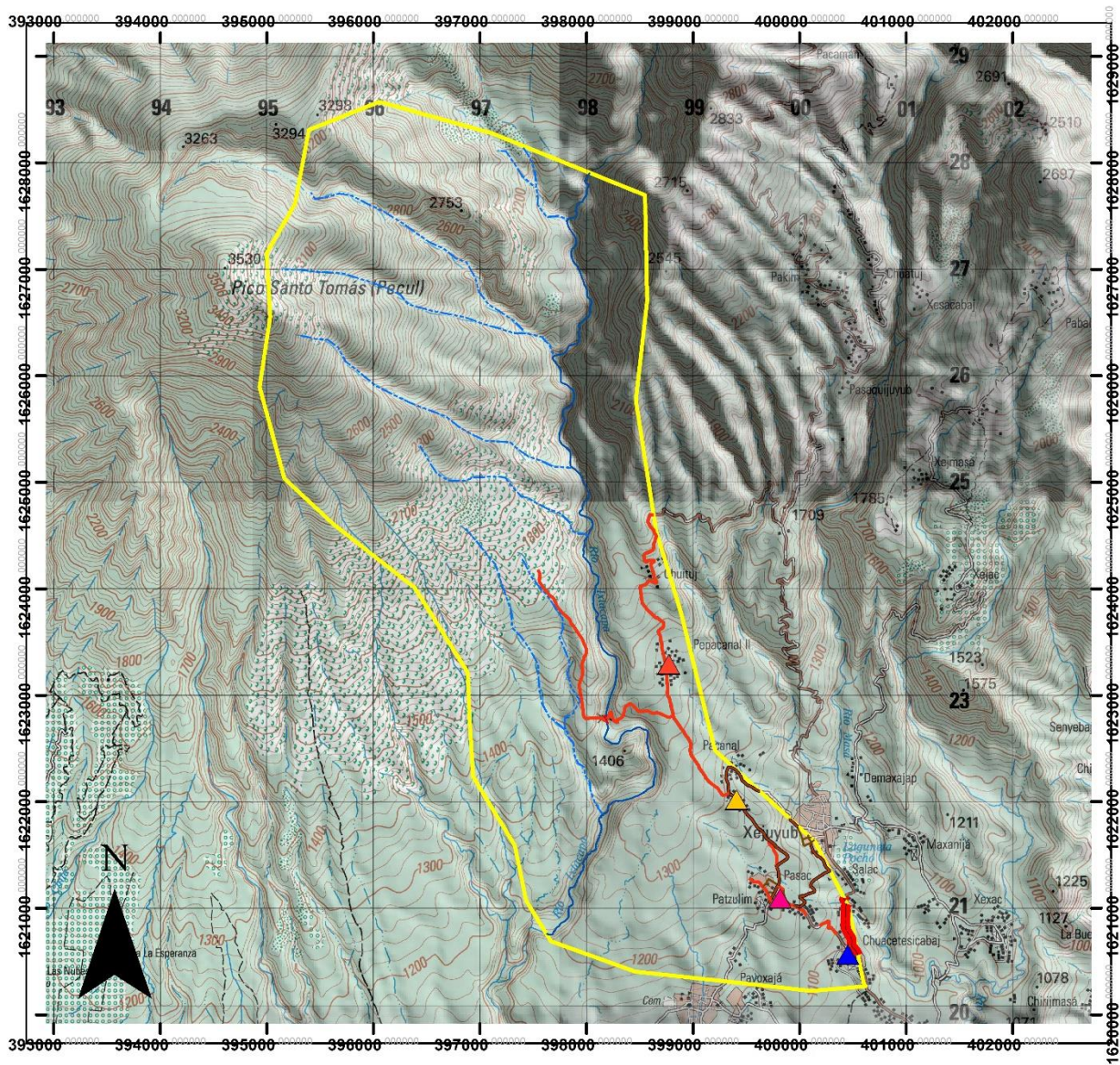
No	Nombre Común	Nombre Científico
1	Chalum Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
2	Cafeton	X
3	Caspirol	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.
4	Palo Negro	<i>Vatairea lundellii</i> (Standley) Killip
5	Palo Blanco	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>
6	Canoj Blanco	<i>Ocotea spp</i>
7	Canoj Negro	<i>Ocotea spp</i>
8	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> . L
9	Capulín	<i>Prunus salicifolia</i> . K
10	Ciprés	<i>Cupressus lusitánica</i> Mill
11	Ramón Blanco	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw
12	Volador	<i>Terminalia Oblonga</i> Steud
13	Chonte	<i>Zanthoxylum spp</i>
14	Pino candelillo	<i>Pinus maximinoi</i> H.E Moore
15	Pinabete	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder

B. Fauna

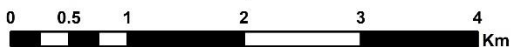
Cuadro 13. Listado de fauna silvestre según percepción comunitaria.

No.	Nombre Común	Nombre Científico
1	Venado	<i>Odocoileus virginianus</i>
2	Ardilla	<i>Sciurus vulgaris</i>
3	Pizote	<i>Nasua Narica</i>
4	Mono	<i>Ateles geoffroyi</i>
5	Mapache	<i>Procyon lotor</i>
6	Pajuil	<i>Penelopina nigra</i>
7	Ixcayaj	X
8	Ixcaman	X
9	Chacha	<i>Ortalis vetula</i>
10	Uraca	<i>Pica pica</i>
11	Quetzal	<i>Pharomachrus mocinno</i>
12	Gato monte	<i>Urocyon cinereorgenteus</i>
13	Coyote	<i>Canis latrans</i>
14	Coche monte	<i>Tayassu tajacu</i>
15	Micoleón	<i>Potos flavus</i>
16	Oso Hormiguero	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>
17	Jaguar	<i>Pantera onca</i>
18	Tigrillo	<i>Leopardus Pardilis</i>
19	Saraguate	<i>Alouatta palliata</i>
20	Puma	<i>Puma conclor</i>
21	Tepezcuintle	<i>Cuniculus paca</i>
22	Armadillo	<i>Dasypodidae</i>
23	Faisanes	<i>Crax rubra</i>

La zona del bosque natural en el área de influencia presenta una gran biodiversidad por lo que la mayor parte de especies de flora y fauna silvestre se encuentran en listados de especies amenazadas, por lo que muchas de ellas están con un alto riesgo de extinción.

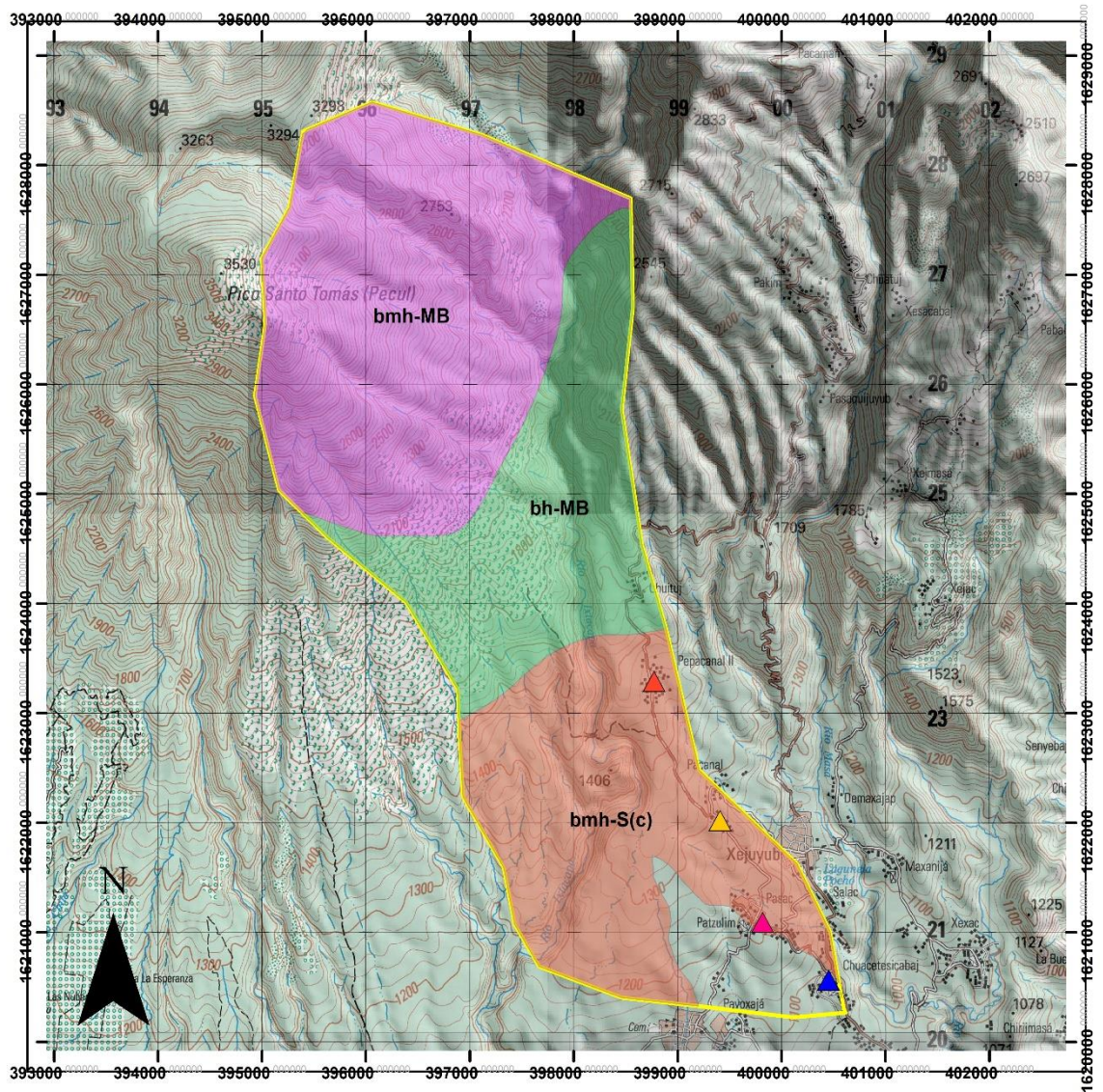


Datum:
 WGS 1984
 Sistema de Coordenadas:
 GTM
 Fuente Capas:
 IGN, 2006
 Índice Hojas Cartográficas: ING, 2006
 Elaborado por:
 Carlos Ernesto Donis Meza
 Escala Numérica 1:52,294



Leyenda		
Comunidades	Red Vial	Red Hídrica
Caseríos	Tipo de camino	Tipo de Corriente
▲ Pacanal IA	— Vereda	— Red intermitente
▲ Pacanal II	— Terraceria	— Red intermitente
▲ Pasac	— Adoquinado	— Río Ixtacapa
▲ Pochol	— Pavimentado	
■ Área de estudio		

Figura 7. Mapa de ubicación de las comunidades en estudio, Nahualá, Sololá.



Datum:
 WGS 1984
 Sistema de Coordenadas:
 GTM
 Fuente Capas:
 IGN, 2006
 Índice Hojas Cartográficas: ING, 2006
 Elaborado por:
 Carlos Ernesto Donis Meza
 Escala Numérica 1:52,294



Leyenda	
Comunidades	Zonas de Vida
Caseríos	Clasificación
▲ Pacanal IA	bh-MB
▲ Pacanal II	bmh-MB
▲ Pasac	bmh-S(c)
▲ Pochol	
□ Área de estudio	

Figura 8. Mapa de zonas de vida para el área de estudio.

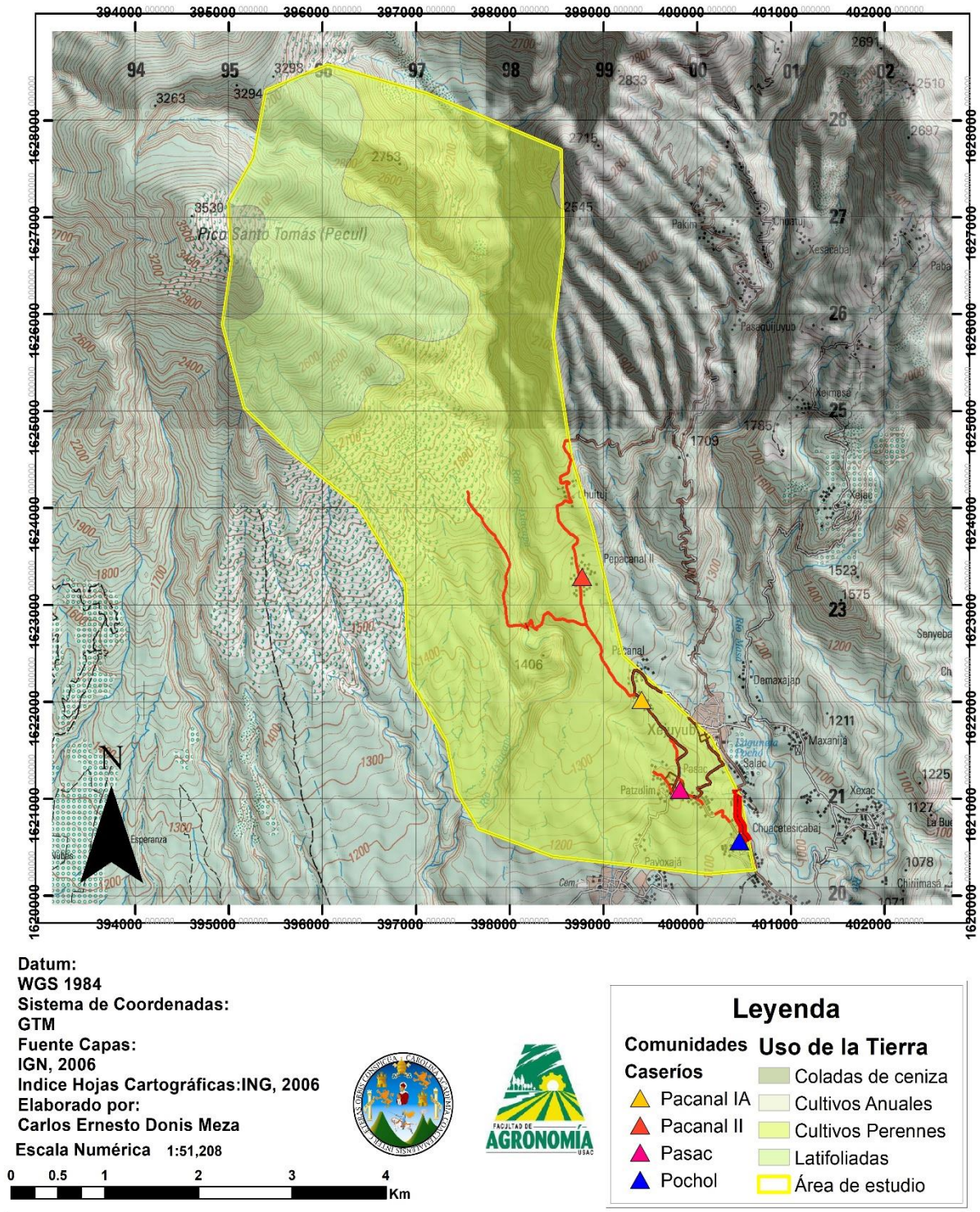
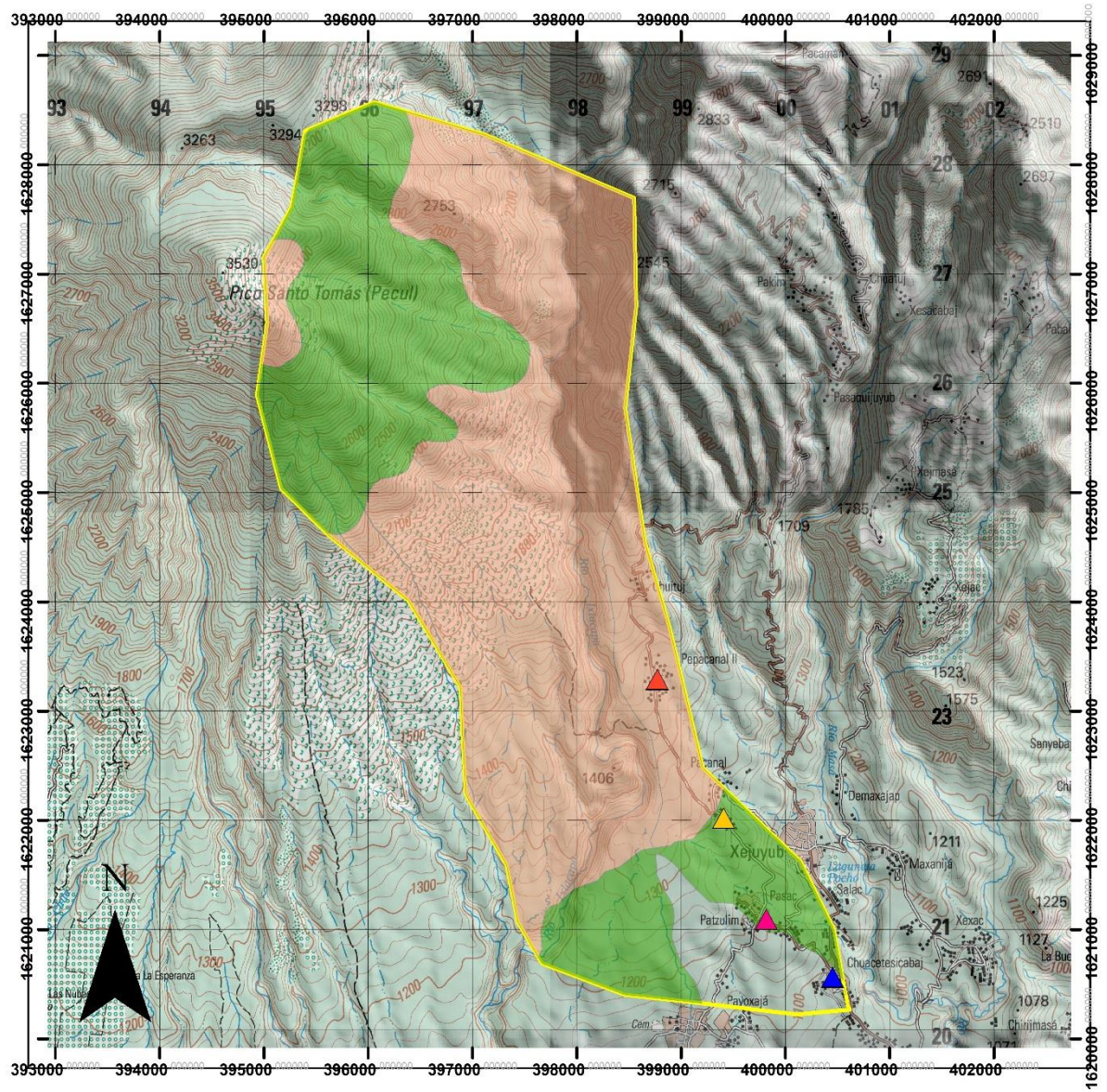


Figura 9. Mapa del uso de la tierra para el área de estudio.

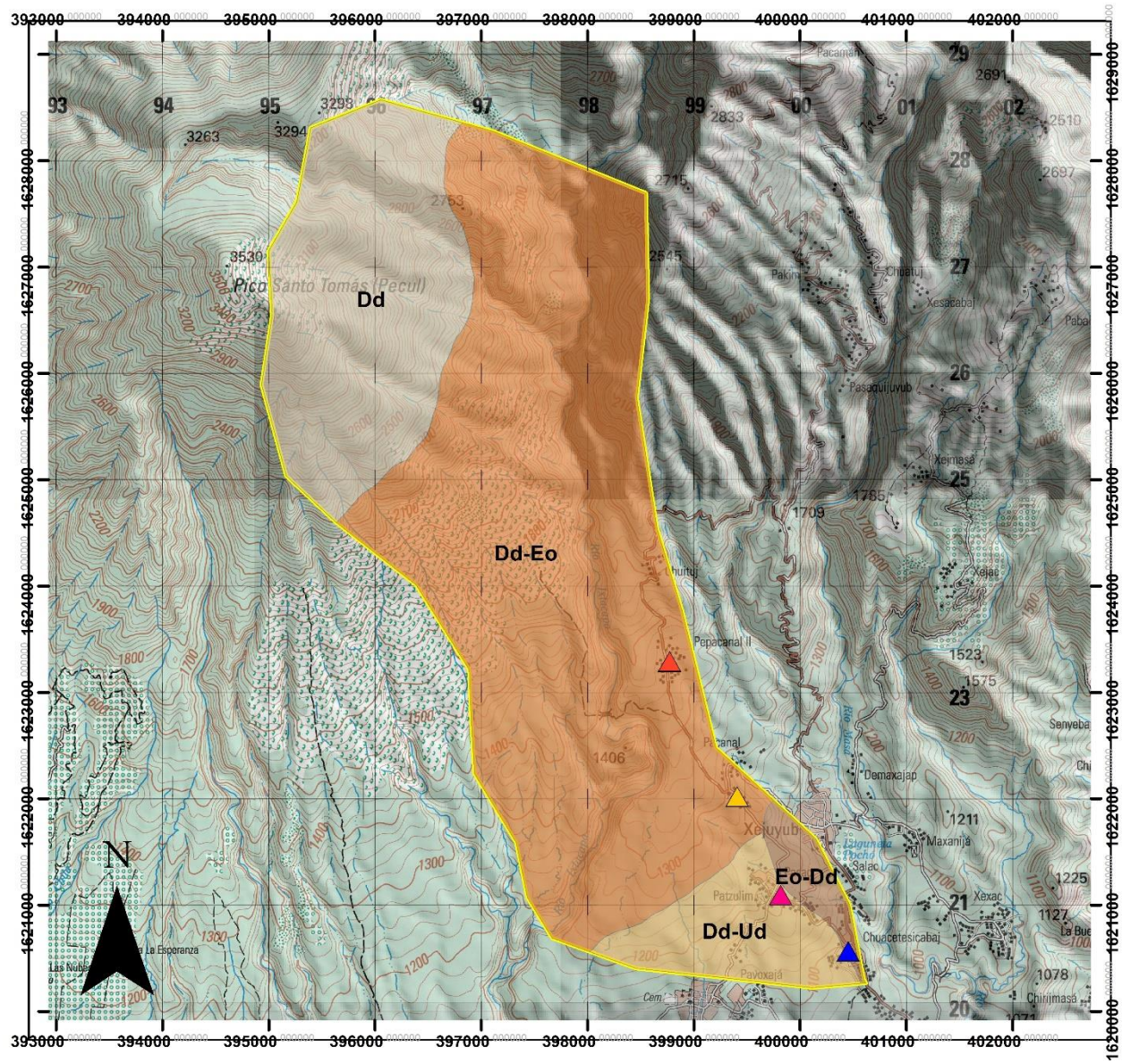


Datum:
 WGS 1984
 Sistema de Coordenadas:
 GTM
 Fuente Capas:
 IGN, 2006
 Índice Hojas Cartográficas: ING, 2006
 Elaborado por:
 Carlos Ernesto Donis Meza
 Escala Numérica 1:52,294



Leyenda	
Comunidades	Intensidad Uso del Suelo
Caseríos	Categoría
▲ Pacanal IA	Sub utilizado
▲ Pacanal II	Sub utilizado
▲ Pasac	Sub utilizado
▲ Pochol	Sub utilizado
■ Área de estudio	Uso Correcto

Figura 10. Mapa de intensidad de uso para el área de estudio.



Datum:
 WGS 1984
 Sistema de Coordenadas:
 GTM
 Fuente Capas:
 IGN, 2006
 Índice Hojas Cartográficas: ING, 2006
 Elaborado por:
 Carlos Ernesto Donis Meza
 Escala Numérica 1:52,294



Leyenda		
Comunidades	▲ Pochol	Dd-Eo
Caseríos	▲ Pacanal IA	Dd-Ud
	▲ Pacanal II	Eo-Dd
	▲ Pasac	Dd
	▲ Área de estudio	
		Taxonomía de Suelos
		Unidad Taxonómica

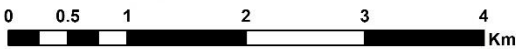
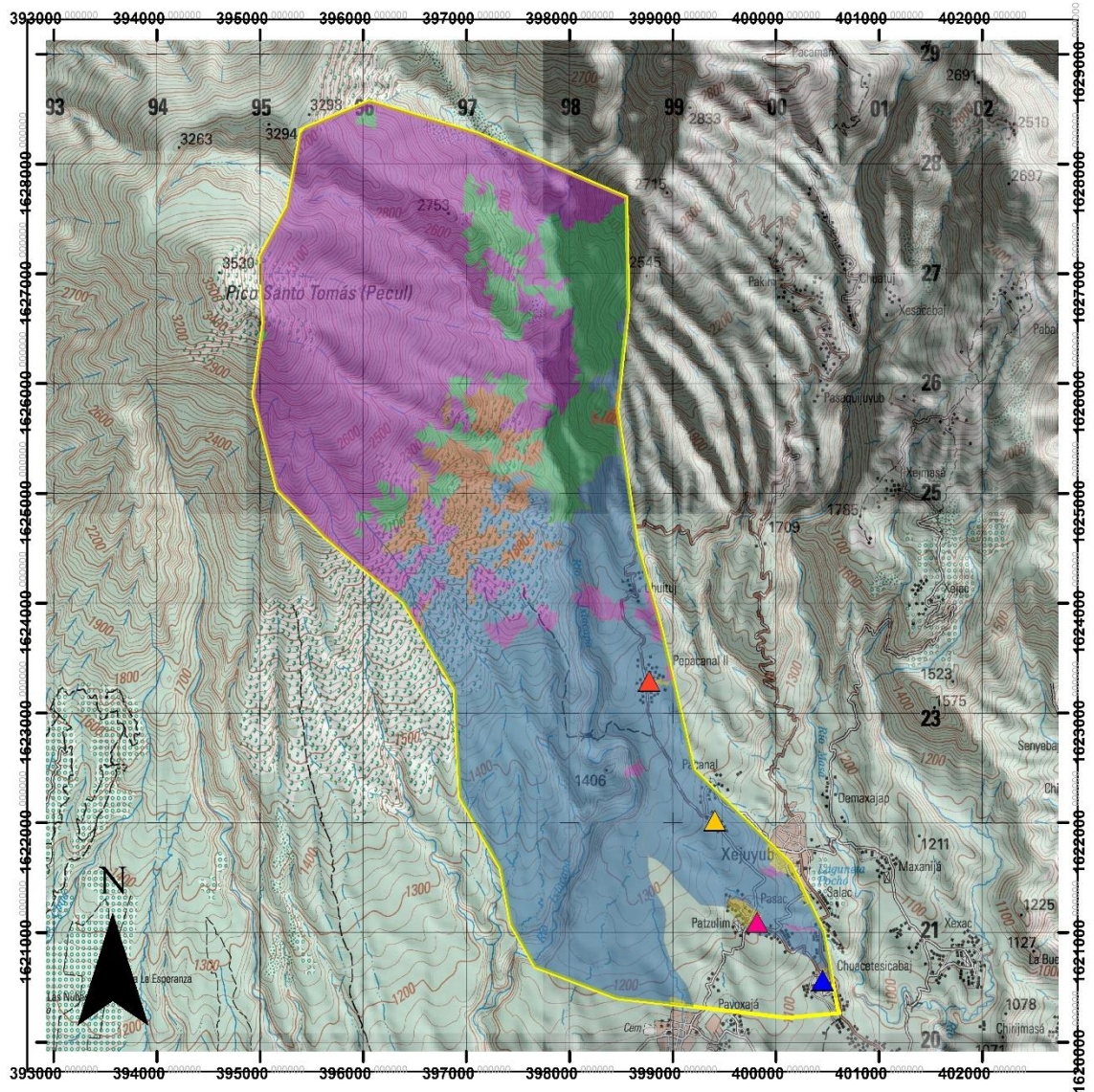


Figura 11. Mapa de taxonomía de suelos para el área de estudio.

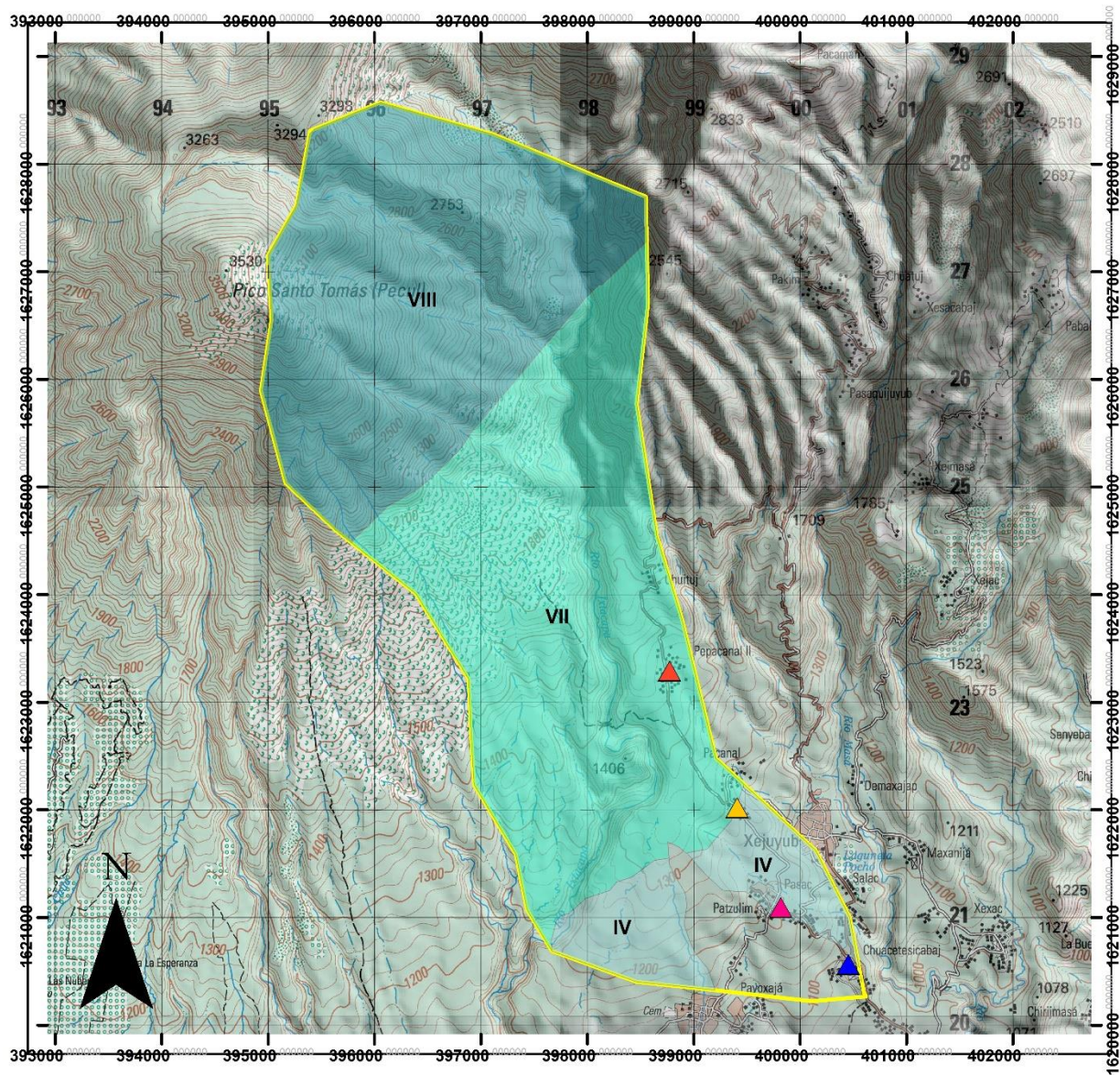


Datum:
WGS 1984
Sistema de Coordenadas:
GTM
Fuente Capas:
IGN, 2006
Indice Hojas Cartográficas: ING, 2006
Elaborado por:
Carlos Ernesto Donis Meza
Escala Numérica 1:52,294

0 0.5 1 2 3 4 Km

Comunidades		Cobertura del Suelo	
Caseríos		Tipo de Cobertura	
	Pacanal IA		Bosques
	Pacanal II		Cafe
	Pasac		Cultivos permanentes herbaceos
	Pochol		Centros Urbanizados
	Área de estudio		Vegetacion Arbustiva Baja

Figura 12. Mapa de los tipos de cobertura del suelo para el área de estudio.



Datum:
 WGS 1984
 Sistema de Coordenadas:
 GTM
 Fuente Capas:
 IGN, 2006
 Índice Hojas Cartográficas: ING, 2006
 Elaborado por:
 Carlos Ernesto Donis Meza
 Escala Numérica 1:52,294



Leyenda	
Comunidades Caseríos	Capacidad de Uso Categoría
▲ Pacanal IA	IV
▲ Pacanal II	VII
▲ Pasac	VIII
▲ Pochol	
▭ Área de estudio	

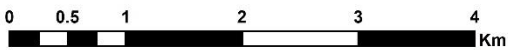


Figura 13. Mapa de capacidad de uso de la tierra para el área de estudio.

1.5.4 Problemas ambientales

1.5.4.1 Contaminación de agua

Es evidente que existe un alto grado de contaminación del recurso hídrico esto se debe a que los caseríos de Pacanal II y Pacanal IA carecen de un sistema de alcantarillado para drenajes, las aguas servidas por el uso doméstico son depositadas por un sistema cunetas en las calles de los caseríos, lo que provoca que sean depositadas a cauces naturales provocando una fuerte alteración a los mismos, limitando la utilización de este recurso para distintos usos.

1.5.4.2 Desechos solidos

La contaminación por desechos sólidos en el área es algo cultural, esto se debe a que carecen de algún tipo de sistema de tren de aseo o algún tipo de vertedero comunitario, el principal problema es el aspecto cultural sobre el manejo local que le dan a los desechos sólidos, el cual consiste en la quema de los desechos inorgánicos lo cual produce una fuerte contaminación por emisión de gases nocivos o de efecto invernadero. Mientras los desechos orgánicos son utilizados como abono para las parcelas de los pobladores.

Cuadro 14. Estimación de emisión de desechos sólidos por familia

No de personas por familia	Producción de Basura m ³	Emisión de basura Mensual	Emisión de Basura Anual
5 integrantes / familia	1 m ³ / 4 días	8 m ³	96 m ³

Otro problema de suma importancia es la presencia de basureros clandestinos los cuales en toda la zona de influencia se identificaron seis basureros clandestinos, la distribución de los mismos cuatro de los basureros se encuentran en el caserío de Pasac y dos en el caserío de Pacanal II, los cuales representan una amenaza a que este tipo de lugares sean multiplicados en más zonas del área de influencia promoviendo una problemática local con los desechos sólidos, esto se debe a que va en aumento la emisión de basura ya que se estimó que por una familia de 5 integrantes se producen alrededor de 96 m³ de basura, para los cuales no existe ningún tipo de manejo por parte de las instituciones comunitarias y del estado.

1.5.4.3 Deforestación

La deforestación es un problema a nivel local, debido al cambio en el uso de la tierra por medio del avance del área para la implementación de sistemas de producción agrícola, provocando un avance de la frontera agrícola en zonas de vocación forestal, sumando a esto la falta de control por parte de algún ente local o institucional.

El recurso forestal tiene una alta presión debido a la demanda por la población, esto se debe a que se identificó que el 95 % de la población utiliza en sus actividades domésticas el uso de leña como la principal fuente energética y a falta de algún control y racionalización del recurso forestal, el cual está provocando un fuerte cambio en el uso de la tierra por la sustitución de bosque por sistemas de producción agrícola y un deterioro de los ecosistemas forestales locales.

1.5.5 Riesgos

1.5.5.1 Riesgo a deslizamientos

Las comunidades en estudio no presentan un riesgo a deslizamientos de tierras, exceptuando al caserío de Pacanal II, debido al relieve en el cual está ubicada la comunidad, el riesgo que presenta en mínimo pero no se descarta la aparición de este suceso ante fenómenos o eventos extremos naturales.

1.5.6 Problemática Ambiental Local

La problemática ambiental que se identificó en los caseríos de Pasac, Pochol, Pacanal I y Pacanal II, se expone en los siguientes esquemas de análisis.

1.5.6.1 Matriz De Causas Y Efectos

La matriz de causas y efectos es de suma importancia, ya que esta herramienta se utiliza para identificar los problemas ambientales parciales, las principales causas que los provocan y los efectos derivados de los mismo. Por medio de esta matriz se determina los principales aspectos ambientales, sociales y económicos afectados por la presencia de la problemática local.

El cuadro 15 se enlista las principales causas y efectos de los problemas ambientales identificados.

Cuadro 15. Principales causas y efectos de los problemas ambientales identificados en el área de estudio

Problemas identificados	Principales Causas	Principales Efectos
Contaminación del Recurso Hídrico	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de control de los desechos sólidos. • Falta de sistema de agua residuales. • Uso irracional del recurso hídrico para fusos domésticos. • Falta de control en el uso de productos químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en el acceso para uso del recurso. • Mala calidad del agua • Escases del recurso hídrico • Incremento de enfermedades gastrointestinales. • Incremento de la explotación y apropiaciones de fuentes naturales
Disminución de la Cobertura Forestal	<ul style="list-style-type: none"> • Avance de la frontera agrícola. • Uso de la madera como fuente energético (leña). • Demanda por especies forestales de alto valor económico. • Ausencia de un plan de aprovechamiento forestal sostenible. • Incendios forestales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deforestación • Aumento de zonas con riesgo a deslizamientos • Pérdida de la biodiversidad • Disminución de la capacidad de recarga hídrica de los suelos • Destrucción de ecosistemas naturales • Áreas expuestas ante factores que propician la erosión de suelos
Contaminación por Desechos Sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de sistema de recolección de basura. • Manejo inadecuado de los desechos sólidos. • Inexistencia de vertedero comunitario. • Deficiente participación institucional. • Desinterés por la educación ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de basureros clandestinos • Mayor presencia de desechos sólidos en cauces de ríos. • Aumento en la proliferación de enfermedades. • Emisión de gases de efecto invernadero por quema de desechos inorgánicos. • Alteración de ecosistemas naturales locales.
Pérdida de la Biodiversidad Local	<ul style="list-style-type: none"> • Caza ilegal de especies silvestres • Extracción ilegal de la flora local. • Ausencia de autoridades para el control y conservación de especies. • Limitado aporte financiero institucional por la conservación de especies. • Destrucción de los ecosistemas • Cambio en el uso de la tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extinción de especies de flora y fauna silvestre. • Aumento de especies amenazadas. • Disminución de áreas de transición o de migración de fauna (aves). • Desequilibrio ecológico en ecosistemas locales.

...continua cuadro 15

Problemas identificados	Principales Causas	Principales Efectos
Degradación de los Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la cobertura vegetal. • Suelos susceptibles a la erosión • Ausencia de estructuras para la conservación de suelos. • Sistemas de producción agrícola intensivos. • Utilización de cultivos limpios. • Uso inadecuado de fertilizantes químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la fertilidad de los suelos. • Pérdida de las propiedades físicas y químicas de los suelos • Disminución de los rendimientos productivos • Suelos con alto grado de erosión
Ausencia de Estaciones Meteorológicas Locales	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo aporte institucional para la introducción de estaciones meteorológicas. • Deficiente cobertura de sistema nacional de estaciones meteorológicas. • Alto costo económico para la implementación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de monitoreo y control climático en la región. • Interpretación errónea de los datos climáticos. • Falta de conocimiento para la planificación en áreas con necesidad de riego.
Emigración de la población	<ul style="list-style-type: none"> • Desempleo local. • Altos índices de pobreza. • Falta de oportunidad a empleos locales o regionales. • Baja calidad de vida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abandono de tierras. • Desintegración familiar • Daño psicológico en niños por la ausencia de padres.
Déficit económico familiar	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo nivel de ingresos económicos • Bajo grado de escolaridad. • Deficiente apoyo institucional para el desarrollo económico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la pobreza. • Aumento de la ausencia de niños a las escuelas • Incremento de índices de analfabetismo • Reducida capacidad para adquirir empleos
Ausencia de Proyectos de Desarrollo Agrícola Local	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiencia en cobertura de instituciones como el MAGA para proyectos con enfoque de desarrollo. • Desinterés institucional en la formulación de proyectos. • Mala planificación y ejecución de proyectos de desarrollo. • Poca aceptación de proyectos por beneficiarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo desarrollo agrícola local. • Bajo aprovechamiento del potencial de los recursos naturales locales. • Bajos índices de calidad de vida • Mal aprovechamiento de recursos externos. • Aumento de la conflictividad comunitaria.

...continua cuadro 15

Problemas identificados	Principales Causas	Principales Efectos
Cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> • Problemática global en la emisión de gases de efecto invernadero. • Ausencia de proyectos locales para la mitigación de los efectos de cambio climático. • Baja resiliencia de las comunidades en estudio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de cultivos por sequías prolongadas. • Aumento de susceptibilidad de cultivos a plagas y enfermedades. • Incremento de áreas propensas a incendios forestales. • Daño a cultivos por incremento de precipitaciones • Aumento del riesgo a deslizamientos de tierras.

El cuadro 15 se expone los principales problemas ambientales, percibidos por los pobladores de las comunidades y vistos en la realización de las actividades de EPS, en donde, se categorizan como problemas parciales, en el cual se exponen las principales causas que provocan la problemática, las principales causas se ven relacionadas con acciones antropogénicas que crean directamente una perturbación de los recursos naturales locales, lo que conlleva a la aparición de efectos negativos que interfieren directamente en el desarrollo socioeconómico local y también en el deterioro de los recursos naturales. Tales deterioros han provocado que no exista una resiliencia de parte de las comunidades ante los riesgos potenciales por el mismo deterioro de los recursos naturales.

1.5.6.2 Problemas ambientales identificados por caseríos

En el cuadro 16 se enlista los principales problemas con aspectos sociales, económicos y ambientales. Los principales problemas fueron identificados por medio de las reuniones y los sondeos participativos a los actores locales.

Cuadro 16. Problemas ambientales identificados por actores locales.

Caserío	Problema identificado	Aspecto Ambiental	Aspecto Económico	Aspecto Social
Pasac	Escases del recurso hídrico	X		
	Contaminación por desechos solidos	X		
	Caza ilegal de vida silvestre	X	X	
	Deforestación	X		
Pochol	Contaminación del recurso hídrico	X		
	No aplican prácticas de conservación de suelos.	X		
	Contaminación por desechos solidos	X		
	Desempleo		X	
	Plagas y enfermedades en cultivos agrícolas	X		
	Daño de cultivos por sequias	X		
Pacanal I	Contaminación por desechos solidos	X		
	Deforestación	X		
	Mal manejo de animales domésticos			X
Pacanal II	Carencia de sistema de drenajes	X		
	Vulnerabilidad a enfermedades el cultivo de maxan	X		
	Contaminación por desechos solidos	X		
	Deforestación	X		

En el cuadro 16 se enlista los principales problemas identificados fueron priorizados por los actores locales comunitarios (COCODES y grupos locales), alrededor del 90 % de los problemas fueron categorizados directamente al aspecto ambiental, los cuales son provocados directamente por acciones antropogénicas en carecidas de algún tipo de control y capacitación para el uso adecuado de los recursos naturales locales.

1.5.7 Análisis diagnóstico de las comunidades en estudio

Los caseríos de Pasac, Pacanal II, Pacanal IA y Pochol, poseen un área de influencia muy diversa en base a aspectos biofísicos, biológicos y culturales, los cuales por la falta de acción por parte de una organización que regule el control y monitoreo de los recursos naturales.

Esta zona está clasificada según sus condiciones climáticas y edafológicas como una zona de alta importancia debido a los grandes servicios ambientales que ofrecen, son zonas con suelos de profundidades variables, con una clase textural franca arcillosa y con regímenes de humedad que indican que la mayor parte del tiempo presenta la humedad indicada para el desarrollo de actividades agrícolas. Estas zonas son con un alto potencial en recarga hídrica por lo que la disposición del recurso destinados para los diferentes usos (agua potables y riego), por lo que estas áreas son altamente productivas en disposición de sistemas de captación de agua potable para centros poblados de los municipios de Mazatenango, San Bernardino, San Pablo Jocopilas, Samayac y San Antonio del departamento de Suchitepéquez.

Los bosques naturales presentes en el volcán Santo Tomás Pecul, presentan una gran diversidad biológica de flora y fauna silvestre, muchas de las cuales ya están en listados de especies amenazadas del CITES, por lo que estos bosques son un refugio natural de estas especies, el cual carece de algún tipo de plan de acciones que controlen y conserven el mismo, por lo que el deterioro de este provocado por el avance de la frontera agrícola, la demanda de leña y los incendios forestales, lo ha llevado al punto de verse limitado y cada vez con mayor reducción de su cobertura, lo que presenta como un eje principal de acción la conservación del mismo.

Los recursos hídricos, suelos y bosques se ven altamente deteriorados por la acción de factores antropogénicos que han creado acciones de deterioro de los mismos. El

recurso hídrico local presenta un alto grado de contaminación debido a la falta de sistema de alcantarillado de aguas servidas las cuales son depositadas directamente a los cauces naturales, como también carecen de algún tipo de regulación en la privatización de nacimientos naturales, los cuales son apropiados por las comunidades las cuales se encargan de la venta o la utilización de los mismos.

El recurso suelo, es uno de los que se ven directamente afectado esto por la demanda en cuanto a su uso en sistemas extensivos de producción agrícola, en los que se pudo identificar que la mayor parte de las tierras están clasificadas en base a su intensidad en suelos sobre utilizados, a los cuales se la ha impuesto un cambio directa de vocación llevando consigo el deterioro de los mismos, esto se debe a que estos suelos presentan un alto riesgo a ser erosionados por las características edafológicas de los mismos estos no presentan algún tipo de resistencia natural ante eventos erosivos.

La situación actual de los recursos naturales del área en estudio tiene mucho que ver en base a su deterioro a los aspectos socioeconómicos locales, se identificó solo para los caseríos seleccionados un total de 3,390 habitantes para el año 2016, esta población se determinó que en aspectos socioeconómicos la mayor parte de la población son agricultores o productores locales, por lo que la demanda y presión de los recursos va ser cada vez mayor, como su única fuente de ingresos económicos y los efectos del cambio climático que ha provocados eventos meteorológicos, tales como periodos prologados de lluvia y sequias, aumento en la temperatura y etc. Llevando así al aumento de la presión de los recursos naturales locales.

Se determinó que la problemática principal es el “Deterioro de los recursos naturales por factores antropogénicos y cambio climático”, este problema es el que más se evidencia en la región. Es de suma importancia debido a que la mayor parte de los recursos naturales locales se encuentran en un alto grado de deterioro. Las principales causas de esta problemática, las cuales se enlistan continuación:

- Contaminación de recurso hídrico
- Deforestación
- Incendios forestales en el volcán Santo Tomás Pecul
- Contaminación por desechos solidos
- Perdida de la biodiversidad
- Degradación de suelos
- Ausencia de estaciones meteorológicas locales
- Cambio climático
- Déficit del recurso hídrico para cultivos
- Déficit económico familiar

Ante las principales causas expuestas, se logra la interpretación que el comportamiento antropogénico, como también una falta de control por entes institucionales encargados de velar por el estado actual o situacional de los recursos naturales, debido a que estos presentan un alto grado de deterioro, esto se considera debido a la demanda de los recursos para satisfacer necesidad económicas y de subsistencia de la población, como también la presión por los recursos por el avance de la frontera agrícola, debido a que la producción agrícola en la fase diagnostica se determinó como la principal actividad económica de la región.

Los principales efectos sobre la región, derivados de la problemática ambiental local son los siguientes:

- Recurso hídrico alterado
- Disminución de la cobertura forestal
- Alteración de los ecosistemas naturales por desechos solidos
- Extinción de especies de flora y fauna silvestre
- Suelos con alto grado de degradación
- Deficiente sistema de control y monitoreo ambiental
- Sistemas productivos con estrés hídrico

- Limitado desarrollo agrícola local
- Migración

Los efectos anteriores son categorizados como los efectos directos que son provocados por el problema ambiental principal, en el esquema arbolado presentado anteriormente se colocan otros efectos derivados de los principales, estos son categorizados como indirectos.

Por medio del esquema presentado en la figura 14, se pueden plantear acciones estratégicas para la intervención o mitigación de la problemática local y de los efectos que estos producen, ya que estos se ven directamente vinculados por el desarrollo sostenible de los recursos naturales y también en el aspecto socioeconómico de las comunidades, por lo que se logró priorizar es de hacerle énfasis a esta problemática debido a que esta vincula a la mayor parte de los recursos naturales, de los que dependen directamente la población.

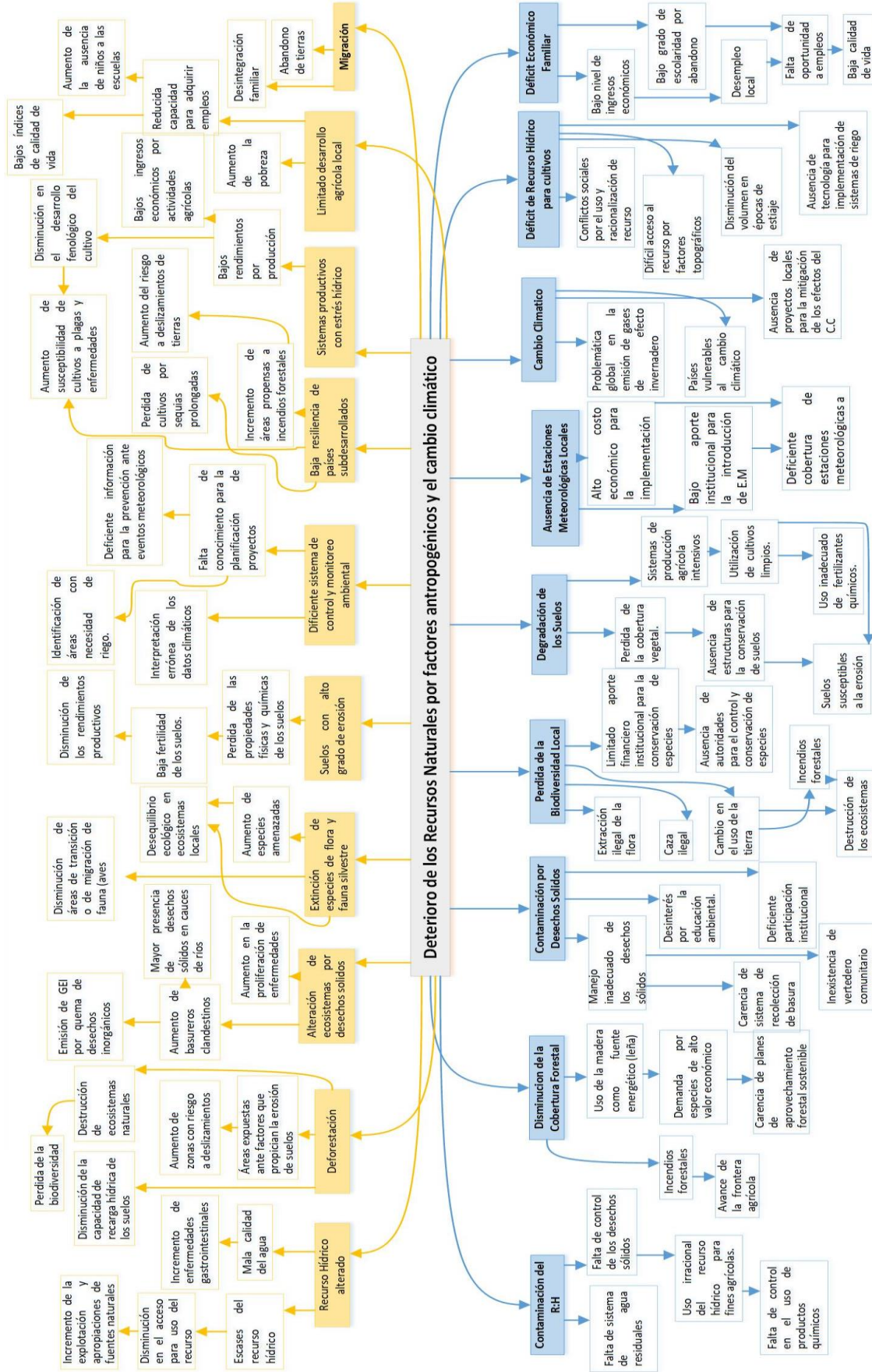


Figura 14. Esquema de las causas y efectos de la problemática ambiental local.

1.6 CONCLUSIONES

1. Los aspectos de los recursos naturales locales en el área de influencia de los caseríos de Pasac, Pacanal II, Pacanal I y Pochol. Los recursos bosque, hídrico y suelos presentan un alto grado de degradación o deterioro, esto debido a la gran demanda por los recursos para satisfacer las necesidades antropogénicas locales, tales como, cambio en el uso de la tierra por el avance de los sistemas de producción agrícola, utilización del bosque como fuente de leña para uso energético y el uso irracional del agua para usos domésticos o de riego.
2. Las principales limitantes locales para el desarrollo socioeconómico se concluye como la falta de proyectos o la falta de interés institucional con el fin de formular e impulsar acciones y estrategias que fortalezcan el crecimiento económico local con el fin de mitigar las acciones sobre los recursos naturales.
3. El análisis comunitario indica de las principales problemáticas ambientales locales presentes en el área de influencia de los recursos, las principales problemáticas identificadas son la deforestación del bosque natural del volcán Santo Tomás Pecul, contaminación de los recursos hídricos, mal manejo de desechos sólidos y el cambio del uso de las tierras por el avance de la frontera agrícola.
4. Se identificaron distintos problemas ambientales fundamentales los cuales crean alteraciones negativas en los aspectos socioeconómicos locales, en donde se determinó que existe un alto deterioro de los recursos naturales, provocando así un impacto directo sobre las actividades económicas de las personas que dependen directamente del aprovechamiento y uso de los recursos naturales.
5. El principal problema ambiental es el deterioro de los recursos naturales locales de los caseríos en estudio, el cual está directamente vinculado al mal aprovechamiento de los recursos naturales por factores antropogénicos, tales

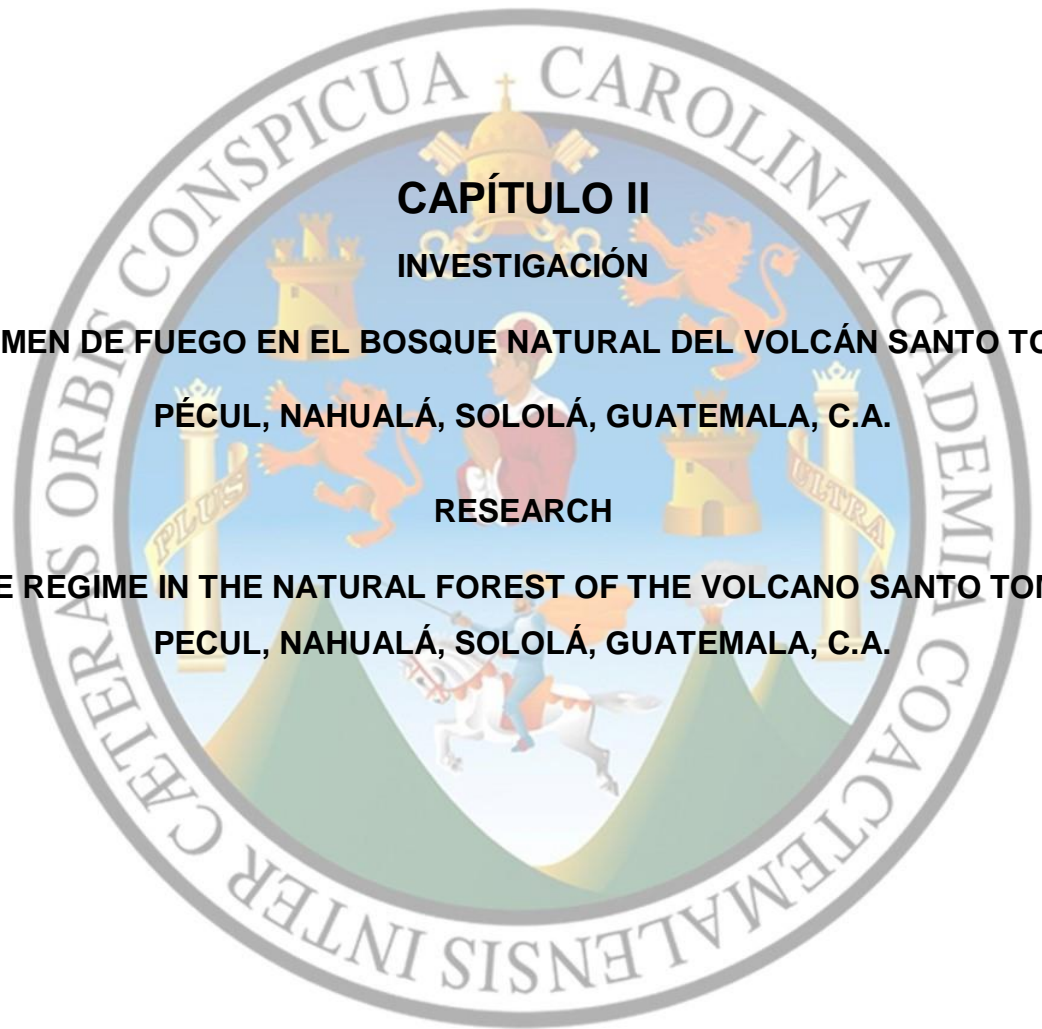
como el avance de la frontera agrícola, el cambio y el uso de la tierra, la explotación de flora y fauna silvestre, y la deforestación por el uso de la madera como fuente energética, como también los efectos del cambio climático entre los que se pueden mencionar canículas prolongadas y eventos de altas precipitaciones prolongados.

1.7 RECOMENDACIONES

1. Según la situación actual de los recursos naturales presentes en las comunidades en estudio, los cuales presentan un alto deterioro provocado por el uso irracional y la ausencia de algún tipo de control y monitoreo de aprovechamiento de los mismos, por lo tanto se recomienda la elaboración de planes de manejo de los recursos hídrico, suelo y bosque, para buscar una mitigación de dicha problemática a partir del cambio de acciones de aprovechamiento que promuevan una sostenibilidad ecológica y también aumentan con ello la resiliencia de las comunidades en estudio ante los efectos del cambio climático.
2. Se recomienda el fomento de las prácticas de conservación de suelo y agua a partir de un programa de capacitaciones ya que por el relieve en donde se encuentran las comunidades, los sistemas productivos tienen a estar susceptibles a la pérdida de suelos por factores erosivos.
3. Se recomienda a las instituciones encargadas en la temática de desechos sólidos, la creación de planes de manejo de desechos sólidos bajo las normas y reglamentaciones que conciernen para su presentación en cada una de las comunidades ya que es un problema de suma importancia en esta zona.

1.8 BIBLIOGRAFÍAS

1. Ayerdi, T. 2016. Función del INACCOOP (Instituto Nacional de Cooperativas) en los caseríos (entrevista). Nahualá, Sololá, Guatemala.
2. Cajas, D. 2016. Participación del CONRED (Consejo Nacional para la Reducción de Desastres, GT) en los caseríos de la aldea de Xejuyup, municipio de Nahualá, Sololá (entrevista). Nahualá, Guatemala.
3. Chay, R. 2016. Extensionismo del MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT) en los caseríos de la aldea Xejuyup, municipio de Nahualá, Sololá (entrevista). Nahualá, Guatemala.
4. Chovon, L. 2016. Situación actual y problemáticas ambientales presentes en el caserío Pasac, aldea Xejuyup, municipio de Nahualá, Sololá (entrevista). Nahualá, Guatemala.
5. Chox, D. 2016. Participación e impactos de la cooperativa Nahualá en los caseríos en estudio (entrevista). Nahualá, Guatemala.
6. Guarchaj, A. 2016. Problemas ambientales en el cultivo de café y de hoja de maxan en los caseríos (entrevista). Nahualá, Sololá, Guatemala.
7. Ixmata, D. 2016. Situación actual y problemáticas ambientales presentes en el caserío Pacanal IA, aldea Xejuyup, municipio de Nahualá, Sololá (entrevista). Nahualá, Guatemala.
8. Siquin, J. 2016. Situación actual y problemáticas ambientales presentes en el caserío Pacanal II, aldea Xejuyup, municipio de Nahualá, Sololá (entrevista). Nahualá, Guatemala.
9. Tambriz, D. 2016. Situación actual y problemáticas ambientales presentes en el caserío Pochol, aldea Xejuyup, municipio de Nahualá, Sololá (entrevista). Nahualá, Guatemala.



CAPÍTULO II
INVESTIGACIÓN

RÉGIMEN DE FUEGO EN EL BOSQUE NATURAL DEL VOLCÁN SANTO TOMÁS

PÉCUL, NAHUALÁ, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

RESEARCH

FIRE REGIME IN THE NATURAL FOREST OF THE VOLCANO SANTO TOMAS

PECUL, NAHUALÁ, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

2.1 PRESENTACIÓN

Los ecosistemas forestales se ven amenazados por diferentes causas sociales, económicas y culturales siendo una de ellas los incendios forestales, ya sean de origen natural o provocados principalmente por acciones antropogénicas, siendo estas amenazas las que provocan un cambio en los regímenes naturales de fuego. Según la clasificación de ecosistemas en función de la ecología del fuego en Guatemala existen dos tipos de ecosistemas, los cuales se clasifican en ecosistemas dependientes del fuego y sensibles al fuego, los primeros son los ecosistemas donde el fuego es esencial y las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente, mientras que la otra clasificación indica que son aquellos donde no se han desarrollado adaptaciones en respuesta a los incendios ya que el fuego no es un proceso importante y recurrente.

El rol del fuego en los ecosistemas se evidencia sobre su impacto a través regímenes naturales de fuego, ya que en ocasiones provocan un impacto ecológico positivo, tales como la reducción de combustibles forestales, estimulación de regeneración natural de la vegetación, la sucesión ecológica y saneamiento.

Los regímenes de fuego están determinados por las características del clima, la intensidad del fuego, la severidad, ocurrencia de incendios y la vegetación, provocando un fuerte cambio en los regímenes naturales del fuego esto influenciado por la actividad humana, provocando pérdida o degradación de la masa forestal y la degradación del suelo. También están determinados por el tipo de cobertura vegetal y las características del clima, lo cual determina el potencial o riesgo a episodios de fuego dependiendo de la estacionalidad y tipo de combustible. Sin embargo los regímenes de fuego son alterados en la mayor parte por actividad humana, produciendo aumento en las igniciones o supresión de los incendios.

Si bien los incendios forestales son un proceso ecológico, son percibidos como causantes de deforestación, degradación y/o pérdida de la vegetación dando como resultado el aumento de acciones de prevención y combate lo que conlleva a la desaparición del fuego por largos periodos

de tiempo. Sin embargo los incendios son un fenómeno que forma parte de la dinámica de los ecosistemas ya que existen evidencias de que la mayoría de especies en ecosistemas forestales tienen la capacidad de regeneración después de un incendio a través del rebrote o germinación de semillas protegidas por corteza u otros materiales en los diferentes estratos.

El volcán Santo Tomas Pecul presenta un ecosistema forestal altamente vulnerable a incendios debido a que presenta un bosque mixto con dominancia de especies coníferas, el cual ha sido afectado por regímenes no ecológicos alterados de fuego, según la base de datos del INAB y SIPECIF los últimos incendios ocurridos en el periodo del 2,001 al 2,015 en este bosque ha sido afectado alrededor de 530 ha.

Por lo tanto a la falta de estudios sobre el comportamiento de la vegetación a partir de modelos regenerativos de la vegetación por medio de regímenes del fuego ocurridos da como resultado la pérdida de biodiversidad así como un vacío de información para proyectos futuros.

La necesidad de mitigar esta problemática, nace en el marco de investigación del proyecto “Paisajes productivos resilientes al cambio climático y redes socioeconómicas fortalecidas en Guatemala” del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

El interés de evaluar y caracterizar los regímenes del fuego presentes en el ecosistema forestal del volcán Santo Tomas Pecul conlleva el estudio de parámetros de intensidad, extensión y periodos de recurrencia a través sucesos pasados, así como el tipo de cobertura. Con ello se permite determinar el papel fundamental que asume el fuego para proponer régimen ecológicamente sostenible que contribuya al aumento de procesos como: a) aumento de la regeneración natural, b) dinámica sobre la masa forestal, c) disminución de riesgo a incendios forestales a través de la eliminación de combustibles, d) saneamiento forestal y e) aumentan la cobertura.

Dichos procesos se lograrán a partir de un plan de manejo integrado del fuego, como una herramienta de manejo del bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marco Conceptual

2.2.1.1 Ecosistema

El término ecosistema fue propuesto por Arthur G. Tansley en 1,935, definiéndolo como “los organismos vivos (bióticos) y su ambiente o entorno sin vida (abiótico) interrelacionados de manera inseparable e interaccionando unos con otros”. (Odum y Warrett, 2006).

Un ecosistema se define como la primera unidad jerárquica ecológica, una comunidad con componentes biológicos y físicos necesarios para la supervivencia de organismos. Los mismos tienen interacciones con el ambiente por los que poseen entornos de entrada y salida necesarios para su funcionamiento. (Odum y Warrett, 2006).

A. Tipos de Ecosistemas

Los ecosistemas pueden variar según su estructura o funciones, la vegetación, sin embargo muchos ecólogos no han adoptado ninguna clasificación de los tipos de ecosistemas para su estudio si no para fines de métodos útiles. Esto se ha realizado para el entendimiento del ser humano en una forma ordenada acerca de la amplia variedad de los mismos. La clasificación de ecosistemas se basa en el funcionamiento dado por el ser humano. (Odum y Warrett, 2006), (figura 15).

Principales tipos de ecosistemas en la biosfera	
Ecosistemas marinos	Mar abierto (pelágico) Aguas de la plataforma continental (aguas costeras) Regiones de corrientes nutricias ascendentes o de corrientes surgidoras (regiones fértiles con pesca productiva) Mar profundo (ventilas hidrotermales) Estuarios (bahías costeras, estrechos, desembocaduras de ríos, marismas)
Ecosistemas de agua dulce	Léntica (agua estancada): lagos y estanques Lótica (agua corriente): ríos y arroyos Humedales: marismas y pantanos
Ecosistemas terrestres	Tundra: ártica y alpina Bosques boreales de coníferas Bosques templados caducifolio Praderas templadas Praderas tropicales y sabanas tropicales Chaparrales: regiones con lluvia en invierno y sequía en verano Desiertos: hierbas y arbustos Bosque tropical semiperennifolio: estaciones húmedas y secas pronunciadas Bosque tropical perennifolio
Ecosistemas domesticados	Agroecosistema Plantaciones en bosques y sistemas agroforestales Tecnoecosistemas rurales (corredores de transporte, pequeños pueblos, industrias) Tecnoecosistemas urbano-industriales (distritos metropolitanos)

Fuente: Odum y Warrett, 2006

Figura 15. Principales tipos de ecosistemas

2.2.1.2 Ecología del fuego de los ecosistemas forestales

Según el autor Myers (2006), existe una clasificación de ecosistemas según su ecología del fuego, los cuales se basan en la vegetación dominante y el tipo de bosque, ya que es la única

clasificación de ecosistemas a partir de la ecología del fuego de las especies. El cual indica las siguientes clasificaciones de ecosistemas según su ecología del fuego:

- **Ecosistemas dependientes del Fuego:** Son ecosistemas donde la aparición del fuego es esencial y las especies presentes han desarrollado adaptaciones para responder positivamente al fuego y así facilitar su propagación vegetativa por medio del incremento de la regeneración natural, por lo tanto, son ecosistemas de vegetación inflamable y propensa al fuego.

- **Ecosistemas independientes del fuego (E.I.F):** Son aquellos en los que el fuego juega un papel muy pequeño o nulo, son por lo general bosques con temperaturas frías, muy húmedos o extremo seco para quemarse.
En estos ecosistemas el fuego se convierte en una amenaza solamente si hay cambios significativos sobre los ecosistemas como el cambio del uso del fuego, especies invasoras y cambio climático.

- **Ecosistemas sensibles al fuego (E.S.F):** Son aquellos en donde el fuego no se ha desarrollado como un proceso importante y recurrente, están formados en su estructura y composición vegetal, carecen de adaptaciones en respuesta a los incendios, no son muy inflamables bajo condiciones naturales y sin perturbaciones. Como también son áreas que incendios de alta o baja intensidad provocan una alta mortalidad.

- **Ecosistemas influidos por el fuego (E.In.F):** Son aquellos que se encuentran en la transición entre ecosistemas dependientes y sensibles o independientes al fuego, los cuales pueden incluir tipos de vegetación más amplias en las cuales las respuestas al fuego no han sido evidenciadas. En general son ecosistemas sensibles al fuego pero en su composición vegetal existen especies que puede responder de forma positiva a las perturbaciones provocadas por la presencia del fuego

2.2.1.3 Diversidad en los ecosistemas

La diversidad o estructura biológica de los ecosistemas está definido por la mezcla de especies así como su abundancia y riqueza de las mismas. Sin embargo dentro de las especies encontradas en un ecosistema no todas son abundantes, esta característica se puede cuantificar a través del conteo de los individuos de cada especie presente. (Smith y Smith, 2007).

En el caso de comunidades forestales se observa la dominancia de las especies lo cual es lo opuesto a la diversidad, generalmente la dominancia se refiere a la abundancia de una o varias especies, sin embargo no es un indicador suficiente de dominancia pues puede variar según el tamaño de las mismas. (Smith y Smith, 2007).

2.2.1.4 Sucesión

El término sucesión se refiere a todos los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo, la sucesión ecológica involucra la evolución de los ecosistemas relacionando varios factores como los componentes bióticos y abióticos, sin embargo la sucesión vegetal incluye solo factores bióticos teniendo más relación en los cambios de la composición florística, por lo que se puede conceptualizar como una secuencia en el reemplazamiento de la vegetación en los ecosistemas o ya sea una tendencia de un ecosistema hacia un equilibrio o una estabilidad entre los componentes del mismo ya sea en períodos largos o cortos transformándose hasta llegar a un periodo estable. (Martínez, 2013).

La sucesión es un proceso dinámico en donde se deben estudiar las especies existentes y su capacidad regenerativa así como el tipo de escenario en el que se encuentran, clasificándose en sucesión primaria y sucesión secundaria. La sucesión primaria conlleva más tiempo en su ejecución debido a que se inicia en sitios desprovistos de vegetación o altamente afectados por

sucesos naturales, mientras que la sucesión secundaria se inicia en ecosistemas perturbados por la agricultura, incendios o deforestación. (Martínez, 2013), (figura 16).



Fuente: Proyecto Biosfera, España (en línea).

Figura 16 Sucesión secundaria tras un incendio

A. Modelos Sucesionales

Los modelos de sucesión explican patrones de eventos pasados en el ecosistema y así poder evaluar o predecir eventos futuros en la sucesión de acuerdo a parámetros de interés, dichos parámetros deberán ser relacionados con las características de las especies presentes en el ecosistema (Evans, 2006).

Los modelos de sucesión han venido cambiando a lo largo de los años debido a que una sucesión vegetativa suma varios años de estudio por lo que solo han sido comparativos, en el caso de bosques son un estudio entre las edades de las especies del mismo sustrato. En base a esto los modelos han sido determinados por el estudio de la composición florística al inicio de la sucesión para poder observar que especies resultan dominantes. Estos modelos de

sucesión se basan en que algunas especies son más vulnerables a las perturbaciones que otras por lo que es posible que en la sucesión la presencia de especies dominantes inhiba el crecimiento de otras provocando así la decadencia en la vegetación del ecosistema. (Evans, 2006).

El éxito de una sucesión derivada de una perturbación que no considera condiciones como la abundancia, tipos, y la distribución espacial de los residuos, y la distancia de una fuente semillera probablemente no será exitosa para grandes extensiones del paisaje, presentando las siguientes características: (Evans, 2006).

- Menor densidad inicial de organismos

- Los procesos en los que los parches regenerados actúan como focos para colonizaciones adicionales y se expanden, serán más importantes

- La clasificación competitiva será de menor importancia, de acuerdo a la posibilidad de su llegada en determinación de la composición de la comunidad

- La composición de la comunidad será inicialmente menos predecible

- La tasa de recuperación de la composición de la comunidad será más lenta.

La secuencia de especies que aparece en un área después de una perturbación puede observarse en estadios tempranos de la sucesión. Los estadios siguientes generalmente tienen una duración mayor que el período de investigación y aún puede durar más que la vida del investigador. Por eso se recurre a métodos indirectos que registran la vegetación encontrada en áreas con diferentes épocas en las que se ha sufrido durante la perturbación. (Odum y Warrett, 2006).

- **Modelo de facilitación:** en este modelo las especies pioneras o nativas modifican el suelo y el microclima de tal forma que se facilita el establecimiento de las especies secundarias tempranas, las cuales crecen y llegan a la madurez que a su vez crean las condiciones favorables para las especies secundarias tardías.
- **Modelo de tolerancia:** este modelo dice que las modificaciones en el ambiente no crean condiciones favorables ni desfavorables para las especies secundarias, si no que las especies secundarias pueden haber llegado al lugar alterado al mismo tiempo que las pioneras o más tarde, teniendo un crecimiento mucho más lento que las primeras y son capaces de crecer a pesar de la presencia de las pioneras.
- **Modelo de inhibición:** este modelo se basa en que las especies pioneras una vez colonizan inhiben el crecimiento de otras especies y que sólo se puede proceder al establecimiento de las secundarias cuando las pioneras son atacadas y mueren por algún factor.

B. Dinámica de la Sucesión

A lo largo de la sucesión se producen cambios desde el inicio hasta que alcanza su estabilidad desarrollando cambios en la vegetación con el tiempo que pueden ser de dos tipos: 1) cambios rápidos debido a fuerzas exógenas, en regeneración, colonización, crecimiento y desarrollo teniendo la presencia de especies pioneras y 2) cambios lentos por fuerzas endógenas producidas por la misma organización del ecosistema ya sea tolerancia o inhibición de las mismas. (Martínez, 2013).

Walker y del Moral (2003) mencionan que en el proceso de sucesión ocurren varios cambios, iniciando por las perturbaciones (cuadro 17), que pueden dirigir, detener o redirigir la sucesión ya que estas alteran la estructura del ecosistema y poblaciones presentes en su densidad y distribución espacial, definiéndose por su frecuencia, extensión y magnitud.

Cuadro 17. Componentes de un régimen de perturbación

Término	Definición
Frecuencia	Promedio de eventos en un período de tiempo, o fracción de eventos por año; el tiempo intermedio entre perturbaciones se obtiene de la frecuencia inversa.
Tamaño	Área perturbada, que puede expresarse como área media por Evento.
Intensidad	Energía física del evento por área por tiempo; características de la perturbación, más que el efecto ecológico.
Severidad	Efecto del evento de la perturbación en el organismo, comunidad o ecosistema, estrechamente relacionado con la intensidad, pues las perturbaciones más intensas generalmente son más severas.
Residuos	Organismos o propagulos que sobreviven al evento de las perturbaciones, también se refiere al legado biológico. Los residuos son medidos por su severidad, de la misma manera (al menos en una perturbación) que un índice de intensidad

Fuente: Evans, 2006.

2.2.1.5 Incendios

Los ecosistemas que presentan cobertura forestal son parte fundamental para la vida en el planeta para la regulación de la temperatura, la humedad, capturan el bióxido de carbono y liberan oxígeno así como también son fuente de materia prima en muchas actividades humanas. (CONAFOR, 2010).

El fuego controlado ayuda a mantener la biodiversidad, sin embargo el 99% de los incendios forestales ocurren por negligencias humanas que trae consecuencias devastadoras para el ambiente y la seguridad de las personas. (CONAFOR, 2010).

Existen diferentes tipos de incendios según su dirección de propagación y las zonas de la vegetación afectadas, entre los cuales encontramos los siguientes: (CONAFORI, 2010).

- **Incendios Superficiales:** estos se propagan de manera horizontal alcanzando hasta un metro y medio de altura, afectando pastizales, ramas, arbustos en algunos casos de regeneración natural o plantación.

- **Incendios Subterráneos:** estos son característicos en lugares donde existe materia orgánica acumulada y raíces abundantes, por lo general son difícil de detectar ya que no producen llamas y emiten poco humo por lo que pueden alcanzar hasta los afloramientos rocosos.

- **Incendios de Copa o Aéreos:** estos incendios son los más destructivos debido a que el fuego se propaga de manera vertical alcanzando las copas de los árboles haciéndolos difícil de controlar.

2.2.1.6 Regímenes de fuego

Los regímenes del fuego son patrones de incendios ocurridos en un área determinada por un determinado tiempo. Estos regímenes son descritos en base a la frecuencia de ocurrencia su magnitud, extensión y estacionalidad. Los regímenes del fuego pueden ser descritos y estudiados desde dos escenarios, ya sea desde las características propias de un incendio o

de los efectos sobre la vegetación. El primer escenario nos muestra el funcionamiento en la ecología del fuego, mientras que el segundo escenario nos muestra el rol de fuego en los recursos naturales y su manejo por lo que es de mayor interés e importancia. (Fernández, I., et.al, 2010).

En base al uso de fuego sobre la vegetación los regímenes del fuego pueden clasificarse de acuerdo al nivel de perturbación en la vegetación, mayormente en especies dominantes, por lo que Brown & Smith en el año 2000 proponen una clasificación según la severidad de los efectos del fuego en la vegetación: (Fernández, I., et.al, 2010).

- **Fuegos de Sotobosque:** alrededor del 80 % de la vegetación sobrevive a los episodios de fuego sin cambiar su composición y estructura.
- **Fuegos de reemplazo:** aproximadamente el 80% de la vegetación dominante es consumida por el fuego, destruyendo su composición y estructura sustancialmente.
- **Fuegos de severidad heterogénea:** ocurre la muerte completa de la vegetación dominante, aunque selectivamente dependiendo de la susceptibilidad de las especies al fuego, ocurriendo fuegos de sotobosque o de reemplazo.
- **Sin regímenes de fuego:** la ocurrencia de incendio es baja o nula.

En el cuadro 18, se describen los diferentes tipos de regímenes de fuego que actúan sobre los ecosistemas forestales.

Cuadro 18. Tipos de regímenes de fuego.

Tipo de Régimen de Fuego	Descripción
Régimen de fuego ecológicamente sostenible	Es aquél que mantiene la viabilidad o la estructura, la composición y el funcionamiento deseados del ecosistema.
Régimen natural del fuego	Es el régimen puede consistir en incendios muy pequeños que afectan una parte minúscula del ecosistema en cualquier año dado, acompañados quizás por un incendio grande a nivel de paisaje que ocurre una vez cada cientos o miles de años y del cual el bosque se recupera.
Régimen de fuego Alterado	Es aquél que ha sido modificado por actividades humanas tales como la supresión y prevención de incendios, las quemas excesivas o inadecuadas, la conversión del ecosistema o la fragmentación del paisaje, hasta el punto en que el régimen de fuego actual afecta negativamente la viabilidad de los ecosistemas deseados y la sostenibilidad de los productos y servicios eco sistémicos.

Fuente: (Conservancy, 2004)

2.2.1.7 Rol del fuego en los ecosistemas

Los incendios pueden ser vistos beneficiosos o dañinos según el lugar en donde y como ocurre ya que para el ser humano trae tanto beneficios como problemas, en los beneficios podemos mencionar la utilización de la quema para energía o cultivar y su contraparte encontramos los problemas de salud y sustento humano. (The Nature Conservancy, 2004).

Los incendios desde el punto de vista de muchos ecólogos se comportan de manera diferente a años anteriores, debido a que el ser humano excluye directa o indirectamente en los mismos a través del aumento del calentamiento global, cambio climático, fragmentación del paisaje e introducción de especies exógenas resistentes o vulnerables al fuego. (The Nature Conservancy, 2004).

Si bien el fuego es uno de los mayores causantes en la alteración de la composición y estructura de la vegetación en un ecosistema también se involucran en las estrategias reproductivas y la producción de combustibles del mismo, lo cual mide el tipo de repuesta frente a un episodio de fuego. (Fernández, I., et.al, 2010).

Según la evaluación realizada por The Nature Conservancy el 46% del área mundial de los principales tipos de hábitat son dependientes del fuego, entre ellos se encuentra localizado Guatemala, por lo que los incendios son necesarios para sostener la vegetación y fauna en el ecosistema, ya que es característico de estos mantener la resistencia y la recuperación después de estar expuestos a incendios que ocurren dentro del régimen de fuego del ecosistema. (The Nature Conservancy, 2004).

2.2.1.8 Efectos del fuego sobre la vegetación

La respuesta de las especies vegetales a los impactos generados por el fuego depende del tiempo en que son medidos, en corto plazo los impactos son negativos tomando en cuenta la pérdida de los servicios que brindan, la alteración en la composición vegetal y su forma de crecimiento. A largo plazo los incendios tienen un papel fundamental en procesos físicos y biológicos como lo son la diversidad del paisaje y aumentando el flujo de energía. (Fernández, I., et.al, 2010).

Sin embargo los efectos de un incendio pueden variar según el área de un mismo ecosistema, dependiendo de la intensidad del incendio en relación con la dinámica de la vegetación. La vegetación responde de diferentes maneras al fuego dependiendo de la tolerancia y sus mecanismos de regeneración que posean. (Fernández, I., et.al, 2010).

2.2.1.9 Combustibles

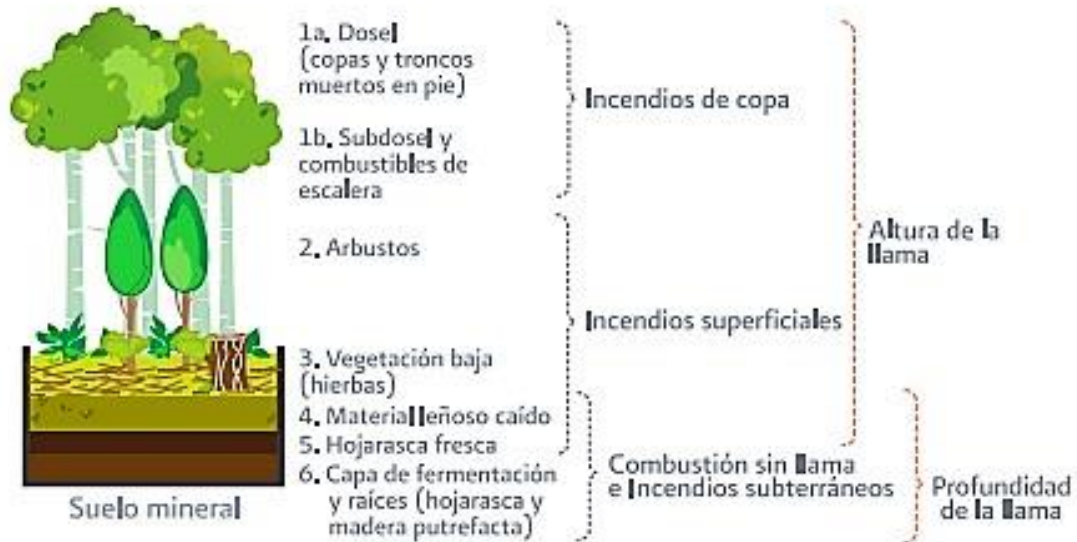
Los combustibles son cualquier material y/o sustancia con capacidad a encenderse y mantener un proceso de combustión. Los combustibles forestales son toda la materia orgánica que se encuentra disponible para la combustión en los incendios forestales, aquí se incluye la biomasa de plantas vivas y sus partes (follaje, tallos y ramas, raíces), así como los restos de árboles muertos en pie o caídos, tocones, residuos leñosos y hojas que se encuentran en el mantillo. (Morfin-Ríos et al., 2012).

Los combustibles presentan un riesgo a incendios dependiendo del volumen, tipo, condición y disponibilidad, determinando así la dificultad de extinción del incendio, su clasificación depende de su ubicación dentro del área así como su estado, teniendo los siguientes tipos: (MIF, 2013).

- **Combustibles Disponibles:** Estos combustibles arden durante el pasaje de un determinado frente de llamas debido a su contenido de humedad y distribución.
- **Combustibles Muertos:** Este tipo de combustibles poseen un contenido de humedad menor al 30 % por lo que se encuentra en un estado controlado por el medio que lo rodea.
- **Combustibles Superficiales:** Estos combustibles incluyen todo tipo de material ubicado en la superficie de encima de ella hasta una altura de 1.8 m.

Por lo general los incendios inician en la capa superficial y se propagan de manera horizontal, su extensión e intensidad van a depender del material combustible y condiciones favorables del estado del tiempo. “Si el fuego persiste y alcanza suficiente intensidad, y si hay continuidad vertical en el complejo de combustibles, puede llegar a quemar el follaje de árboles e incluso propagarse por la copa de estos. Los combustibles de escalera, como arbustos o árboles pequeños y troncos de árboles muertos que conectan a los combustibles de superficie con el

dosel, así como musgos, líquenes y plantas epífitas sobre la corteza y las ramas de los árboles.”. (Morfin-Ríos et al., 2012), (figura 17).



Fuente: CONANP, 2012

Figura 17. Potencial de incendios según la cama de combustible disponible en cada estrato.

2.2.1.10 Alteración de los regímenes del fuego

Los regímenes de fuego son alterados generalmente por actividades humanas en donde se incluyen la neutralización y/o prevención de episodios de fuego, dichas alteraciones es un proceso lento que puede pasar desapercibido hasta que atraviese un nivel crítico. La relación entre los vínculos y las fuentes de alteración es importante para la identificación de soluciones apropiadas; algunas fuentes de alteración surgen de las actividades de pastoreo, cambio climático así como las perturbaciones producidas por el ser humano. (The Nature Conservancy, 2004).

Por lo anterior descrito es evidente que uno de los efectos de mayor nivel en la alteración de los regímenes de fuego es el cambio y pérdida de la biodiversidad, estudios demuestran que cuando los intervalos entre incendios son más cortos o prolongados del régimen normal, puede generarse la pérdida de especies vegetales y reducción de la biodiversidad dando como resultado la pérdida del hábitat, la invasión por plantas no nativas de los ecosistemas. (CONANP, 2011).

2.2.1.11 Capacidad regenerativa de la Vegetación

Si bien los incendios representan una pérdida de individuos la capacidad de la vegetación para recuperarse depende de los mecanismos individualizados de cada especie, por lo general los ecosistemas que han presentado eventos de incendios poseen especies que se benefician de estos eventos, por lo que el fuego ha generado un evolución “post-fuego” provocando una selección natural de estas especies. Cabe resaltar que no todas las especies presentes poseen esta capacidad debido a que depende del estado de desarrollo en que se encuentran y su relación con el fuego. (Fernández, et.al, 2010).

A través de las estrategias en su adaptación al fuego que varían entre especies, se plantean dos mecanismos de regeneración de la cobertura vegetal. El primer mecanismo es de origen vegetativo, el cual se basa en la protección y desarrollo de las yemas que no fueron afectadas por el fuego debido a que se encuentran debajo del suelo o protegidas por arbustos o corteza; el segundo mecanismo es de origen reproductivo, consiste en la germinación de semillas sobrevivientes para su colonización, estos mecanismos depende de ciertas características “post-fuego” para su regeneración entre las cuales se mencionan las siguientes: (Fernández, I., et.al, 2010).

- **Protección de yemas:** el rebrote se origina de yemas protegidas encontradas en la base del tallo o enterradas.

- **Estimulación de la floración:** esta se encuentran presente en neófitas
- **Retención de semillas y dehiscencia fuego-estimulada:** los árboles y/o arbustos retienen semillas a la espera de condiciones favorables para su germinación.
- **Favorecimiento de germinación de semillas:** la liberación de semillas es favorecida por el alto desarrollo herbáceo debido a que se mantienen en reposo sobre el suelo.

Estas características se consideran el inicio para la regeneración “post-fuego” ya que algunas semillas necesitan del fuego para que sus semillas puedan romper su dormancia. (Fernández, I., et.al, 2010).

2.2.1.12 Mecanismos Sucesionales

“Los mecanismos que afectan la dinámica de la vegetación en el proceso de sucesión pueden ser intra (estrategias de regeneración y capacidad de colonización, crecimiento y desarrollo), o inter (facilitación, tolerancia e inhibición) específicos”. (Evans, 2006).

A. Estrategias de regeneración y capacidad de colonización, crecimiento y desarrollo.

Las estrategias de regeneración incluyen la tolerancia a la sombra, producción y tamaño de semillas, dispersión de las mismas, tasa de crecimiento y longevidad, resistencia a enfermedades y plagas, biomasa y requerimientos nutricionales; tomando en cuenta que las condiciones de sitio y la cercanía de la especie con dicho sitio y el régimen de perturbación presente. (Evans, 2006).

B. Facilitación, tolerancia e inhibición

Cada especie tiene sus propios requerimientos climáticos y físicos que difieren una de otra en cada ciclo de desarrollo. Las especies que se encuentran en la primera etapa de la sucesión modifican las condiciones del ambiente para las siguientes especies de la sucesión logrando así la tolerancia en las etapas sucesionales siguientes. Por otro lado la inhibición consiste en el efecto negativo de una especie sobre otra en las etapas de la sucesión. (Evans, 2006).

C. Métodos de estudio de la sucesión

Un proceso de sucesión conlleva tiempo en su realización así como la observación sus resultados debido a la longevidad de los procesos relacionados. Para estudiar un proceso de sucesión por lo general se han utilizado dos métodos: la crono secuencia y las parcelas permanentes. (López, 2013).

Con el método de parcelas permanentes se puede observar de forma directa los cambios a través del tiempo y así describir con mayor detalle la dinámica sucesional. Sin embargo el método de parcelas permanentes tiene algunas limitaciones entre ellas se menciona el mantenimiento de las mismas por un largo tiempo por lo que para la toma de datos se centra en la vegetación joven, dicha limitación puede ser superada por el método de crono secuencia, el cual es complementario, el cual consiste en el análisis de diferentes comunidades vegetales con diferente edad de abandono desde la última perturbación, asumiendo que las comunidades muestreadas sólo difieren de la edad y que son representativas de las diferentes etapas sucesionales. (López, 2013).

a. Muestreo Preferencial

El muestreo preferencial, tal como lo indica su nombre las unidades muestrales son seleccionadas en base al criterio del investigador considerando poder obtener una muestra representativa de la comunidad o población, esto es limitante para un análisis estadístico debido a que la información obtenida se considera sesgada por lo que no puede fijarse un nivel de confianza, por lo que al momento de seleccionar las unidades de muestro debe conocerse bien el área de estudio. (Mora, 1999).

b. Muestreo Probabilístico

En este tipo de muestreo los individuos son seleccionados aleatoriamente, este criterio es difícil de mantener por lo que se somete a ciertas restricciones permitiendo calcular y disminuir el error de muestreo, que es la diferencia entre el valor real de la característica de la población calculada y el valor en la muestra. (Mora, 1999).

c. Muestreo Estratificado

En este tipo de muestreo las unidades muestrales se seleccionan en base a similitudes de características llamada variable de estratificación, que son por lo general factores del medio, vegetación, urbanizaciones, barrios, etc. En este tipo de muestreo se forman estratos, los cuales son homogéneos dentro de sí y elegidos aleatoriamente, presentando varias ventajas como reducir el error de estimación en los parámetros a estudiar. (Mora, 1999).

2.2.1.13 Estudios Realizados

Los diferentes estudios de la vegetación de acuerdo a sucesiones se centran en las características estructurales de la misma como la diversidad, riqueza y composición de especies; evaluando principalmente tasas de crecimiento y/o reclutamiento de individuos, influencia de la edad, propiedades del suelo y la autocorrelación espacial sobre la estructura y la composición. Algunas investigaciones realizadas dentro del país se mencionan las siguientes:

- “Aves y Murciélagos como Dispersores de Semillas en Tres Etapas Sucesionales de la Ecorregión Lachuá, Alta Verapaz, Guatemala”. Año de publicación 2,005.
- “Sucesión ecológica secundaria alrededor de parches de bosque con pinabete (*Abies guatemalensis Rehder*) en San Marcos, Guatemala.” Año de publicación 2,013.
- “Relación del sustrato y altitud en la diversidad vegetal encontrada a partir de la deposición de material volcánico en el parque nacional volcán Pacaya”. Guatemala. Año de publicación 2,013.
- “Evaluación de la regeneración natural de tres especies coníferas en áreas de distribución natural en el altiplano occidental de Guatemala” Guatemala, Año de publicación 2,016.

2.2.2 MARCO REFERENCIAL

2.2.2.1 Ubicación geográfica del proyecto de investigación

El proyecto de investigación se ejecutará en el bosque natural del volcán Santo Tomas Pécul, en el Municipio de Nahualá del departamento de Sololá. El bosque natural presenta un comportamiento altitudinal que oscila entre los 2100 m s.n.m a 3500 m s.n.m, el cual tiene jurisdicción al este con el departamento de Quetzaltenango, al sur con el departamento de Suchitepéquez y al suroeste se encuentran los principales centros poblados en estudio del municipio de Nahualá. La cima del volcán donde se realizó el estudio está ubicada en las siguientes coordenadas 14° 24' 41.01" N y 91° 28' 44.53" O.

El área de estudio en el bosque natural del Volcán Santo Tomás Pecul, tiene una extensión de 12 km² de bosque natural, dicha área boscosa es de suma importancia por el alto potencia de recarga hídrica y como también fuentes de nacimientos de agua para la parte alta de la cuenca del río Ixtacapa cual a lo largo del tiempo ha sido intervenido en varias ocasiones por la ocurrencia de incendios forestales. En el cuadro 19, se presentan los principales centros poblados colindantes al área de estudio y la figura 18, muestra el mapa de ubicación del área de estudio.

Cuadro 19. Centros poblados del área de estudio.

Departamento	Municipio	Aldea	Poblado	Categoría
Sololá	Nahualá	Xejuyup	Pacanal I	Caserío
			Pacanal II	Caserío
			Pasac	Caserío
			Chuituj	Caserío
			Pasaquijuyup	Caserío

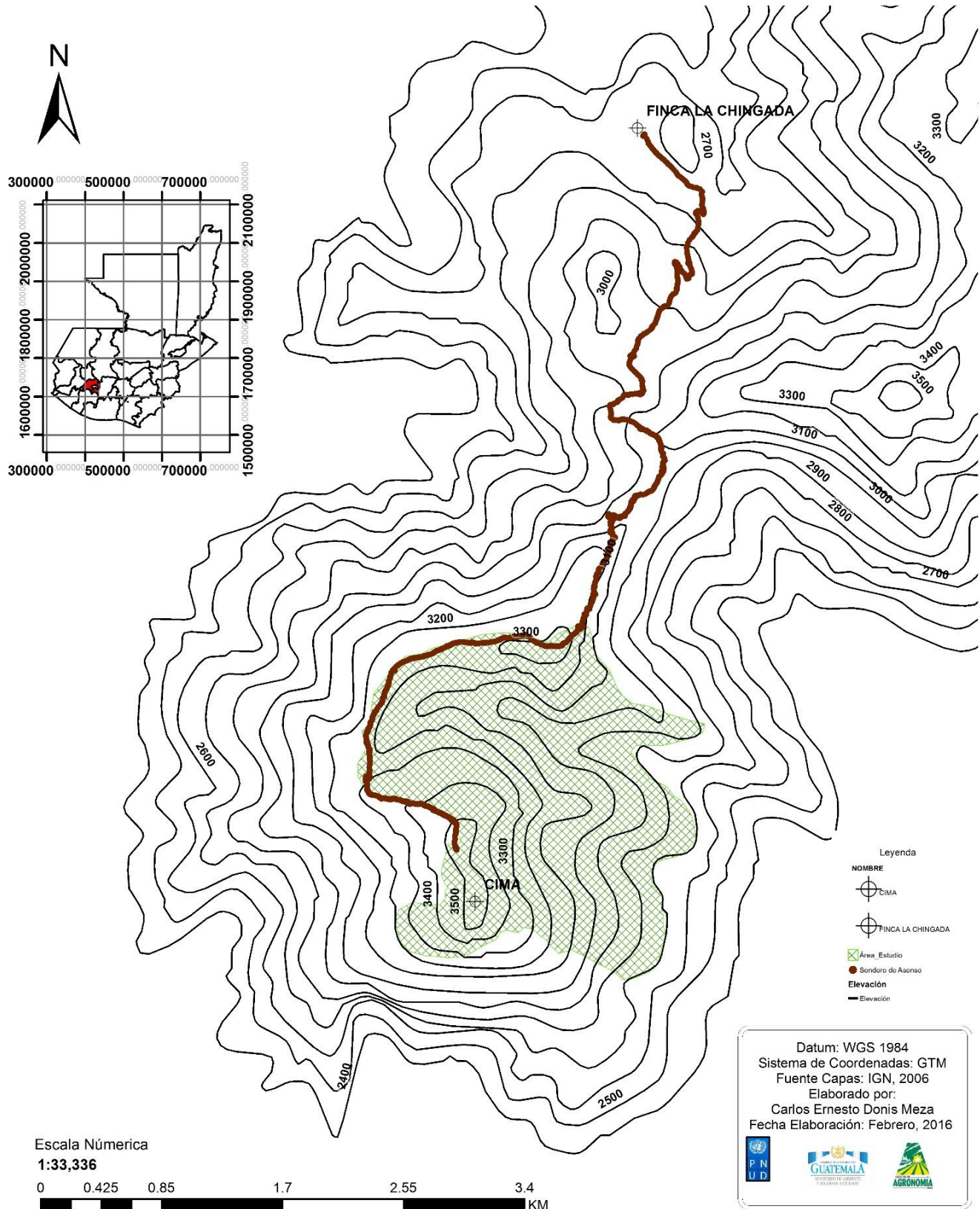


Figura 18. Mapa de ubicación geográfica y topografía del área de estudio.

2.2.2.2 Aspectos demográficos y económicos

A. Población Total

Las principales comunidades que influyen de forma directa sobre el bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul, por lo que el cuadro 20 indica para la proyección para el año 2,016 se tiene una población total de 3,390 habitantes para las comunidades de Pacanal 1 sector A, Pacanal II, Pasac y Pochol, de la aldea Xejuyup, municipio de Nahualá, es de suma importancia conocer la totalidad de la población, ya que la mayor parte tiene una influencia directa en el aprovechamiento de los recursos naturales del Volcán, por lo tanto son los principales causantes de los incendios forestales.

Cuadro 20. Número de habitantes por comunidades

Departamento	Municipio	Aldea	Caseríos	Población
Sololá	Nahualá	Xejuyup	Pacanal 1 ^a	347
			Pacanal II	629
			Pasac	1,282
			Pochol	1,131
Total de la Población año 2016				3,390 habitantes

Fuente: Censo de población por Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de la República de Guatemala, Proyección 2016.

B. Nivel de ingresos

Debido a la escasez de fuentes de trabajo en los municipios, la actividad agrícola es la principal fuente de generadora de empleo, la cual se ve afectada por la temporalidad de las cosechas, plagas (actualmente roya en los cafetales) y escasas de lluvia en los cultivos (Cultivo de maxán, café, maíz, tomate y frijol).

De acuerdo a los datos recopilados en campo, se determinó que la mayor parte de la población, se ubica en el rango de ingresos de Q 500.00 a Q 800.00 mensuales y un rango comprendido entre Q7,000.00 y Q8,000.00 anuales, lo cual es un factor determinante en el bajo nivel de vida de la población.

2.2.2.3 Vías de acceso

Para el volcán Santo Tomás se puede acceder por la ruta que conduce al municipio de Quetzaltenango (201 km desde la ciudad de Guatemala). Luego continuar hacia el municipio de Zunil (9 km) y buscar el desvío hacia el balneario de las Fuentes Georginas (8 km de la carretera asfaltada), para la ruta de ascenso al área de estudio en el volcán.

2.2.2.4 Condiciones Climáticas

Según la clasificación climática para Guatemala (Sistema Thornthwaite), el clima del área de estudio pertenece al código de clasificación BB'2 en donde B= Húmedo, la región hídrica es muy cargada de fuerte precipitaciones; B'= Templado, el régimen de temperatura indica que son regímenes mesotermiales (MAGA, 2013)

La temperatura media según el sistema de clasificación climática (Sistema Thornthwaite), indican que son áreas templadas que sus temperaturas oscilan en la época lluviosa entre 13 °C -18 °C como la temperatura promedio, como también el régimen hídrico indica que son áreas con fuerte precipitación las cuales presentan una media de 2,300 mm/año, siendo unas de las áreas con mayor humedad en la región (MAGA, 2013)

2.2.2.5 Zonas de Vida

Según el sistema de clasificación de zonas de vida para Guatemala (Sistema Holdridge), el área de estudio pertenece a la zona de vida Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical -bmh-MB-, por lo regular son ecosistemas que tienen temperaturas máximas de 19 °C y precipitaciones medias de 2,300 mm / año con un relieve accidentado y una riqueza en biodiversidad por sus bosques naturales, esto se debe a que estos son bosques latifoliados y bosques mixtos. (IARNA, 2011).

El cuadro 5, hace referencia a las especies indicadoras para cada una de las zonas de vida según la clasificación del sistema Holdridge en Guatemala. En el ecosistema vegetal de bosque natural de volcán Santo Tomás Pecul, son identificadas como especies forestales de alto valor ecológico y económico, como también el estado ecológico que se encuentran algunas de ellas, ya que, están categorizadas como especies amenazadas o con riesgo de extinción, siendo las siguientes como las principales especies: *Cupressus lusitanica*, *Prunus ayacahuite*, *Chiratodendron pentadactylon*, *Pinus hartwegii*, *Alnus jorullensis*, *Quercus spp.*, *Zinowiewia sp.*, *Abies guatemalensis*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus sp.*, *Bocona volcánica*, *Buddleia sp.*, *Cestrum sp.*, *Garya pp.*, *Bacharia sp.*

Cuadro 21. Especies indicadoras para las zonas de vida de Guatemala.

Zonas	Especies Indicadoras
Monte espinoso Subtropical	<i>Cactus spp.</i> , <i>Pereskia spp.</i> , <i>Jaquinia aurantiacea</i> , <i>Guaiacum sanctum</i> , <i>Bucida macrostachya</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Cordia alba</i>
Bosque seco Tropical	<i>Omphalea oleifera</i> , <i>Talisia olivaeformis</i> , <i>Pithecolobium manganses</i> , <i>Carica mexicana</i> , <i>Myrospermum frutescens</i>
Bosque seco Subtropical	<i>Cochlospermum vitifolium</i> , <i>Swietenia humilis</i> , <i>Alvaradoa amorphoides</i> , <i>Sabal mexicana</i> , <i>Phyllocarpus septentrionalis</i> , <i>Ceiba aesculifolia</i> , <i>Albizia caribaea</i> , <i>Rhizophora mangle</i> , <i>Avicennia nítida</i> , <i>Leucaena guatemalensis</i>
Bosque húmedo Subtropical (templado)	<i>Pinus oocarpa</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Quercus spp.</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i>
Bosque húmedo Subtropical (cálido)	-Zona Sur: <i>Sterculia apetala</i> , <i>Platymiscium dimorphandrum</i> , <i>Chlorophora tinctoria</i> , <i>Cordia alliodora</i> --Zona Norte: <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Xylopia frutescens</i> , <i>Metopium brownei</i> , <i>Quercus oleoides</i> , <i>Sabal morisiana</i> , <i>Manilkara zapota</i> , <i>Bombas ellipticum</i> , <i>Pimienta dioca</i> , <i>Aspidosperma megalocarpon</i> , <i>Alseis yucateensis</i>
Bosque muy húmedo Subtropical (cálido)	-Zona Sur: <i>Scheelea preussii</i> , <i>Terminalia oblonga</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Sickingia salvadorensis</i> , <i>Triplaris melaenodendrum</i> , <i>Cybistax donnell-smithii</i> , <i>Andira inermis</i> -Zona Norte: <i>Orbignyia cohune</i> , <i>Terminalia amazonia</i> , <i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Lonchocarpus spp.</i> , <i>Virola spp.</i> , <i>Cecropia pentandra</i> , <i>Vochysia guatemalensis</i> , <i>Pinus caribaea</i> .
Bosque muy húmedo Subtropical (frío)	<i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Persea donnell-smithii</i> , <i>Eurya seemanii</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Persea schediana</i> , <i>Rapanea feruginea</i> , <i>Clethra spp.</i> , <i>Myrica spp.</i> , <i>Croton draco</i>
Bosque pluvial Subtropical	<i>Magnolia guatemalensis</i> , <i>Talauma spp.</i> , <i>Alfaroa spp</i>
Bosque muy húmedo Tropical	<i>Acacia cookii</i> , <i>Cordia gerascanthus</i> , <i>Zanthoxylum belicense</i> , <i>Crudia spp.</i> , <i>Podocarpus spp.</i> , <i>Basiloxylon excelsa</i>
Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical	<i>Quercus spp.</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Pinus montezumae</i> , <i>Juniperus comitana</i> , <i>Alnus jorullensis</i> , <i>Ostrya spp.</i> , <i>Carpinus spp.</i> , <i>Prunus capulli</i> , <i>Arbutus xalapensis</i>
Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical	<i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Prunus ayacahuite</i> , <i>Chiratodendron pentadactylon</i> , <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Alnus jorullensis</i> , <i>Quercus spp.</i> , <i>Zinowiewia spp.</i> , <i>Buddleia spp.</i>
Bosque pluvial Montano Bajo Subtropical	<i>Podocarpus oleifolius</i> , <i>Alfaroa costaricensis</i> , <i>Engelhardtia spp.</i> , <i>Billia hippocastanum</i> , <i>Magnolia guatemalensis</i> , <i>Brunellia spp.</i> , <i>Oreopanax xalapense</i> , <i>Hedyosmun mexicanum</i> , <i>Gunnera spp.</i>
Bosque húmedo Montano Subtropical	<i>Juniperus standleyii</i> , <i>Pinus hartwegii</i>
Bosque muy húmedo Montano Subtropical	<i>Abies guatemalensis</i> , <i>Pinus ayacahuite</i> , <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Quercus spp.</i> , <i>Boconá volcánica</i> , <i>Buddleia spp.</i> , <i>Cestrum spp.</i> , <i>Garya spp.</i> , <i>Bacharia spp.</i>

Fuente: Urquijo, FAO Guatemala, 2002.

2.2.2.6 Taxonomía de suelos

El área en estudio se encontraron se encontraron según la clasificación taxonómica, los cuales Andic Humustepts y Humic Ustivitrands, esto suelos son suelos del orden Andisol, los cuales son suelos desarrollados sobre ceniza volcánica que tiene una baja densidad aparente y altos contenidos de a lofano, son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo, para áreas como el Volcán Santo Tomas Pecul que tienen terrenos con relieves pronunciados estos suelos tienden a erosionarse con facilidad. Dicho orden también está relacionado a la serie de suelo Totonicapán la cual está formada con un material original a partir de ceniza volcánica y roca volcánica, la cual tiene un comportamiento altitudinal entre los 2,400 m s.n.m -3,000 m s.n.m, expresa un relieve inclinado a ondulado. (MAGA, 2013).

Los suelos de esta seria son de textura franco – arcillosa con coloraciones de café oscuro a café muy oscuro, los cuales tienen una profundidad efectiva de 90 cm, con un pH en su mayoría ácidos, estos suelos poseen un buen drenaje lo que hacen que estas áreas sean de alto potencial en recarga hídrica. (MAGA, 2013).

2.2.2.7 Fisiografía

Según la fisiografía de la región está incluida en la clasificación de gran paisaje de “Picos Volcánicos Santo Tomas - Zunil”, entre lo que cabe de mencionar esta región está conformada por cuatro picos extintos en la parte alta siendo los más altos: Zunil (3,353 m s.n.m) y el de Santo Tomás (3,325 m s.n.m), llegando en su parte baja hasta la cota de 1,000 m s.n.m. (MAGA, 2001)

Dicha geoforma se origina a una edad del periodo Terciario superior al Cuaternario, lo que ha resultado por la actividad volcánica hace varias épocas en la región el resultado la formación de estas estructuras por distintos cúmulos de diferentes coladas lávicas y de material piroclástico. El tipo de roca que tiene predominancia en esta zona son rocas volcánicas no diferenciadas como andesitas, basaltos, riolitas, tobas y conglomerados laháricos. (MAGA, 2001)

2.2.2.8 Régimen de propiedad / Tenencia de la tierra

En Guatemala según Merlet (2011) en sus acontecimientos históricos la tenencia y repartición de la tierra han sido de una forma no muy democrática y priorizando siempre la repartición de forma latifundista y siempre favoreciendo a ciertos grupos o poderes económicos estatales. El área de estudio del bosque natural de volcán Santo Tomás Pecul, tienen un régimen de propiedad es municipal del municipio de Nahualá, Sololá. Por lo tanto la falta de control y manejo de estas tierras por parte de actores institucionales, ha dado cabida a que la tenencia en la actualidad sea de forma comunitaria, siendo estos actores locales los que tienen un tipo de control y manejo comunitario sobre la forma de aprovechamiento de los recursos naturales de forma racional y en alguna ocasiones de forma descontrolada lo que provoca una fuerte degradación sobre la flora y fauna local.

2.2.2.9 Biodiversidad

En los cuadros 22 y 23 se presenta, el listado de las principales especies de flora y fauna local, los cuales indican una alta biodiversidad de especies ya que la mayor parte de ellas se encuentran en peligro de extinción o de alto riesgo, por lo que mayor parte de la flora y fauna se encuentra en un rango altitudinal 1,600 m s.n.m a 2,800 m s.n.m, el cual es un ecotono subtropical y se encuentran en un bosque mixto de transición lo que la hace una zona de alta biodiversidad.

A. Flora

Cuadro 22. Listado de las principales especies arbóreas identificadas por comunitarios.

No	Nombre Común	Nombre Científico
1	Chalum Negro	<i>Gliricidia sepium</i>
2	Cafeton	X
3	Caspirol	<i>Inga laurina (Sw.) Willd.</i>
4	Palo Negro	<i>Vatairea lundellii (Standley) Killip</i>
5	Palo Blanco	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>
6	Canoj Blanco	<i>Ocotea spp</i>
7	Canoj Negro	<i>Ocotea spp</i>
8	Cedro	<i>Cedrela odorata. L</i>
9	Marumba	X
10	Capulín	<i>Prunus salicifolia. K</i>
12	Ciprés	<i>Cupressus lusitánica Mill</i>
13	Ramón Blanco	<i>Brosimum alicastrum Sw</i>
14	Ramón negro	X
15	Volador	<i>Terminalia Oblonga Steud</i>
16	Chonte	<i>Zanthoxylum spp</i>
17	Pino candelillo	<i>Pinus maximinoi H.E Moore</i>
18	Pinabete	<i>Abies guatemalensis Rehder</i>

B. Fauna

Cuadro 23. Listado de las principales especies de fauna identificadas por comunitarios.

No.	Nombre Común	Nombre Científico
1	Venado	<i>Odocoileus virginianus</i>
2	Ardilla	<i>Sciurus vulgaris</i>
3	Pizote	<i>Nasua Narica</i>
4	Mono	<i>Ateles geoffroyi</i>
5	Mapache	<i>Procyon lotor</i>
6	Pajuil	<i>Penelopina nigra</i>
7	Ixcayaj	X
8	Ixcaman	X
9	Chacha	<i>Ortalis vetula</i>
10	Uraca	<i>Pica</i>
11	Quetzal	<i>Pharomachrus mocinno</i>
12	Gato monte	<i>Urocyon cinereorgenteus</i>
13	Coyote	<i>Canis latrans</i>
14	Coche monte	<i>Tayassu tajacu</i>
15	Micoleón	<i>Potos flavus</i>
16	Oso Hormiguero	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>
17	Jaguar	<i>Pantera onca</i>
18	Tigrillo	<i>Leoperdus Pardilis</i>
19	Saraguate	<i>Alouatta palliata</i>
20	Puma	<i>Puma conclor</i>
21	Tepezcuintle	<i>Cuniculus paca</i>
22	Armadillo	<i>Dasypodidae</i>
23	Faisanes	<i>Crax rubra</i>

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo General

Evaluar los regímenes de fuego en el ecosistema forestal del Volcán Santo Tomas Pecul, Nahualá, Sololá, con la finalidad de proponer régimen ecológicamente sostenible que sirvan para el manejo del bosque.

2.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar y caracterizar las diferentes áreas en los ecosistemas forestales, según episodios de fuego ocurridos.
2. Elaborar modelos de sucesión vegetativa para su regeneración en base a patrones de regímenes de fuego.
3. Cuantificar el volumen de combustible en cada ecosistema forestal a partir de cada episodio de fuego ocurrido.
4. Identificar el riesgo de las áreas a incendios en el volcán Santo Tomas Pecul.

2.4 METODOLOGÍA

La metodología siguiente describe la serie de procesos lógicos y sistematizados para darle respuesta a los objetivos propuestos en esta investigación con la finalidad de determinar la influencia de los regímenes de fuego en el bosque natural a partir del rol del fuego con la vegetación, su impacto e influencia en ecosistemas forestales y procesos de sucesión vegetativa en los mismos, a continuación los procesos que se llevaron a cabo en la realización de esta investigación.

2.4.1 Área de estudio

El área de estudio donde se realizó la investigación en el Bosque natural del volcán Santo Tomas Pécul, Municipio de Nahualá, Sololá. Cuenta con un rango altitudinal entre los 3,100 a 3,552 msnm, con una temperatura media entre un rango 8 °C a 12 °C y una precipitación promedio entre los 1800 mm a 3000 mm anuales. (MAGA, 2013).

En base a los ecosistemas forestales encontramos una dominancia de las especies forestales *Pinus hartwegii* Lindl, *Alnus acuminata* Kunt in Humb, *Abies Guatemalesis* Rehder, *Arbutus xalapensis* y *Buddleia sp.*

Las principales acciones negativas por parte del factor antropogénico sobre el ecosistema forestal son las siguientes: la tala inmoderada, caza y extracción de flora, el avance de la frontera agrícola. Dichas acciones han modificado o incentivado los incendios forestales. Las comunidades aledañas al bosque natural

caseríos de Pasac, Pacanal I, Pacanal II, Chuituj y Pasaquijuyup de la aldea Xejuyup en el municipio de Nahualá, en el departamento de Sololá.

2.4.2 Métodos de muestro

El método de muestreo que se implemento es un muestreo preferencial – sistemático, ya que las zonas de muestreo se basaron a los criterios de selección preferencial, según los siguientes criterios:

- Base de datos de incendios forestales en el departamento de Sololá para el periodo de los años 2,000 a 2,016, del Departamento de Protección Forestal del Instituto Nacional de Bosques INAB.
- Identificación de punto de calor por medio del Software (en línea) del Sistema de alerta de incendios forestales de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad del México. Disponible en línea en: <http://incendios1.conabio.gob.mx/>.
- Uso de material cartográfico para identificación de zonas de incendios por medio de la percepción de los Guarda Recursos de las comunidades de Pasac y Chirijcalbal del municipio de Nahualá, Sololá y por parte de los técnicos de la Oficina de Áreas Protegidas Municipales, del Municipio de Zunil, Quetzaltenango.

Por lo tanto para el levantamiento o toma de datos por medio de las unidades de muestreo se utilizó la metodología de transectos altitudinales, los cuales tuvieron una distancia total de 300 m, y en intervalos de cada 100 m se hizo un levantamiento de datos por medio de la unidad de muestreo.

2.4.3 Unidades de muestreo

Para las unidades de muestreo se realizó un levantamiento de parcelas con una totalidad 15 parcelas, las cuales se distribuyeron por medios de las áreas de ecosistemas forestales a muestrear, se realizó el número de parcelas indicado por los factores de dificultad de acceso a unas áreas, carencia de personal local y la falta de recursos económicos para dicho levantamiento. Con este número de parcelas se dio a conocer por medio de un análisis descriptivo de las condiciones por cada ecosistema forestal. En el cuadro 24 y la figura 19 se presenta las parcelas de evaluación y sus características de forma, tamaño y el posicionamiento.

Cuadro 24. Unidades de muestreo evaluadas en el bosque natural del Volcán Santo Tomas Pecul.

No	Código Parcela	Coordenadas		Altitud (msnm)
		Latitud	Longitud	
1	A1P1	14.709042	-91.477452	2248.88
2	A1P2	14.709474	-91.477076	3499.46
3	A1P3	14.709792	-91.477897	3447.66
4	A2P1	14.710005	-91.478665	3593.40
5	A2P2	14.709661	-91.478471	3536.87
6	A2P3	14.711673	-91.478831	3533.52
7	A3P1	14.710976	-91.478796	3573.31
8	A3P2	14.710834	-91.478867	3527.38
9	A3P3	14.716747	-91.482232	3114.19
10	A4P1	14.717214	-91.481579	3075.30
11	A4P2	14.731705	-91.468744	3113.00
12	A4P3	14.728137	-91.469786	3258.00
13	A5P1	14.724998	-91.470677	3285.00
14	A5P2	14.724214	-91.47149	3289.00
15	A6P1	14.723804	-91.471973	3285.00

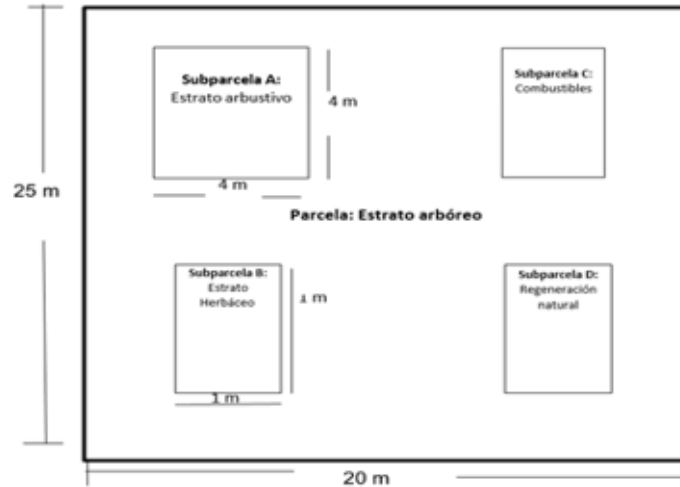


Figura 19. Forma y tamaño de las unidades de muestreo para los ecosistemas del volcán Santo Tomas Pecul.

2.4.4 Identificación de los ecosistemas forestales

Para la identificación de los ecosistemas forestales del volcán según episodios de fuego ocurridos, se utilizaron las siguientes fuentes:

- Base de datos de incendios forestales en el departamento de Sololá para el periodo de los años 2,000 a 2,016, del Departamento de Protección Forestal del Instituto Nacional de Bosques INAB.
- Identificación de punto de calor por medio del Software (en línea) del Sistema de alerta de incendios forestales de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad del México. Disponible en línea en: <http://incendios1.conabio.gob.mx/>.

- Uso de material cartográfico para identificación de zonas de incendios por medio de la percepción de los Guarda Recursos de las comunidades de Pasac y Chirijcalbal del municipio de Nahualá, Sololá y por parte de los técnicos de la Oficina de Áreas Protegidas Municipales, del Municipio de Zunil, Quetzaltenango.

Por medio de estas fuentes se identificaron los siguientes episodios de fuego ocurridos en el volcán Santo Tomás Pecul.

Cuadro 25. Episodios de fuego ocurridos en el bosque natural del Volcán Santo Tomas Pecul.

No	Año	Geográficas		Inicio Incendio	Incendio Extinguido	Causa Principal
		Latitud	Longitud			
1	2001	14° 42" 27'	91° 28" 24'	31/01/2001	3/02/2001	Fogata
2	2007	14° 42" 1'	91° 28" 19'	26/12/2007	5/01/2008	Fuegos Pirotécnicos
3	2009	14° 44" 9'	91° 8" 35'	7/12/2009	26/04/2009	Causas Desconocidas
4	2015	14° 41" 26'	91° 29" 9'	5/01/2015	16/01/2015	Causas Desconocidas

Fuente: Base de datos de incendios forestales de Departamento de Sololá, de periodo del 2001 a 2015, INAB-SIPECIF.

Según la clasificación se priorizaron seis ecosistemas forestales según episodios de fuego, los cuales son nombrados en relación a las especies arbóreas características del ecosistema, como también a nombres propios utilizados por las comunidades. Siendo los siguientes sitios:

- Sitio Los Pinos
- Sitio Centro Ceremonial Pecul
- Sitio Los Pinos – Aliso
- Sitio Los Pinabetes
- Sitio Los Cipresales

- Sitio La Loma de Caballo

Los cuales ocupan un área de 392.48 ha, la cual fue estimada por medio del SIG, ArcGis versión 10.3, con el cual fue realizado un mapa de ubicación a una escala de detalle de 1:15,000 de los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomas. Ver resultados.

2.4.4.1 Características dasonométricas de los ecosistemas forestales

Para la estimación las características dasonométricas del estrato arboreo se realizó el levantamiento de 16 parcelas de 500 m² (25 m X 20 m) en las cuales se tomaron a nivel de campo en las cuales se tomaron las siguientes variables

- **Diámetro a la altura del pecho (DAP):** el DAP se obtuvo de la medición del diámetro del fuste a 1.30 m de altura de la base, para el cual se utilizó una cinta Diamétrica (dimensional cm)
- **Altura total de los árboles:** esta variable se obtuvo por medio de un hipsómetro, en el cual se tomó la altura total de los ejemplares arbóreos (de la base del fuste hasta la última ramificación), esta variable obtuvo con una dimensional en metros (m).
- **Grosor de corteza,** para la medición del grosor de corteza se utilizó un medidor de corteza tipo martillo, dicha medición se realizó en ambas caras del fuste del ejemplar al 1.30 m de la altura de la base.
- **Evidencia de daño por incendios forestales,** esta variable cualitativa se identificó por la presencia de daño o residuos de quema (fuste carbonizado)

en los individuos, por lo que se midió la altura de la misma con la finalidad de conocer la intensidad del incendio. La variable utilizada en metros (m).

- **Condición silvicultural de los individuos**, esta variable cualitativa de cada sitio indicó la condición silvicultural que encuentra cada ejemplar arbóreo, la clasificación es dominante, codominante y oprimido, esto se condicionó en base al ejemplar con mayor altura siendo el dominante.

- **Número total de especies y visualización de sanidad**, se realizó un conteo de las especies presentes en la unidad de muestreo, como también se observó el estado fitosanitario en donde se determinó la existencia de daño provocado por agentes patógenos (plagas y enfermedades).

2.4.4.2 Variables dasonométricas

En base a la información obtenida en campo se realizó una base de datos en el programa Excel, 2,013. Para la digitalización de los datos, luego se estimaron las variables Dasonométricas de frecuencia, área basal (m^2/ha) y volumen (m^3/ha). Para las cuales se utilizaron las siguientes ecuaciones propuestas por Méndez (2011) en el “Manual de Laboratorio del curso de Mediciones Forestales” de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual expone las siguientes ecuaciones:

- Ecuación para el volumen árbol en pie:

$$\text{Volumen árbol} = 0.7854 \times Dap^2 \times \text{Altura} \times \text{Factor de forma}$$

En donde: 0.7854 es una constante.

Volumen del árbol= m^3 .

Dap= Diámetro a la altura del pecho (m).

Altura= hace referencia a la altura total del árbol (m).

Factor de Forma: Valor teórico 0.45 para especies de coníferas y 0.66 para árboles de hoja ancha.

– Ecuación para el Área basal:

$$\text{Área Basal} = \text{Dap medio}^2 \times 0.7854 \times \text{densidad}$$

$$\text{Dap medio} = \text{raíz cuadrada de } A. \text{ Basal} / (0.7854 \times \text{densidad})$$

En donde: 0.7854 valor constante

Área basal: m²/ha

Dap medio: diámetro a la altura del pecho (m)

Densidad: número de árboles/ha

– La frecuencia: hace relación a la densidad de los arboles por hectárea.

2.4.4.3 Características biofísicas de los ecosistemas forestales

Se tomaron las siguientes características biofísicas en cada una de la unidades de muestreo: temperatura (°C), pendiente (%), exposición, pH del suelo, textura del suelo, profundidad efectiva (cm), mantillo (cm), velocidad del viento (km/h), las coordenadas y la altitud.

– Para la obtención de las variables de temperatura (°C), la velocidad del viento (km / h) se utilizó un medidor tipo Kestrel 1,200, el cual es un medidor portátil de variables ambientales.

- Las coordenadas de ubicación, la altitud (m s.n.m) y la exposición se utilizó un navegador marca Garmin 64sx con (3 m de error), la exposición se utilizó la brújula para conocer la exposición de las unidades de muestreo con respecto a la trayectoria del sol.
- La textura del suelo, pH, profundidad efectiva del suelo, se utilizó el archivo Shapefile, de la base de datos del Estudio Semidetallado de Suelos del departamento de Sololá, elaborado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA, en el año 2013.

2.4.4.4 Ecología del fuego de los ecosistemas forestales

Según el autor Myers (2006), se utilizaron los criterios de clasificación de ecosistemas, los cuales se basan en la vegetación dominante y el tipo de bosque, por lo que se aplicó este método de clasificación, ya que es la única clasificación de ecosistemas a partir de la ecología del fuego de las especies. El cual indica las siguientes clasificaciones de ecosistemas según su ecología del fuego:

- **Ecosistemas dependientes del Fuego:** Son ecosistemas donde la aparición del fuego es esencial y las especies presentes han desarrollado adaptaciones para responder positivamente al fuego y así facilitar su propagación vegetativa por medio del incremento de la regeneración natural, por lo tanto, son ecosistemas de vegetación inflamable y propensa al fuego.
- **Ecosistemas independientes del fuego (E.I.F):** Son aquellos en los que el fuego juega un papel muy pequeño o nulo, son por lo general bosques con temperaturas frías, muy húmedos o extremo seco para quemarse.

En estos ecosistemas el fuego se convierte en una amenaza solamente si hay cambios significativos sobre los ecosistemas como el cambio del uso del fuego, especies invasoras y cambio climático.

- **Ecosistemas sensibles al fuego (E.S.F):** Son aquellos en donde el fuego no se ha desarrollado como un proceso importante y recurrente, están formados en su estructura y composición vegetal, carecen de adaptaciones en respuesta a los incendios, no son muy inflamables bajo condiciones naturales y sin perturbaciones. Como también son áreas que incendios de alta o baja intensidad provocan una alta mortalidad.
- **Ecosistemas influidos por el fuego (E.In.F):** Son aquellos que se encuentran en la transición entre ecosistemas dependientes y sensibles o independientes al fuego, los cuales pueden incluir tipos de vegetación más amplias en las cuales las respuestas al fuego no han sido evidenciadas. En general son ecosistemas sensibles al fuego pero en su composición vegetal existen especies que puede responder de forma positiva a las perturbaciones provocadas por la presencia del fuego.

Por lo que se obtuvo una clasificación para el bosque natural del volcán Santo Tomas, por medio de revisión bibliográfica del comportamiento de las especies en cada ecosistemas evaluado, junto a ello se realizó un mapa de los ecosistemas en función a su ecología del fuego del bosque natural(ver resultados).

2.4.4.5 Regeneración natural

Para la estimación de la regeneración natural se estableció en la unidad de muestreo una subparcela de 1 m², en la cual se hizo un conteo de la regeneración de las especies forestales, como también la toma de los datos de altura total (m) para la cual se utilizó una cinta métrica, densidad hace referencia al número de individuo en la unidad de muestreo y el diámetro del tallo de cada individuo. Luego se hizo la estimación en base a la densidad por área, para hacer una estimación del valor de plántulas / ha.

2.4.5 Estructura florística en el bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul

Para la cuantificación de la estructura florística de los ecosistemas forestales presentes en el bosque natural, se evaluaron los estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos, según la unidad de muestreo, para el sitio arbóreo se explica unos de los incisos anteriores, mientras tanto para los estratos restantes se implementó lo siguiente.

2.4.5.1 Estrato arbustivo

Para la caracterización del estrato arbustivo se determinó por medio de las siguientes variables, las cuales fueron obtenidas en una subparcela de 16 m² (4 m x 4 m):

- **La altura media del estrato**, se realizó una medición de altura de los individuos por medio de una cinta métrica, en el cual se determinó el estado de la estructura del estrato y su importancia en un evento en relación a un incendio forestal.

- **Número de individuos**, su distribución, para esta variable se realizó un conteo de los individuos del estrato y su distribución en las clases de dispersos, muy dispersos.

2.4.5.2 Estrato herbáceo

Para la caracterización del estrato herbáceo en las unidades de muestreo se determinaron las siguientes variables:

- **Número de individuos**, se realizó un conteo del total de los individuos en un área de 1m², con el fin de proyectar los datos de cobertura al área total ocupada por especies herbáceas por el ecosistema forestal a evaluar.
- **Altura media del estrato**, se realizó una medición de altura de los individuos por medio de una cinta métrica, con el cual se observó el estado y su importancia en la dinámica del fuego como fuente de ignición de un incendio forestal.

2.4.5.3 Colecta y secado de la muestras vegetales

El material vegetal fue colectado en las parcelas de unidades en el bosque natural bajo estudio, por cada muestra del material vegetal se colectaron dos especímenes por cada individuo muestreado, por requerimientos de determinación cada espécimen tuvo las dimensiones de 50 cm de altura por 30 cm de ancho.

Su colecta a nivel de campo se visualizó especímenes con estructuras reproductivas, los cuales fueron colocados en una prensa botánica para el transporte a nivel de campo.

Posteriormente se les realizó un curado de los especímenes con alcohol al 95 %, y puesto a secar por 48 h a 70 °C. En almacenamiento y protección de los mismos se utilizó la prensa botánica.

2.4.5.4 Determinación botánica de las especies vegetales

Las muestras de los especímenes colectadas en campo fueron llevadas al herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala – AGUAT- José Ernesto Carrillo para su determinación botánica, en el cual se utilizó como documento principal la Flora de Guatemala (Standley y Steyermark 1,958) y monografías específicas para especies con cambio de estatus taxonómico.

Luego fueron corroborados y actualizados los nombres científicos en la base de dato de The Plant List.

2.4.5.5 Composición florística del volcán Santo Tomas Pecul

Para el análisis de la composición florística de las especies vegetales, se realizó por medio de un análisis de conglomerados, la cual es una técnica multivariable que busca agrupar variables tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo o ecosistema evaluado (Terrádez, 2,001), se utilizó la técnica de conglomerados para ver la similitud entre las 15 parcelas que fueron levantadas en todos los sitios evaluado del bosque natural del volcán. Para la medición de la similitud se utilizó una matriz de presencia – ausencia de las especies vegetales en cada parcela de estudio. Para la presentación de los valores se utilizó el Software Past v.3.1, en el cual se realizó de forma gráfica los hemogramas para conocer la distancia de los sitios evaluados en base a la matriz de presencia y ausencia de la especies por cada sitio.

2.4.5.6 Índice de valor de importancia de Cottan

El valor de importancia define cuales de las especies presentes contribuyen en el carácter estructura de un ecosistema, el cual se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, densidad relativa y la dominancia relativa. (Campo et al, 2014).

Para su estimación Campo et al, (2014), utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia de la sp} \times 100}{\text{Frecuencia de todas las spp}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Núm. de individuos de la especie} \times 100}{\text{Núm. total de individuos}}$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia de la sp} \times 100}{\text{Dominancia de todas las spp}}$$

2.4.5.7 Diversidad alfa (α)

Para cuantificar la diversidad de un ecosistema a nivel de especies se estimaron los índices de dominancia de Simpson y los índices de equidad de Shannon – Wiener y Pielou (J')

Para la estimación del índice de dominancia de Simpson se empleó la siguiente ecuación:

$$Si_D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2 = 1 - D_{sr}$$

En donde:

P_i = abundancia proporcional de la i ésima especie; representando la probabilidad de la especie i este en la muestra, siendo la sumatoria de p_i igual a 1.

Para los índices de equidad se estimó el índice de Shannon – Wiener con la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

En donde:

H' = Índice de Shannon - Wiener

$P_i = n_i / N$

P_i = abundancia

n_i = frecuencia de especies

N = número total de individuos

Estimación del índice de Pielou, el cual mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima esperada, es cual se expresa en la siguiente ecuación

En donde:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

J' = Índice de Pielou

H' = índice de Shannon

H_{max} = máximo valor del índice de Shannon

2.4.5.8 Diversidad beta

La diversidad beta hace referencia a la diversidad entre hábitats, la cual fue estimada por medio del índice de similitud/disimilitud de Sorensen, el cual se calculó en base a la siguiente ecuación.

$$CCs = \frac{2c}{s_1+s_2}$$

En donde:

CCs = Coeficiente de similitud de Sorensen

C = número de especies comunes entre dos sitios de muestreo

S_1 y S_2 = es número de especies totales en las comunidades 1 y 2

Los estimadores e índices de diversidad, fueron obtenidos del libro "Métodos para medir la biodiversidad" (Moreno C. , 2001)

La otra técnica aplicada para la observación de la composición y estructura de la vegetación son los perfiles idealizados de vegetación, los cuales se realizaron por cada sitio encontrado, este consiste en plasmar de forma ilustrada la conformación florística en dos planos dimensionales.

2.4.5.9 Modelo de sucesión vegetativa

El modelo de sucesión vegetativa para los ecosistemas forestales en base al régimen de fuego ocurrido, se empleó la técnica de Side by Side (Mueller – Dombios y Ellenger 1,974). La cual crea estados sucesionales en base a la composición de la estructura vegetal de cada sitio. Los cuales se describen a continuación:

- Estadio 1: Se describe con áreas abiertas degradadas y/o con pastos o vegetación herbácea, cubiertas por gramíneas perennes, especies anuales y efímeras (edad 5 - 8 años).
- Estadio 2: Se describe con áreas con hierbas y arbustos, formados por espacios muy abiertos donde crecen arbustos como *Baccharis spp*, *Salvia sp*, *Stevia sp*, *Festuca sp* y otras, además presencia de herbáceas (edad 8 a 15 años).
- Estadio 3: áreas con arbustos y árboles, son lugares con arbustos desarrollados y se nota la presencia de alguno árboles jóvenes, la presencia de algunas especie árboles de *Alnus sp*, Ciprés (*Cupressus lusitánica* Mill.), *Quercus sp.* y *Pinus sp.* con edad 15 a 30 años. Son áreas que en función a la clase de desarrollo de las especies arbóreas crean fragmentación de árboles aislados lo que incentiva la regeneración natural.
- Estadio 4: Son áreas con árboles de otras especies forestales dominando sobre las especies originarias al tipo de bosque, en bosques de Pinabete se localizan adyacentes a los parches de esta especie. También puede darse el caso de áreas donde quedaron aboles aislados de las especies originales. En este estudio este estado de sucesión es provocado por el impacto directo del régimen de fuego ocasionado por los incendios forestales. (edad 30 a 80 años).
- Estadio 5: Bosque maduro con dominancia de las especies de árboles de *Pinus sp*, *Alnus sp*, Ciprés (*Cupressus lusitánica*) y *Abies guatemalensis*. Son

áreas donde no ha ocurrido ningún tipo de perturbación por el efecto del fuego. (edad > 50 años).

En base a esta clasificación se elaboró un esquema de sucesión vegetal para cada uno de los sitios evaluados, en función de los regímenes de fuego ocurridos en el bosque natural. Con la finalidad de establecer un régimen adecuado que promueva la sostenibilidad ecológica del bosque.

2.4.6 Cuantificación de combustibles forestales

Para la cuantificación de combustibles se utilizó la metodología propuesta por Chávez et al (2,011) en su publicación "Sistema para el Cálculo de Combustibles forestales (SICCO)" para el cual se estima la carga de combustibles leñosos por tiempo de retardo (1h, 10 h, 100 h y 1000 h) y no leñosos, expresados en T/ha. En el estudio se aplicó esta técnica para la obtención de los valores de carga por medio de las siguientes ecuaciones:

Para los combustibles leñosos por su tiempo de retardo (1 h, 10 h, 100 h, 1000 h) se implementaron las siguientes ecuaciones:

Corrección de la pendiente:

$$c = \sqrt{1 + \left(\frac{\text{Pendiente}(\%)}{100} \right)^2} \dots$$

En donde:

C = Factor de corrección por pendiente

Pendiente (%) = es el valor del porcentaje de la pendiente media del sitio.

Estimación de cargas de combustibles de 1 h:

$$1hr = \frac{11.64 * n * d^2 * s * a * c}{NI * (C_1)} * (C_2) \dots$$

En donde:

n= número de intersecciones

d = Constante compuesta para diversos tipos de vegetación (0.0151)

s = Gravedad específica para combustibles inferiores a 0.6 cm de diámetro (0.48).

a = Factor de corrección por ángulos horizontal para combustibles (1.13)

c = factor de corrección por pendiente

NI = Longitud del transecto.

C₁ = Constante de conversión de metros a pies 3.2808.

C₂ = Constante para conversión de T/acre a T/ha. 2.47105.

Para estimar la carga para combustibles de 10 h.

$$10hr = \frac{11.64 * n * d^2 * s * a * c}{NI * (C_1)} * (C_2) \dots$$

En donde:

10 h = Combustible de 10 h en T/ha

11.64 = Constante

n= número de intersecciones

d = Constante compuesta para diversos tipos de vegetación (0.289)

s = Gravedad específica para combustibles inferiores a 0.6 cm de diámetro (0.48).

a = Factor de corrección por ángulos horizontal para combustibles (1.13)

c = factor de corrección por pendiente

NI = Longitud del transecto.

C_1 = Constante de conversión de metros a pies 3.2808.

C_2 = Constante para conversión de T/acre a T/ha. 2.47105.

Para estimar la carga de combustibles de 100 h.

$$100hr = \frac{11.64 * n * d^2 * s * a * c}{Nl * (C_1)} * (C_2)$$

En donde:

100 h = Combustible de 100 horas en T/ha

11.64 = Constante

n = número de intersecciones

d = Constante compuesta para diversos tipos de vegetación (2.76)

s = Gravedad específica para combustibles inferiores a 0.6 cm de diámetro (0.40).

a = Factor de corrección por ángulos horizontal para combustibles (1.13)

c = factor de corrección por pendiente

NI = Longitud del transecto.

C_1 = Constante de conversión de metros a pies 3.2808.

C_2 = Constante para conversión de T/acre a T/ha. 2.47105.

Para estimar la carga de 1000 h.

$$1000hrF = \frac{11.64 * (\sum d^2 * C_3) * s * a * c}{Nl * (C_1)} * (C_2)$$

En donde:

1000 h = Combustible de 1000 horas en T/ha

11.64 = Constante

n = número de intersecciones

Σd^2 = Sumatoria de diámetros de combustibles encontrados

s = Gravedad específica para combustibles inferiores a 0.6 cm de diámetro (0.40).

a = Factor de corrección por ángulos horizontal para combustibles (1.13)

c = factor de corrección por pendiente

NI = Longitud del transecto.

C₁ = Constante de conversión de metros a pies 3.2808.

C₂ = Constante para conversión de T/acre a T/ha. 2.47105.

C₃ = Constante para la conversión de pulgadas (0.3937)

Estimación de la carga de los materiales no leñosos tales como la carga de hojarasca y la carga de la capa de fermentación. Para la estimación de las mismas se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Estimación de carga de hojarasca:

En donde:

$$Pch = \bar{X} \frac{x \cdot C_3}{C_4} \dots$$

Pch = peso del combustible de hojarasca en T/ha.

X = promedio de peso de los transectos

x = Peso seco de la mismas (existencia de valores teóricos)

C₃ = Constante 10,000

C₄ = constante 9, 000

Estimación de carga de la capa de fermentación:

En donde:

$$Pcf = \bar{X} \frac{x \cdot C_3}{C_4}$$

Pcf = peso del combustible en fermentación en T/ha.

X = promedio de peso de los transectos

x = Peso seco de la mismas (existencia de valores teóricos)

C₃ = Constante 10,000

C₄ = constante 9, 000

2.4.7 Identificación del riesgo de las áreas a incendios forestales

Para la identificación del riesgo de los ecosistemas presentes en el Cerro Pecul, se aplicó en base a la metodología del libro “Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgo a incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.00” consultado en (IDEAM, 2011). Para el cual se utilizaron los parámetros de los índices por los siguientes riesgos (figura 20). Dichos parámetros fueron evaluados en cada uno de los ecosistemas identificados. Por lo tanto el resultado obtenido en cada parámetro de riesgo fue presentado de forma gráfica en un mapa de zonas de riesgo a incendios forestales, dicho mapa se elaboró a una escala de trabajo 1:15,000, para su mejor detalle y utilidad como herramienta.

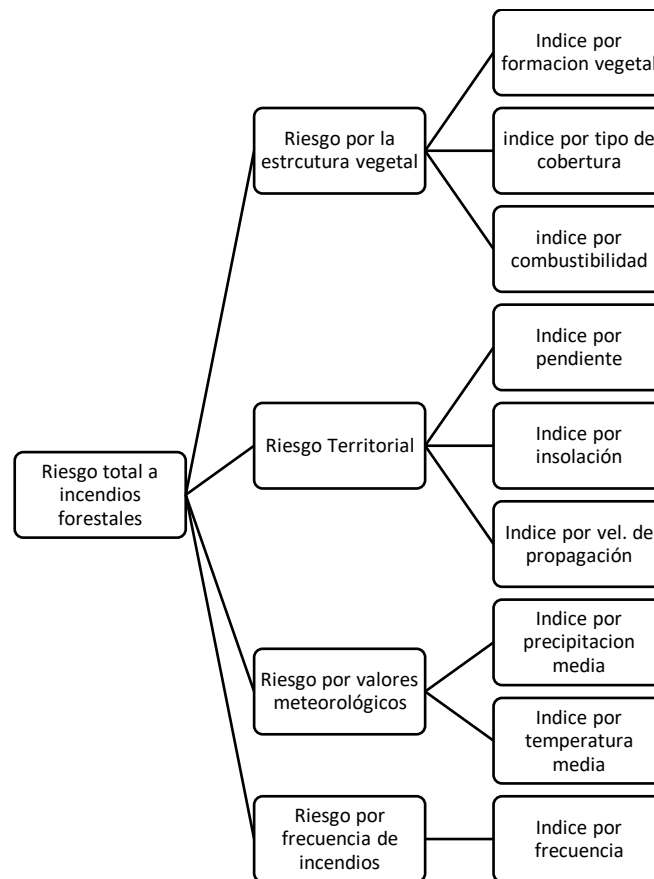



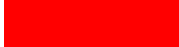


Figura 20. Esquema de los índices de riesgo evaluados para la estimación total de riesgo de los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomas Pecul ante incendios forestales.

La ponderación que se utilizó para los parámetros de riesgo utilizados para cada índice, son los siguientes:

Valor	Parámetro	Coloración
1	Bajo	
2	Moderado	
3	Alto	
4	Muy Alto	

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Identificación de los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul según episodios de fuego ocurridos

Los incendios forestales, son sucesos modificantes de la estructura y la composición vegetal en un bosque, ya que el fuego tiene un impacto directo sobre las estructuras anatómicas y morfológicas de las especies de los distintos estratos en una comunidad vegetal, por lo que la finalidad de la identificación de los distintos ecosistemas forestales en el bosque natural del volcán Santo Tomás Pecul, indica las características ecológicas actuales en base a las especies del estrato superior (arbóreo).

Como también en función al contexto ecológico, la identificación de estos ecosistemas en función a episodios de fuego ocurridos, desde la perspectiva de alteración permite la zonificación de ecosistemas dependientes del fuego, independientes del fuego y sensibles al fuego. Estas tres categorías se ven directamente influenciadas por la identificación de un régimen de fuego “ecológicamente aceptable” (Conservancy, 2004), este tipo de régimen hace referencia a la frecuencia, severidad, estacionalidad y fuente de un episodio de fuego que sea benéfico en un ecosistema forestal, tanto que no provoque una alta alteración negativa en las especies de flora y fauna.

Por lo tanto en el bosque natural del volcán, se han ocurrido cuatro sucesos de episodios de fuego (incendios forestales), cuadro 10, los cuales tienen un impacto ecológico directo sobre la vegetación forestal de dicho bosque, en el siguiente cuadro se detalla los principales episodios de fuego ocurridos en el bosque.

Cuadro 26. Episodios de fuego ocurridos en el bosque natural del volcán Santo Tomas.

No	Año	Geográficas		Inicio Incendio	Incendio Extinguido	Causa Principal
		Latitud	Longitud			
1	2001	14° 42" 27'	91° 28" 24'	31/01/2001	3/02/2001	Fogata
2	2007	14° 42" 1'	91° 28" 19'	26/12/2007	5/01/2008	Fuegos Pirotecnicos
3	2009	14° 44" 9'	91° 8" 35'	7/12/2009	26/04/2009	Causas Desconocidas
4	2015	14° 41" 26'	91° 29" 9'	5/01/2015	16/01/2015	Causas Desconocidas

Fuente: Base de datos de incendios forestales de Departamento de Sololá, de periodo del 2001 a 2015, INAB-SIPECIF.

Según el cuadro 26, indica las características de la ubicación de los principales incendios forestales ocurridos en el volcán Santo Tomas Pecul, como también la fecha de inicio y extinción de los mismos, esto como parte de la estacionalidad en la ocurrencia, indicando que la época de incendios forestales en el bosque es entre los meses de diciembre a abril, otra de la información recopilada son las principales causas de inicios de los incendios siendo estas en su mayoría producidas por actividades directamente vinculadas como causa principal por acciones antropogénicas (cazadores, leñadores o turistas) en la zona, esto a nivel nacional es la principal causa de los incendios forestales. En Guatemala 99 % de las igniciones de los incendios forestales son provocados por el hombre contra 1 % provocado por causas naturales (actividad eléctrica) (Romero, 2002).

Los incendios forestales se ven influenciados por factores climáticos, siendo estos de alto interés por su falta de control o manejo de los mismos, entre los principales factores climáticos se hace mención de la temperatura, la humedad relativa, velocidad y dirección del tiempo. (Conservancy, 2004). En el cuadro 27, se

describen los valores de los principales valores climáticos en el periodo de incendios del 2,001 a 2,015 en el bosque natural del Cerro Pecul.

Cuadro 27. Principales factores climáticos en los incendios ocurridos en el volcán Santo Tomás.

No	Año	Temp °C media	H.R %	Vel. Viento (km/h)	Dirección Viento	Área (ha)
1	2001	10	80	60	SO	50
2	2007	12	75	30	SE	20
3	2009	10	77	30	SE	400
4	2015	9	80	15	SE	60

Fuente: Base de datos de incendios forestales de Departamento de Sololá, de periodo del 2001 a 2015, INAB-SIPECIF.

Los valores de los factores ambientales fueron calculados durante el tiempo de ocurrencia del incendio forestal, siendo el incendio del año 2,009 el cual tuvo un alto impacto sobre el ecosistema, ya que tuvo una extensión de 400 ha, de bosque natural, como también una duración de alrededor de cuatro meses.

2.5.1.1 Ecosistemas forestales del volcán Santo Tomas Pecul

Se logró la clasificación de seis sitios de ecosistemas diferentes del bosque natural, los criterios de clasificación de los sitios fueron la homogeneidad de las áreas en base a la estructura arbórea por la densidad en las especies dominantes en cada uno de ellos, como también se estimó el área ocupada por cada uno de ellos en el bosque natural. En el cuadro 28 se observa la clasificación por ecosistemas forestales.

Cuadro 28. Principales Ecosistemas forestales clasificados en el volcán Santo Tomas Pecul.

No	Nombre	Área (ha)	Simbología	%
1	Sitio Los Pinos	57.96	SLP	14.77
2	Sitio Centro Ceremonial Pecul	64.51	SCCP	16.44
3	Sitio Los Pinos - Aliso	81.50	SLPA	20.77
4	Sitio Los Pinabetes	111.86	SLPI	28.50
5	Sitio Los Cipresales	54.92	SLCI	13.99
6	Sitio La Loma de Caballo	21.73	SLCA	5.53
	Total	392.48		100

El cuadro 28 indica la identificación de los principales ecosistemas clasificados en el bosque natural del volcán, como también en área total del bosque priorizado, teniendo esta un total de 392.48 ha. El ecosistema denominado Sitio los Pinabetes es el que tiene la mayor extensión del área ocupando el 28.50 % (111.86 ha) dicho sitio fue nombrado en base a la presencia de la especie arbórea de *Abies guatemalensis*, la cual es una especie indicadora de la zona de vida del bosque natural, como también se expone el ecosistema que tiene menor extensión, siendo el Sitio La Loma de Caballo, ocupando el 5.53 % (21.72 ha) es el sitio como bosque testigo ya que en él no ha sido perturbado por ningún incendio forestal, por su difícil acceso es un remanente del bosque natural del Volcán Santo Tomas Pecul.

En la figura 21 muestra de forma gráfica la ubicación de los distintos ecosistemas forestales clasificados en el bosque del volcán, en los cuales se hicieron el levantamiento de parcelas por medio de la metodología por transectos, en los cuales se identifica las distintas características en base a la ecología del fuego por cada ecosistema.

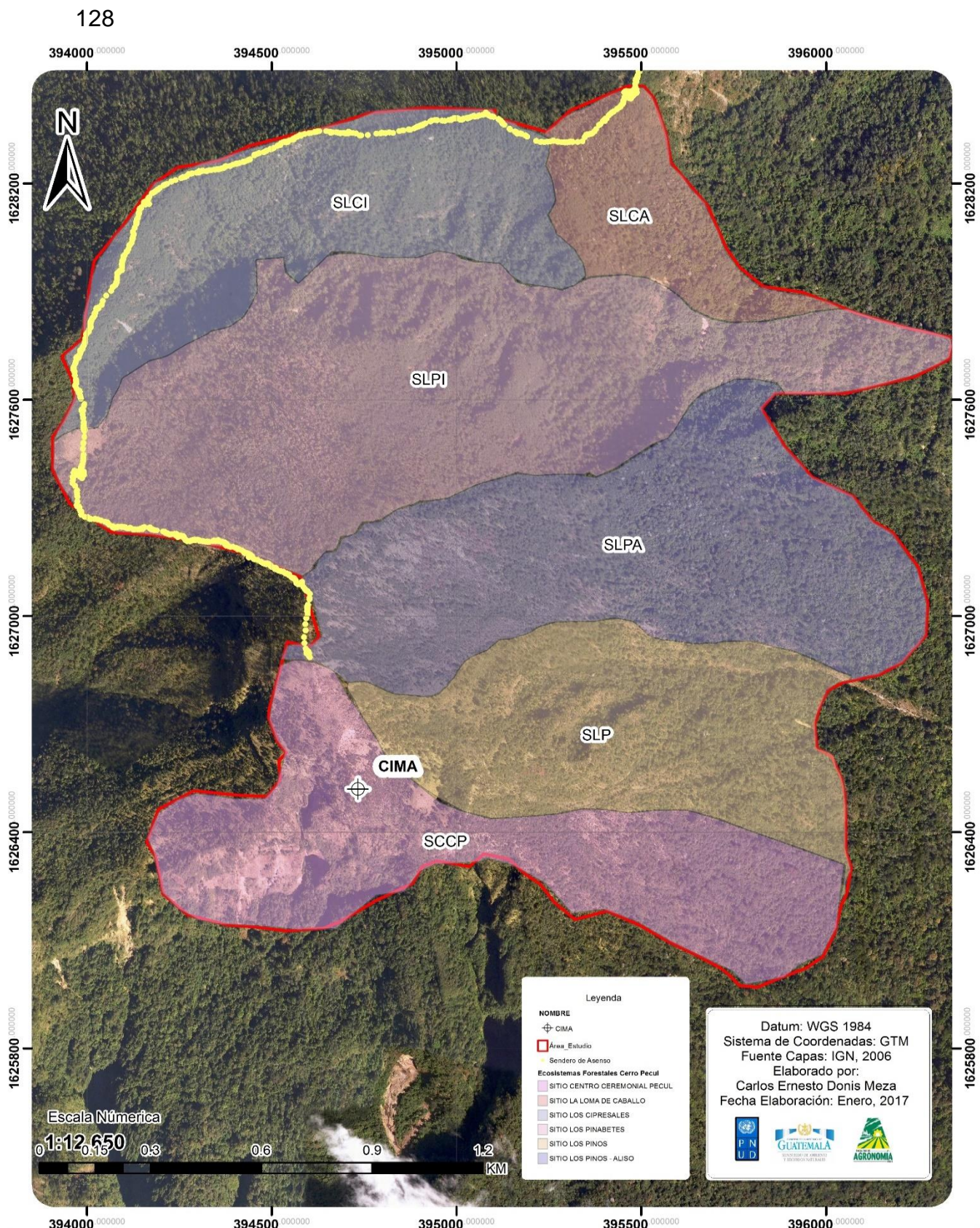


Figura 21. Mapa de ecosistemas forestales presentes volcán Sto. Tomás

2.5.1.2 Características dasonométricas de los ecosistemas forestales

Las características de los ecosistemas identificados, se ven influenciados por régimen de fuegos alterados, esto se debe a la ocurrencia y severidad de los incendios forestales. Por lo tanto los ecosistemas han sido inducidos a cambios en base a su estructura forestal por el impacto directo de los regímenes de fuegos ocurridos, los cuales a lo largo del tiempo han ido modificando en base a la estructura forestal la aparición y frecuencia de algunas especies, esto parte de los cambios no solo tanto en la vegetación sino también la incidencia de los factores edafoclimáticos y topográficos, los cuales crean condiciones adecuadas para el desarrollo ideal de ciertos organismos vegetales.

En el bosque natural del volcán Santo Tomas, se clasificaron seis ecosistemas forestales, los cuales han sido inducidos a cambios en sus estructuras vegetales a partir de los regímenes de fuego presentes en el bosque. Los ecosistemas forestales se nombraron en base a la abundancia de las especies arbóreas dominantes en cada sitio, los cuales se presentan en el cuadro 29

Cuadro 29. Nombre y simbología de los ecosistemas forestales identificados

No.	Nombre	Simbología
1	Sitio Los Pinos	SLP
2	Sitio Centro Ceremonial Pecul	SCCP
3	Sitio Los Pinos Aliso	SLPA
4	Sitio Los Pinabetes	SLPI
5	Sitio Los Cipresales	SLCI
6	Sitio La Loma de Caballo	SLCA

Los bosques identificados en los ecosistemas en el bosque natural del volcán Santo Tomás Pécul, presentan distintas características dasonométricas, las cuales se presentan en el cuadro 30.

Cuadro 30. Características dasonométricas de los ecosistemas del volcán Santo Tomás.

Sitio	F	AB m²/ha	Vol. m³/ha
Los Pinos	427	8.378	47.150
Centro Ceremonial Pecul	1207	6.601	6.708
Los Pinos - Aliso	360	12.874	70.164
Los Pinabetes	313	28.349	378.310
Los Cipresales	400	8.968	68.799
Loma de Caballo	400	68.094	966.643
Total	3107	133.264	1537.77

Referencias: F = Frecuencia, AB = área basal, Vol. = Volumen.

Los principales valores de los promedios de las características dasonométricas evaluadas son la frecuencia (número de árboles por hectárea), el área basal y el volumen estimado por cada ecosistema. Teniendo como un número promedio aproximado de 518 árboles, presentes en el bosque natural. De los cuales el ecosistema que presenta mayor cantidad de área basal y volumen de madera en el Sitio La Loma de Caballo, esto se debe a que este bosque es una porción del bosque natural que no ha sufrido ningún tipo de perturbación o incidencia de cambio en base a régimen de fuego y en él se compone un bosque sobre maduro por lo que cuentan con altos valores de diámetros y alturas lo que provoca un aumento en las características dasonométricas, ya que este sitio nunca ha sido registrado un episodio de fuego teniendo 68.094 m²/ ha de área basal y un volumen aproximado de 966.64 m³/ ha.

Cada uno de los sitios presenta distintas características dasonométricas en el estrato arbóreo, como también la formación de su estructura vegetal presenta variaciones en la conformación de distintas especies forestales. De los cuales se describen sus principales componentes por cada tipo de ecosistema.

A. Sitio Los Pinos

El sitio los pinos se caracteriza por ser unos de los ecosistemas con mejores condiciones del ecológicas ya que en él se evidencia un impacto benéfico en la masa forestal ya que lo componen ejemplares jóvenes del genero *Pinus* y es el sitio donde el rol del fuego ha incentivado un aumento de la regeneración natural ya que se evidencio distintas clases de desarrollo en la masa forestal, el cual ocupa el 14.77 % (57.96 ha). Este sitio presenta las mejores condiciones de desarrollo en base al estrato arbóreo, con un aproximado de 427 árboles por hectárea, según sus características dasonométricas tiene un total de 8.404 m² / ha de área basal y un volumen aproximado de 47.20 m³ / ha. En este ecosistema predomina la especie *Pinus hartwegii* Lindl. De la cual se estima una frecuencia de 373 individuos por hectárea y una presencia mínima de la especie *Alnus acuminata* Kunt in Humb, (cuadro 31).

Cuadro 31. Principales características dasonométricas por especie en Sitio Los Pinos.

Espece	F	AB (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	6.667	0.027	0.053
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	373.333	8.378	47.150

Entre otras de las características de este ecosistema se puede observar, que la clase diamétricas de los individuos de 10.0 cm – 19.99 cm presenta la mayor cantidad de individuos con un total de 187 individuos por hectárea, con una altura media de 8.10 m, seguida de la clase de 5.0 cm -9.99 cm de diámetro con un total de 173 individuos, lo que indica que es un bosque denso joven, con predominancia de la genero Pinus, (cuadro 32).

Cuadro 32. Distribución de los individuos por clase Diamétrica en Sitio Los Pinos.

Clase Diamétrica	Frecuencia	Altura media (m)
5.0 - 9.99	173.33	4.705
10.0 - 19.99	186.67	8.104
20 - 29.99	66.67	15.4
30 - 39.99	6.67	22
40 - 49.99	6.67	27
> 50	0	0
Total	440	77.20

B. Sitio Centro Ceremonial Pecul

El sitio Centro Ceremonial Pecul se encuentra en la cima del volcán Santo Tomas, su nombre proviene ya que existe un Centro Ceremonial Maya, el cual es visitado por los pobladores de las comunidades aledañas al volcán.

Este ecosistema ocupa 16.44 % del área del bosque del volcán Santo Tomás Pecul, teniendo una extensión de 64.5 ha, este ecosistema presento características muy distintas en comparación con el resto, entre los aspectos de la estructura de la vegetación, resulto ser un ecosistema altamente degradado, ya que en este se pudo presenciar la evidencia de una alta perdida de suelo por el contenido de material

rocoso en la superficie, el cual se vio reflejado en los valores dasonométricos del mismo, (cuadros 33 y 34).

Cuadro 33. Principales características dasonométricas por especie en Sitio Centro Ceremonial Pecul.

Espece	AB (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	6.60	6.71

Cuadro 34. Distribución de los individuos por clase Diamétrica en Sitio Centro Ceremonial Pecul.

Clase Diamétrica	Frecuencia	Altura media (m)
5.0 - 9.99	966.7	1.75
10.0 - 19.99	240	2.39
20 - 29.99	0	0

En el sitio Centro Ceremonial Pecul, según el cuadro 34 se obtuvieron las principales características, según la frecuencia indica que se cuenta con una densidad de 1,207 individuos por hectárea, los cuales tienen un área basal promedio de 6.60 m² / ha, con un volumen de 6.71 m³ / ha, la mayor parte de la población se encuentra en una altura media de 1.75 m.

La mayor parte de los individuos se clasifican en la categoría de edad de latizales altos, por lo que este ecosistema es denso de un estrato arbóreo bajo, la especie dominante es de la especie *Pino hartwegii* Lindl. Este ecosistema presenta esta limitante de crecimiento del estrato arbóreo debido a la evidente pérdida de suelo por factores erosivos (precipitación y viento), esto provocado por los episodios de fuego de alta intensidad, eliminando toda la cobertura superior dejando sin ninguna protección al suelo.

C. Sitio Los Pino – Aliso

El ecosistema Los Pinos - Aliso, su nombre proviene de las especies dominantes del estrato arbóreo son el *Pino hartwegii* Lindl. Y la especie *Alnus acuminata* Kunt in Humb. Este ecosistema ocupa el 20.77 % del área del bosque natural el cual equivale a 81.5 ha de bosque, en los siguientes cuadros se expresan las principales características dasonométricas, (cuadros 35 y 36).

Cuadro 35. Principales características dasonométricas por especie en Sitio Los Pinos – Aliso.

Espece	F	AB (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	44	2.67	47.86
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	316	10.94	70.16

Cuadro 36. Distribución de los individuos por clase Diamétrica en Sitio Los Pinos – Aliso.

Clase Diamétrica	Frecuencia	Altura media (m)
5.0 - 9.99	26.67	5.60
10.0 - 19.99	166.67	9.95
20 – 29.99	93.33	13.66
30 – 39.99	66.67	18.2
40 – 49.99	6.97	22.1
Total	360	

La densidad de este ecosistema tiene una proyección de 360 árboles por hectárea, por lo que es su comportamiento y estructura observada en campo en un bosque abierto a denso, la mayor cantidad de individuos se acumula en la segunda clase Diamétrica (10.0 cm – 19.99 cm), teniendo así una altura promedio de 9.95 m.

Este sitio se clasifico el área basal por género, el género *Alnus* con 2.67 m² / ha, de área basal y para el género *Pinus* 10.94 m² / ha, de área basal por hectárea, en cuanto en volumen para la primera tiene 47.86 m³ / ha y para el segundo 70.16 m³ / ha.

La dominancia del género *Pinus* es evidente, pero la aparición del género *Alnus* es reflejo del comportamiento de los regímenes de fuego sobre el ecosistema, ya que estos en forma en la ocurrencia de incendios provocaron espacios abiertos del dosel, dando así, la oportunidad de desarrollo de dicha especie.

Por lo tanto la diversidad florística no es similar por la dominancia de una de las especies, pero nos indica que si llegara a existir regímenes de fuego con mayores frecuencias, tendría un distinto comportamiento en la composición arbórea del sitio.

D. Sitio Los Pinabetes

El ecosistema Los Pinabetes, es un sitio de suma importancia ya que este entre su composición arbórea está compuesta por la especie *Abies guatemalensis* Rehder. El cual ocupa el 28.5 % del área total del bosque natural, equivalente a 111.86 ha. En los cuadros 37 y 38, se presentan los principales valores de las características dasonométricas.

Cuadro 37. Principales características dasonométricas por especie en Sitio Los Pinabetes.

Especie	F	AB (m²/ha)	Vol. (m³/ha)
<i>Buddleia sp.</i>	234	43.54	591.40
<i>Arbutus xalapensis</i>	33	3.54	41.96
<i>Abies guatemalensis</i> Rehder.	60	11.49	171.23

Cuadro 38. Distribución de los individuos por clase diamétrica en Sitio Los Pinabetes.

Clase Diamétrica	Frecuencia	Altura media (m)
5.0 - 9.99	26.70	6.78
10.0 - 19.99	120	9.80
20 - 29.99	86.7	12.35
30 - 39.99	26.7	14
40 - 49.99	6.7	2
➤ 50	60	35
Total	327	

Entre las principales especies encontradas son *Buddleia sp.* La cual tiene la mayor densidad de individuos con un aproximado de 234 árboles por hectárea, con una área basal de 43.54 m² / ha y un volumen aproximado de 591.40 m³ / ha, la segunda con mayor número es el *Abies guatemalensis* Rehder (Pinabete) en cual tiene una densidad de 60 individuos por hectárea, con un área basal 11.49 m² / ha y un volumen aproximado de 171.23 m³ / ha, siendo esta la de mayor importancia ecológica por su situación de especie amenazada, el Pinabete se encontró en la clase diamétricas > 50 cm de diámetro, con una altura promedio a 35 m, siendo un rodal maduro.

Por último la especie *Arbutus xalapensis* es la de menor densidad la cual presenta 33 individuos por hectárea, con una área basal de 3.54 m² / ha y un volumen de 41.96 m³ / ha.

Este ecosistema es la representación de un bosque degradado de pinabete ya que se asocia a las especies *Buddleia sp* y *Arbutus xalapensis*, Según Martínez (2,012) en estudios realizados en bosque naturales de *Abies guatemalensis Rehder*, esta son indicadoras de sucesión secundaria en bosque degradados de Pinabete, esto provocado por episodios de fuego de alta intensidad ocurridos por los distintos

regímenes de fuego alterados, los cuales han tenido un fuerte impacto en el daño ecológico al bosque natural. La densidad del Pinabete en el este sitio es muy abierto 30 individuos por hectárea es producto del impacto de la ecología del fuego a la especie.

E. Sitio Los Cipresales

El sitio Los Cipresales, es característico porque la especie dominante es el *Cupressus lusitánica* Mill. Este ecosistema ocupa un 13.99 % lo equivalente a 54.91 ha de bosque natural, las características dasonométricas importantes para este sitio son las que se muestran en los cuadros 39 y 40.

Cuadro 39. Principales características dasonométricas por especie en Sitio Los Cipresales.

Especie	F	AB (m ² /ha)	Vol. (m ³ /ha)
<i>Cupressus lusitánica</i> Mill.	373	8.97	68.80

Cuadro 40. Distribución de los individuos por clase diamétrica en Sitio Los Cipresales.

Clase Diamétrica	Frecuencia	Altura media (m)
5.0 - 9.99	173.3	14.00
10.0 - 19.99	126.7	19.45
20 - 29.99	60	22.52
30 - 39.99	--	--
40 - 49.99	--	--
➤ 50	13.3	27
Total	373	

Este sitio se clasificó como un bosque denso, ya que se estiman 373 árboles por hectárea de bosque, en el cual la clases diamétricas dominante son 5 cm – 9.99 cm y la clase 10 cm – 19.99 cm de diámetro, en la cuales se presentan alrededor del 60 % de los individuos, la mayor parte de este bosque tiene una altura promedio entre los rangos de 14 m a 20 m.

El cual tiene un área basal de 8.97 m²/ ha y un volumen estimado de 68.81 m³/ ha. Este bosque es la representación de altas densidades por el efecto ecológico del fuego por episodios de incendios de intensidades medias propiciando a un crecimiento acelerado con alta competencia entre individuos, esto se evidencia debido al cruce de copas del dosel superior.

F. Sitio La Loma de Caballo

El Sitio La Loma de Caballo, se tomó como referencia del bosque testigo del Bosque natural del volcán Santo Tomás Pécul, ya que en él no ha ocurrido ningún tipo de perturbación por incendios forestales, por lo tanto se toma como bosque modelo del área en estudio, en el cual se obtuvieron las siguientes características, mostradas en los cuadros 41 y 42.

Cuadro 41. Principales características dasonométricas por especie en Sitio La Loma de Caballo.

Especie	AB (m²/ha)	Vol. (m³/ha)
<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	12.94	72.33
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	37.20	249.89

Cuadro 42. Distribución de los individuos por clase diamétrica en Sitio La Loma de Caballo.

Clase Diamétrica	Frecuencia	Altura media (m)
5.0 - 9.99	--	--
10.0 - 19.99	--	--
20 – 29.99	80	15.2
30 – 39.99	26.67	21
40 – 49.99	80	26.0
➤ 50	80	30.0
Total	267	

Este ecosistema, presenta una densidad de 267 árboles por hectárea, de los cuales la mayor cantidad se agrupan en las clases diamétricas de 40 cm – 49.99 cm y la clase mayor a 50 cm, con una altura promedio entre 26 m a 30 m, en el cual se identificaron como la especie dominante el *Pinus hartwegii* Lind, con algunos especímenes del género *Alnus* los cuales se clasificaron según su posición silvicultural en codominantes y oprimido, para este sitio se estimó por especie el área basal y el volumen siendo para el género *Pinus* 37.20 m²/ ha de área basal y 249.89 m³/ ha de volumen por hectárea y para el género *Alnus* 12.94 m²/ ha y 72.33 m³/ ha.

2.5.1.3 Características biofísicas de los ecosistemas forestales

Los incendios forestales, son los principales motivos de los cambios estructurales de la vegetación de los ecosistemas por medio de los regímenes de fuego ocurridos sobre el bioma, la intensidad y severidad de los mismos no solo está siendo vinculada a la forma de ignición del incendio, sino también se ve influenciada por

los aspectos biofísicos del ecosistema, entre los principales factores biofísicos que influyen de forma directa sobre un incendio forestal, los factores ambientales, condiciones meteorológicas y la forma y superficie del terreno, son los principales reguladores de la intensidad del fuego.

Por lo tanto se cuantificaron los principales factores en los ecosistemas forestales del Volcán, los cuales se presentan en el cuadro 43.

Cuadro 43. Principales factores biofísicos de los ecosistemas forestales.

No	Ecosistema Forestal	T. (°C)	M (%)	Exposición	pH	Textura Suelo	Prof. Efec. (cm)	Mantillo (cm)	Vel. Viento (Km/h)
1	Sitio Los Pinos	17.9	65	SE	5.6	Franco Arcilloso	25 - 40	25	12
2	Sitio Centro Ceremonial Pecul	12	20	S	5.6	Franco Arcillo-Arenoso	0 - 25	3	25
3	Sitio Los Pinos - Aliso	14.7	65	SE	5.6	Franco Arcilloso	25 - 40	20	30
4	Sitio Los Pinabetes	9.8	55	SO	5.6	Franco Arcilloso	25 - 40	15	10
5	Sitio Los Cipresales	10.2	60	SE	6.3	Franco Arcillo-Arenoso	25 - 40	15	15
6	Sitio La Loma de Caballo	15.6	60	SE	6.3	Franco Arcillo-Arenoso	25 - 40	30	15

Referencias: T = temperatura, M = pendiente del terreno (%), pH = valor promedio del suelo, Prof. Efec. = profundidad efectiva del suelo, Vel. Viento = velocidad del viento, Mantillo = altura de materia orgánica.

Según el cuadro 43, se consideraron los factores de temperatura (T), pendiente (M), exposición con respecto a la pendiente, textura del suelo, profundidad efectiva del suelo, y la altura del matillo o capa de material vegetal.

Por lo tanto para el ecosistema forestal del Volcán Santo Tomas Pecul, se estimó un rango de temperatura con una mínima de 9.8 °C hasta 17.9 °C como máxima.

La importancia de la temperatura es para poder conocer el estado de humedad de los materiales disponibles en forma de combustibles forestales.

La pendiente es un factor determinante por la forma de la superficie del terreno la cual nos indica la inclinación , junto con la velocidad de viento, estos factores nos indican una velocidad de propagación en dado caso de un incendio forestal, como también la dirección de mismo.

La exposición del sol con respecto al Norte, factor que determina la cantidad de horas sol, por lo tanto la exposición Sur Este, Sur y Sur Oeste, son las que cuentan con mayor cantidad de sol debido al movimiento en su trayectoria, siendo zonas con un promedio de 11 horas de sol, esto es el primer efecto sobre la vegetación es la disponibilidad de material por la pérdida de humedad de los materiales forestales.

Por último la profundidad efectiva de los suelos, la textura del suelo y la altura del mantillo. Las dos primeras indican la susceptibilidad de la pérdida del suelo ante factores erosivos, en el área los principales factores erosivos son el viento y la precipitación. Por último la altura del mantillo es determinante en saber la capa de protección que se le ofrece al suelo por parte de los restos vegetales, como también la cantidad de material que está disponible como combustible forestal de origen natural.

Por lo tanto los ecosistemas presentes en el volcán Santo Tomas Pecul, presentan una alta vulnerabilidad ante los efectos negativos provocados por un incendio forestal, principalmente la alta vulnerabilidad a ocurrencia de incendios por la disponibilidad de material vegetal y las características biofísicas propicias para incendios de alta intensidad y alta severidad, en dado caso que ocurrieran provocaría la perdida en la cobertura vegetal, tanto esto, incentivara a la perdida se material edáfico por factores erosivos presentes, acompañados por el

comportamiento de altas pendientes según el relieve del terreno. Mientras que en los factores climáticos más importantes y de mayor relevancia se considera la temperatura y la humedad relativa, dichos factores son claves para aumentar la disponibilidad del material vegetal a un incendio forestal.

2.5.1.4 Ecología de fuego de los ecosistemas forestales

La ecología del fuego, según Myers (2006), en su estudio *Forests and fires: toward an integrated approach to fire management in the Caribbean*, el autor realiza una clasificación de los ecosistemas en base a su ecología del fuego, siendo la siguiente clasificación: ecosistemas dependientes del fuego, ecosistemas independientes del fuego, ecosistemas sensibles al fuego y por último los ecosistemas inducidos por el fuego.

Según Myers (2,006), los criterios utilizados de clasificación, principalmente se basa en la vegetación dominante y el tipo de bosque, entre las principales características de los ecosistemas se describe los siguientes:

En base a la clasificación anterior se realizó una zonificación de los ecosistemas presentes en el volcán Santo Tomás Pecul, según su ecología del fuego, los cuales se presentan en el cuadro 44.

Cuadro 44. Clasificación de los ecosistemas forestales, según su ecología del fuego.

No	Ecosistema Forestal	Área (ha)	Ecosistemas según la Ecología del Fuego			
			E.D.F	E.I.F	E.S.F	E.In. F
1	Sitio Los Pinos	57.961	X			
2	Sitio Centro Ceremonial Pecul	64.507	X			
3	Sitio Los Pinos - Aliso	81.504	X			
4	Sitio Los Pinabetes	111.865			X	
5	Sitio Los Cipresales	54.919	X			
6	Sitio La Loma de Caballo	21.722	X			
Total		392.48				

Referencias: E.D.F=Ecosistemas dependientes al fuego, E.I.F=Ecosistemas independientes al fuego, E.S.F=Ecosistemas sensibles al fuego. E.IN.F= Ecosistemas influidos por el fuego.

Según el cuadro 44 la clasificación de los ecosistemas presentes en el bosque natural, se evidenció que el 71.50 % (280.61 ha) del bosque se clasificó según la ecología del fuego en ecosistemas dependientes del fuego (E.D.F), ya que en estas según su composición vegetal se encuentran las especies dominantes de *Pinus Hartwegii* Lindl y la especie *Alnus acuminata* Kunt in Humb. Siendo estas las especies de mayor abundancia en el estrato arbóreo.

Por lo tanto las especies en mención en su fisiología vegetal se clasifican como especies pirófitas, las cuales han desarrollado resistencia contra el fuego, debido a las distintas adaptaciones anatómicas y morfológicas de las especies, esto se debe al mecanismo de reproducción vegetal, ya que en el caso del genero *Pinus* cuentan con una adaptación extrema debido a que estos presentan conos serótinicos, los cuales permanecen cerrados durante largos periodos de tiempo y por lo tanto requiere de calor producido por el fuego, incentivando la liberación de semillas. Entre otras de las adaptaciones tienen un grosor de corteza capaz de resistir altas temperaturas y daños por el fuego en incendios de baja y media intensidad.

En cambio el género *Alnus* también crea ciertas adaptaciones al fuego esto provocado por el grosor de corteza del fuste, y las cuales son especies que cuya presencia se favorecen de los incendios forestales, esto mediante la ocurrencia de un incendio se forman aberturas del dosel y crean abiertos en la estructura vegetal, modificando la composición de la masa vegetacional por medio del crecimiento y desarrollo de la regeneración natural de las especies, ya que en la mayor parte de los ecosistemas del volcán, esta especie se encontró en su posición silvicultural como codominante y oprimido, por lo que los espacios abiertos provocados por la pérdida de la masa forestal crearon condiciones en donde la plantas sobrevivientes regeneran sus órganos reproductivos y recolonizan de forma natural el paisaje forestal del ecosistema degradado por el fuego.

Por otra parte es distinta la clasificación para el Sitio Los Pinabetes, ocupando el 28.50 % (111.87 ha) del bosque natural, el cual se clasificó en ecosistema sensible al fuego (E.S.F), este ecosistema presentó una alta degradación de la masa forestal para la especie *Abies guatemalensis* Rehder. Dicha especie presenta una alta sensibilidad al fuego, ya que esta no crea ningún tipo de adaptación debido a su alta inflamabilidad ante el fuego, ya que esta zona se presencié el daño por un episodio de fuego de alta intensidad, provocando una disminución en la población de la especie por la alta mortandad, la cual formó espacios muy abiertos con un dosel muy disperso, así favoreciendo a las condiciones de desarrollo para el crecimiento denso de especies de sucesión secundaria dado el caso de las especies *Buddleia* sp y la especie *Arbutus xalapensis*, ocupando estas la mayor densidad en este ecosistema.

También se realizó una clasificación de los ecosistemas según la ecología del fuego a nivel de especie vegetal registrada en los distintos ecosistemas forestales. Las cuales se presentan en el cuadro 45.

Según la clasificación por especie en base a la ecología de fuego, se evidencia que la mayor parte de especies de hábito herbáceo y arbustivo, pertenecen a los ecosistemas dependientes e inducidos por el fuego, debido a su comportamiento y la presencia en la composición vegetal de estos individuos surge a partir de los incendios superficiales vinculados a la formación de espacios abiertos generando condiciones óptimas para su desarrollo.

La mayor parte de las especies antes mencionadas son clasificadas como especies de sucesión secundaria, esto provocado por el enriquecimiento nutricional del suelo como un efecto directo del fuego.

La participación del fuego por medio de la eliminación del material acumulado (mantillo) de la vegetación superior existe un aumento de la temperatura del suelo proveniente de los rayos del sol, y como parte de la fisiología de estas especies se ven beneficiadas en la ayuda a la germinación de la semilla o rebrote de las mismas. Muchas de estas en sus estructuras reproductivas presentan bulbos, espigas y entre otras, las cuales permanecen en su mayoría enterradas ofreciendo protección a las altas temperaturas.

Por lo tanto en áreas con mayor biodiversidad de los estratos herbáceos y arbustivos mediante la formación de mosaicos vegetacionales por la aparición de fuego, se consideran como planta primarias de regeneración natural ya que son estos los estratos que se recuperan con mayor rapidez y facilidad. (Pausas, 2010).

En la figura 22 se presenta un mapa de zonificación de los ecosistemas forestales según la ecología del fuego. Para su proyección a nivel geoespacial según la

clasificación. En donde E.D.F=Ecosistemas dependientes al fuego y E.S.F=Ecosistemas sensibles al fuego.

Cuadro 45. Clasificación según la ecología del fuego por especie

No.	Familia	Especie	Hábito	Clasificación			
				E.D.F	E.I.F	E.S.F	E.In. F
1	Apiaceae	<i>Coaxana purpurea</i> Court et Rose	Ar	X			X
2	Apiaceae	<i>Eryngium cymosum</i> F. de Laroche	H	X			X
3	Asteraceae	<i>Dahlia imperialis</i> Roezl Ex Ortegies in Regel	Ar	X			X
4	Asteraceae	<i>Baccharis Vaccinioides</i> Kunt	Ar	X			X
5	Asteraceae	<i>Eupatorium pazcuarensis</i>	H	X			X
6	Asteraceae	<i>Bidens triplinervia</i> HBK	H	X			X
7	Asteraceae	<i>Eupatorium sp.</i>	H	X			X
8	Asteraceae	<i>Bidens sp.</i>	H	X			X
9	Asteraceae	<i>Eupatorium sp.</i>	H	X			X
10	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	A	X			
11	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	A	X			
12	Ericaceae	<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunt	Ar	X			X
13	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i>	A		X		
14	Lamiaceae	<i>Salvia spp</i>	H	X			X
15	Onagraceae	<i>Fuchsia microphylla</i> HBK	Ar	X			X
16	Pinaceae	<i>Pinus Hartewii</i>	A	X			
17	Pinaceae	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	A			X	
18	Poaceae	<i>Festuca sp.</i>	H	X			X
19	Polygalaceae	<i>Monina xalapensis</i> HBK	Ar	X			X
20	Rosaceae	<i>Acaena elongata</i> L.	H	X			X
21	Saxifragaceae	<i>Ribes ciliatum</i> Humbet Bonplex Roem Et Schult	Ar		X		
22	Scrophulariaceae	<i>Buddleia</i>	A		X		
23	Scrophulariaceae	<i>Lamouroxia xalapensis</i> Kunth	Ar		X		X

Referencias: E.D.F=Ecosistemas dependientes al fuego, E.I.F=Ecosistemas independientes al fuego, E.S.F=Ecosistemas sensibles al fuego. E.IN.F= Ecosistemas influidos por el fuego.

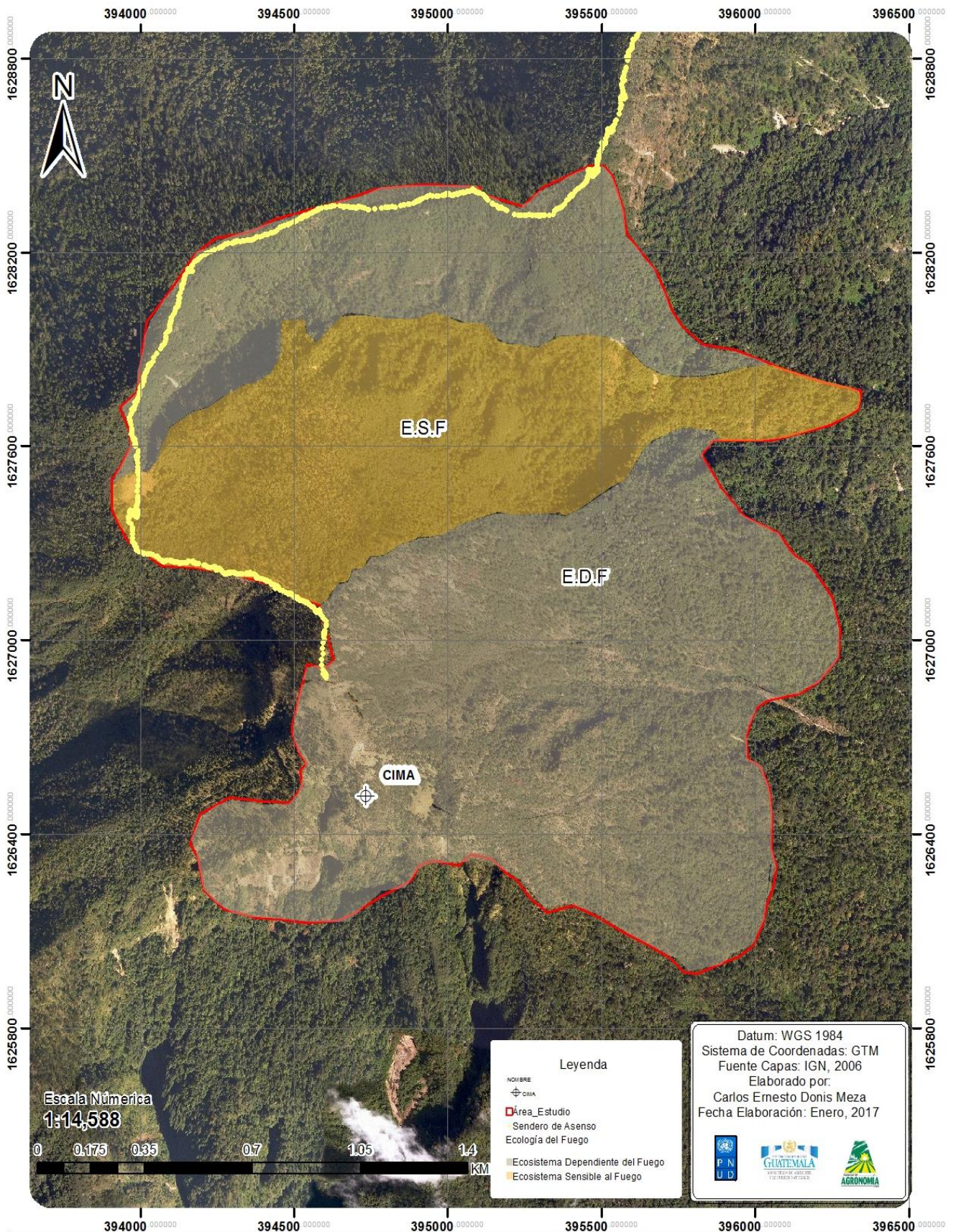


Figura 22. Mapa del Bosque natural del volcán Sto. Tomás, según su ecología del fuego

2.5.1.5 Regeneración Natural

La regeneración natural de las especies forestales busca el mantenimiento y persistencia de una especie dentro del bosque (Romero, 2002), en la cual existen diversas interacciones y sucesos tales como, la producción de semillas y las condiciones de la germinación, distribución espacial y la densidad de renuevo, tanto de semillas como de plántulas (Chaverri, et al, 1,998).

Se evaluó la regeneración natural en los distintos ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul, para la cual se establecieron subparcelas con las dimensiones (1 m x 1 m), esta subparcelas están compuestas dentro de parcelas de 500 m² (20 m x 25 m). Cada subparcela se ubicó en las zonas más homogéneas del área. Los valores obtenidos son proyecciones y estimaciones de los valores absolutos de árboles por hectárea, para tener una idea de la regeneración natural de las especies forestales en los distintos ecosistemas.

En la figura 23, presenta el número de individuos de regeneración natural de las especies forestales por cada uno de los ecosistemas presentes en el bosque del volcán.

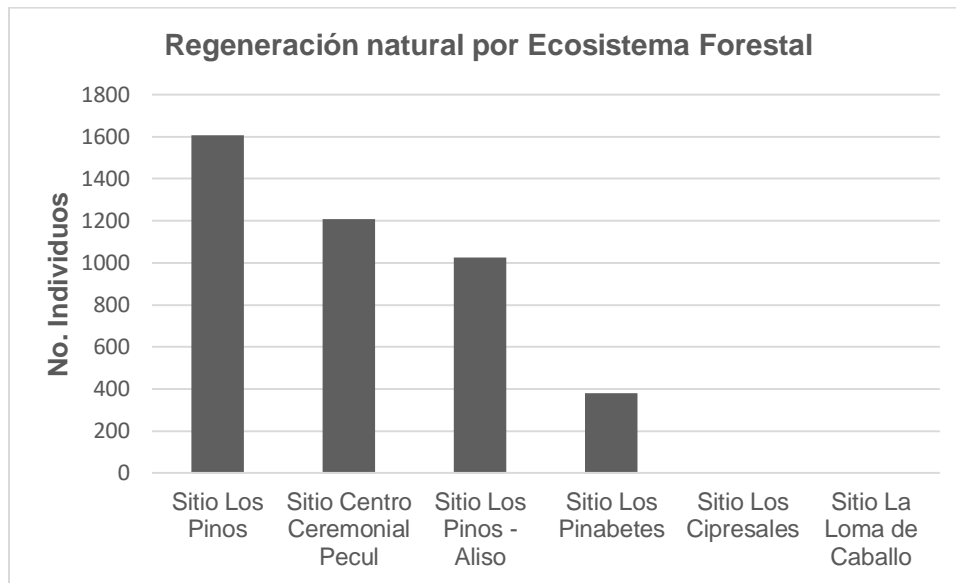


Figura 23. Valores de la regeneración natural por ecosistema forestal.

Según la figura 23, se evidencia que el sitio con mayor número de individuos estimados de regeneración es el sitio Los Pinos, el cual se compone alrededor de 1607 individuos por hectárea, siendo las principales especies encontradas *Pinus hartwegii* Lindl con 1247 individuos, con un altura promedio de 0.80 m y un diámetro promedio de 5.2 cm, la especie presente *Alnus acuminata* Kunt in Humb se estimó 333 individuos por hectárea, para los encuentran con una altura promedio de 1.40 m y un diámetro promedio de 6.2 cm, y por último se identificó la especie *Arbutus xalapensis* con 27 individuos por hectárea con una altura 1.34 m y un diámetro de 5.1 cm.

Para el siguiente sitio con mayor número de plántulas, es el Sitio Centro Ceremonial Pecul, en el cual se identificó la única especie de *P. hartwegii* Lindl, para lo individuo se estimó una altura promedio entre 0.70 m - 1.20 m y un diámetro promedio entre 5.5 cm a 10.9 cm.

En el Sitio Los Pinos – Aliso, se estimó una cantidad de 1027 individuos por hectárea, en este sitio se evidencio la mayor abundancia de especies forestales en regeneración natural, teniendo cada una de ellas los siguientes valores, para el *Pinus hartwegii*, con 500 individuos por hectárea, con una altura promedio de 0.70 m y un diámetro de 6.9 cm, para el género *Alnus* 333 individuos por hectárea con una altura promedio de 1.50 m y 6.5 cm de diámetro promedio, para el *Arbutus xalapensis* 133 individuos por hectárea, con una altura promedio 1.80 m y 5.1 cm de diámetro promedio y por último se encuentra la especie *Buddleia sp* con 60 individuos por hectárea, con una altura promedio de 0.60 m y 4.9 cm de diámetro.

Para el Sitio Los Pinabetes, se estimó un total de 380 individuos por hectárea de regeneración natural, en el cual solo se identificó la especie *Buddleia sp* la cual tiene una altura promedio de 0.80 m y un diámetro promedio de 6.5 cm.

En los Sitios La Loma de Caballo y Los Cipresales en las parcelas de muestreo no se encontró ninguna plántula en regeneración natural, ya que en el caso de Sitio La Loma, son bosque sobre maduros y muy densos por lo que la competitividad y sin ninguna abertura del dosel crean condiciones no muy favorables para la regeneración natural. En el caso del Sitio Los Cipresales existe bosques muy cerrados y con un alta densidad por lo que provocan unas fuertes limitaciones en el procesos regenerativo, como también la especie *C. lusitánica* Mill, según Chaverri et al. (1,998). En su estudio sobre regeneración natural de especies nativas latifoliadas y de Ciprés, indica que los rodales homogéneos de Ciprés, tienden a producir cierta esterilización de los suelos, por lo que el suelos de estos bosques son poco fértiles, esto producido por el contenido de las hojas de Ciprés produciendo alelopatías para algunas especies herbáceas y arbustivas, como también limitando el crecimiento de plántulas en regeneración natural de la misma especie, ya que también como la densidad no permite el ingreso de luz como un catalizador, provocando el efecto inhibitor en el crecimiento, más la poca fertilidad

de los suelos, crean condiciones desfavorables para el desarrollo de las plántulas de regeneración natural.

Para la generación natural también se elaboró la estimación de individuos / ha en función a las especies forestales encontradas en los distintos ecosistemas del Bosque natural del volcán, las cuales se proyectan en la figura 24.

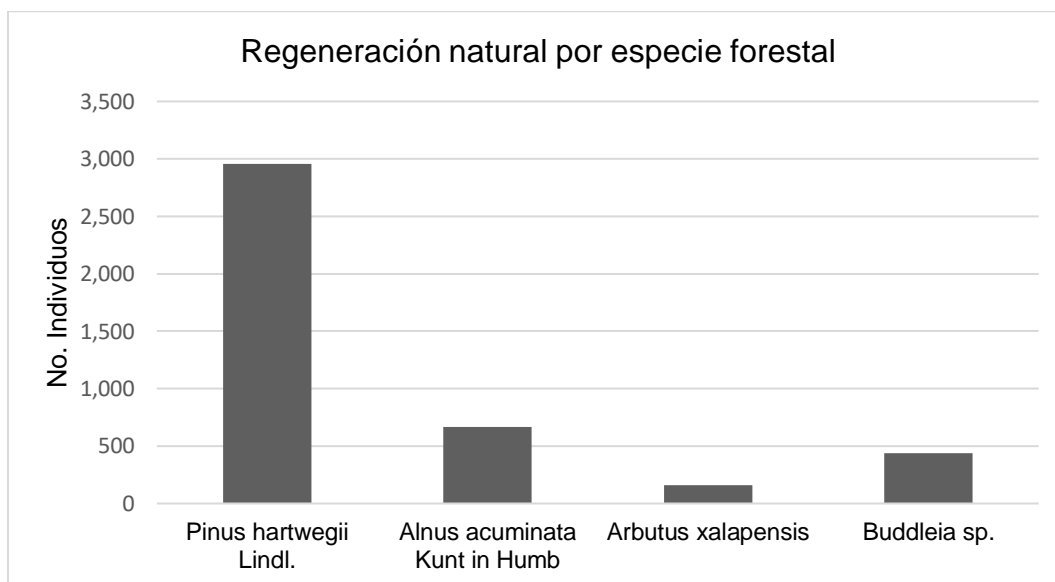


Figura 24. Comportamiento de la regeneración natural por especie forestal en base a número de individuos.

En lo que concierne a la regeneración por especies forestales en bosque natural del volcán, se estimaron los valores de 4,220 plántulas de regeneración para los Sitios Los Pinos, Sitio Centro Ceremonial Pecul, Sitio Los Pinos – Aliso y el Sitio Los Pinabetes. La mayor cantidad de las plántulas se categorizan en base a su estado de desarrollo en latizales altos, ya que el promedio del diámetro se presenta entre el rango de > 5.1 – 9.9 cm de diámetro, de las cuales se presentaron las siguientes especies. Para *P. hartwegii* Lindl. Ocupa el 69.98 % del total de las plántulas, con

un número de plántulas de 2,953 por ha, el dominio de esta especie prevalece en los bosques que han sufrido el impacto del fuego, como tal ha sido benéfico en para el sitio Los Pinos, esto es provocado por la alta adaptabilidad de la especie al fuego y en punto de vista ecológico el mismo ha incentivado a la regeneración natural en los ecosistemas con predominancia de esta especie.

En cambio para las especies *A. acuminata* Kunt in Humb, *A. Xalapensis* HBK Y *Buddleia* sp. Han sido beneficiadas en las zonas con alta fragmentación de la cobertura forestal, creando condiciones óptimas para su desarrollo. Teniendo la estimaciones para la Sp. *A. acuminata* 667 plántulas ocupando 15.80 % de la regeneración natural, para la Sp. *A. Xalapensis* se estimó un total de 160 plántulas ocupando así el 3.79 % y por último para la especie *Buddleia* sp. se cuenta con 440 plántulas ocupando el 10.43 % del total de la regeneración obtenida del bosque natural del volcán. Estas especies han sido dominantes en los sitios donde el fuego con una alta intensidad y severidad, creando aberturas amplias del dosel y así creando una fuerte fragmentación del ecosistema de los bosques evaluados.

2.5.1.6 Escenarios de los ecosistemas forestales

Con la finalidad principal de tener en cuenta la composición y estructura vegetal por cada ecosistema forestal, se presentan en la figura 25, en la que se hace énfasis en la vegetación y su disposición por sitio evaluado.

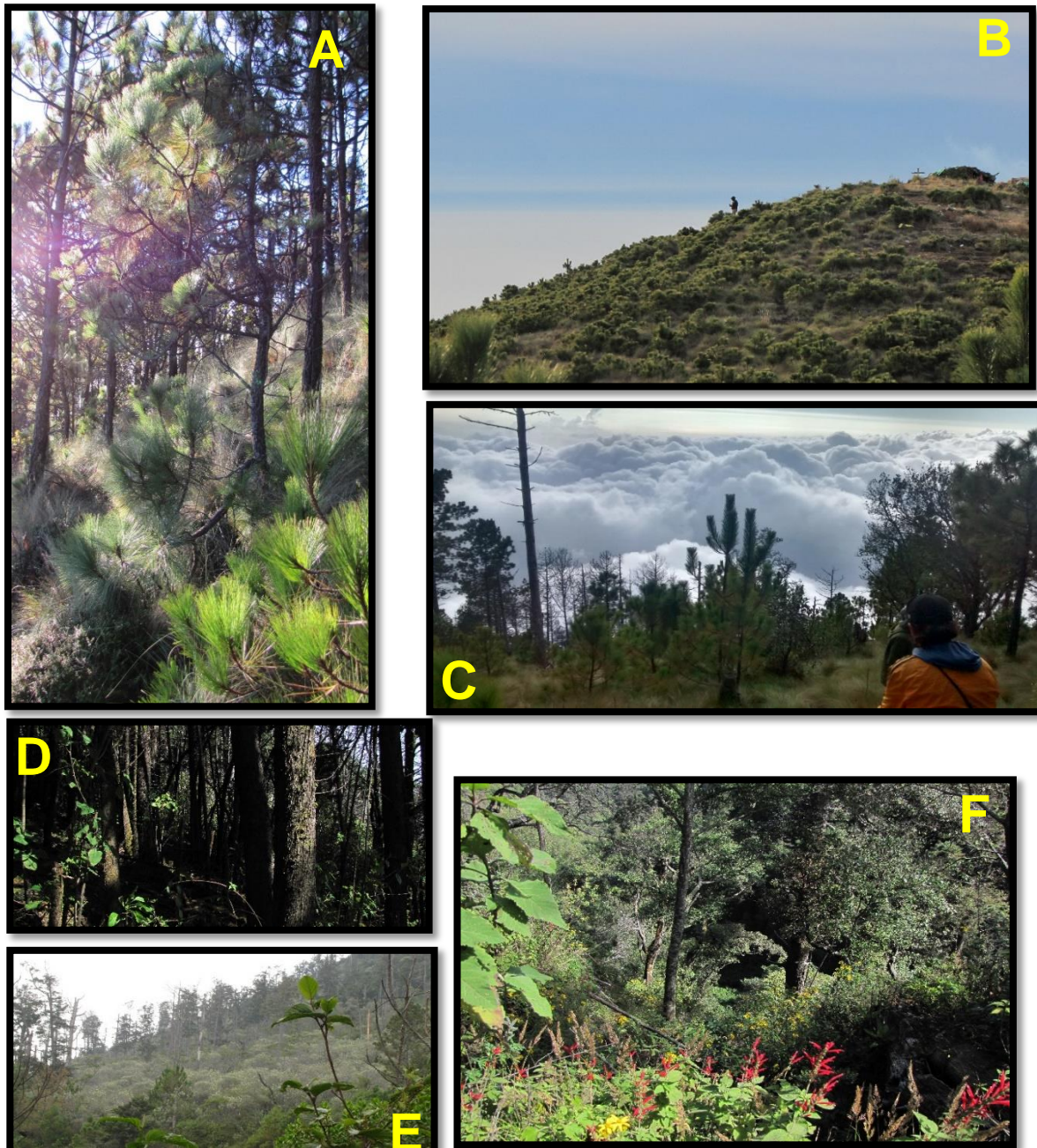


Figura 25. Escenarios de los ecosistemas del volcán Sto. Tomás Pecul.

Referencias: En las imágenes, (A) se observa el Sitio Los Pinos, (B) Sitio Centro Ceremonial Pecul, (C) Sitio Los Pinos - Aliso, (D) Sitio Los Cipresales, (E) Sitio Los Pinabetes y (F) Sitio La Loma de Caballo.

2.5.1.7 Estructura florística en el Bosque natural del volcán

En bosque natural del Volcán, fueron identificado seis tipos de ecosistemas forestales, para los cuales se ha hecho mención de los sitios Los Pinos, Centro Ceremonial Pecul, Los Pinos – Aliso, Los Pinabetes, Los Cipresales y La Loma de Caballo. Los sitios mencionados ocupan un área de 392.48 ha de bosque natural, los cuales presentan un alto grado de perturbación por incendios forestales para el periodo 2,000 – 2,015, exceptuando el sitio La Loma de Caballo, ya que este se identificó como una zona testigo de la estructura y composición florística del bosque sin ningún tipo de perturbación provocada por el fuego. A continuación se describe los principales componentes florísticos por cada sitio evaluado.

A. Especies vegetales presentes

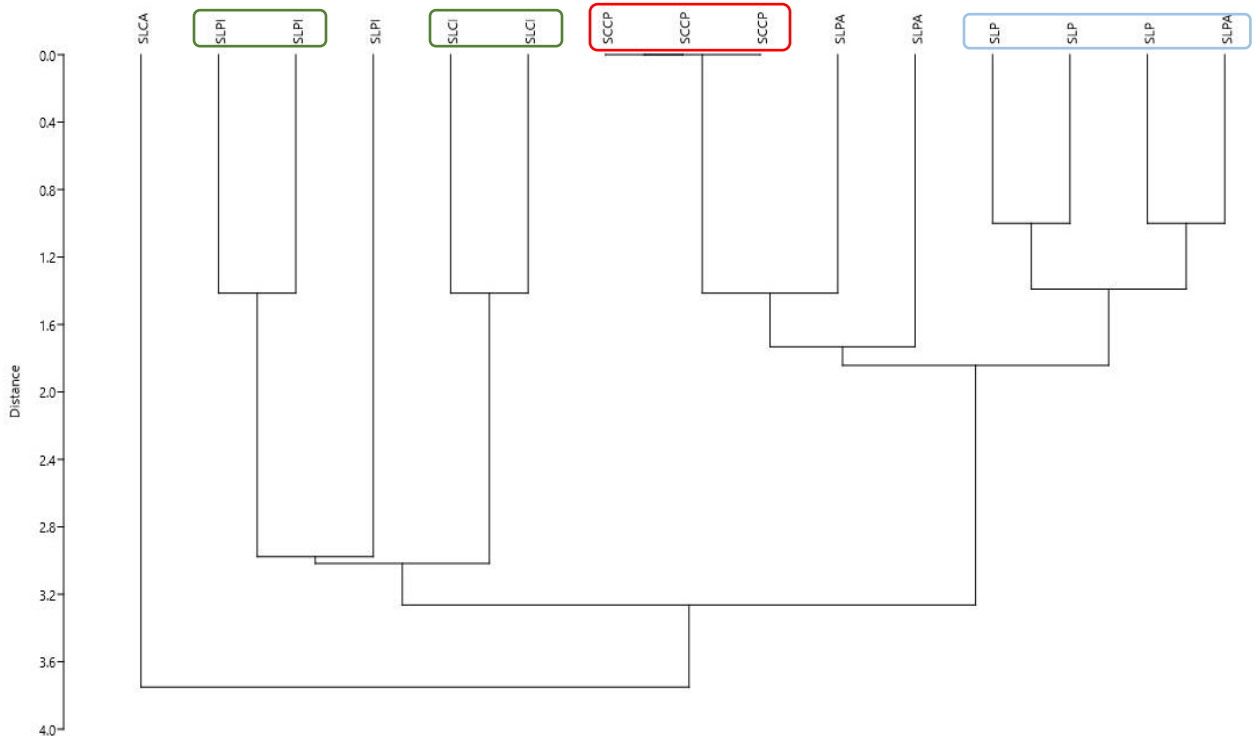
Las especies vegetales presentes en los ecosistemas forestales del Bosque natural del Cerro Pecul se presentan en el cuadro 46, según el listado de especies vegetales se clasifican en base a la familia botánica y el nombre científico de cada especie, y la clasificación por hábito (A= árbol, Ar= arbusto y H= herbáceo), por cada una de las especies. Se identificaron 14 familias, siendo las familias Apiaceae (2), Asteraceae (6), Betulaceae (1), Cupressaceae (1), Ericaceae (2), Lamiaceae (1), Onagraceae (1), Pinaceae (2), Poaceae (1), Polygalaceae (1), Rosaceae (1), Saxifragaceae (1) y Scrophulariaceae (2). Siendo un total de 22 especies determinadas por su nombre científico, según por su hábito, se identificaron para estrato arbóreo las especies *Pinus hartwegii* Lindl, *Alnus acuminata* Kunt in Humb, *Abies guatemalensis* Rehder, *Arbutus xalapensis* HBK y *Buddleia* sp. Mientras que la especies restantes componen los estratos arbustivo y herbáceo.

Cuadro 46. Listado de especies vegetales presentes en el bosque natural.

No	Especies Vegetales	Hábito
1	Apiaceae	
	<i>Coaxana purpurea</i> Court et Rose	Ar
	<i>Eryngium cymosum</i> F. de Laroche	H
2	Asteraceae	
	<i>Bidens sp.</i>	H
	<i>Bidens triplinervia</i> HBK	H
	<i>Eupatorium pazcuarense</i>	H
	<i>Eupatorium sp.</i>	H
3	Asteraceae	
	<i>Baccharis Vaccinioides</i> Kunt	Ar
	<i>Dahlia imperialis</i> Roezl Ex Ortegies in Regel	Ar
4	Betulaceae	
	<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	A
5	Cupressaceae	
	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	A
6	Ericaceae	
	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	A
	<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunt	Ar
7	Lamiaceae	
	<i>Salvia spp</i>	H
8	Onagraceae	
	<i>Fuchsia microphylla</i> HBK	H
9	Pinaceae	
	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	A
	<i>Pinus Hartewii</i>	A
10	Poaceae	
	<i>Festuca sp.</i>	H
11	Polygalaceae	
	<i>Monina xalapensis</i> HBK	Ar
12	Rosaceae	
	<i>Acaena elongata</i> L.	H
13	Saxifragaceae	
	<i>Ribes ciliatum</i> Humbet Bonplex Roem Et Schult	Ar
14	Scrophulariaceae	
	<i>Buddleia sp.</i>	A
	<i>Lamouroxia xalapensis</i> Kunth	Ar

B. Composición florística del volcán Santo Tomás Pécul

El análisis de composición florística de las especies vegetales, realizó por medio de un análisis de conglomerados, la cual es una técnica multivariables que busca agrupar variables tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo o ecosistema evaluado (Terrádez, 2001), por lo que se utilizó la técnica de conglomerados para ver la similitud entre las 16 parcelas que fueron levantadas por todos los sitios evaluado del bosque natural del volcán. Para la medición de la similitud se utilizó una matriz de presencia – ausencia de las especies vegetales en cada parcela de estudio. Por lo que la figura 26, muestra la representación gráfica de la distancias por cada ecosistema forestal del volcán Santo Tomás.



Referencias: SLP= Sitio Los Pinos, SCCP= Sitio Centro Ceremonial Pecul, SLPA= Sitios Los Pinos – Aliso, SLPI=Sitio Los Pinabetes, SLCI, Sitio Los Cipresales y SLCA= sitio La Loma de Caballo.

Figura 26. Análisis de conglomerados de las parcelas evaluadas de los ecosistemas forestales del volcán Sto. Tomas Pecul.

Según la figura 26, hace referencia a la conformación de grupos homogéneos en base a la presencia – ausencia de las especies vegetales en los distintos sitios, por lo que los valores más cercanos a cero, hacen referencia a los grupos con mayor similitud en base a su composición vegetal. Según el esquema el SLCA es el sitio que presenta mayor distancia en similitud con respecto al resto de sitios, ya que esto no ha tenido ningún tipo de perturbación.

Se observa la conformación del grupo con los sitios SLPI y SLCI, los cuales tienen valores de similitud cercanos, en el cual se estima su formación por el impacto directo que han tenido en base a la densidad de las especies vegetales presentes. Para los sitios SCCP y SLPA, son sitios agrupados debido a que su composición vegetal va en relación a los espacios abiertos del dosel, provocando una alta fragmentación de la cobertura arbórea (cuadro 47). Por último los sitios SLPI, es un grupo homogéneo los cuales presentan una agrupación con una parcela del sitio SLPA, por lo que indica composiciones similares de la vegetación.

Cuadro 47. Probabilidad de presencia de las especies vegetales por cada sitio evaluado del volcán Sto. Tomas Pecul.

	SLP	SLP	SLP	SCCP	SCCP	SCCP	SLPA	SLPA	SLPA	SLPI	SLPI	SLPI	SLCI	SLCI	SLCA
SLP	1														
SLP	0.714286	1													
SLP	0.80	0.57143	1												
SCCP	0.50	0.375	0.6	1											
SCCP	0.50	0.375	0.6	1	1										
SCCP	0.50	0.375	0.6	1	1	1									
SLPA	0.429	0.333	0.5	0.5	0.5	0.5	1								
SLPA	0.833	0.857	0.667	0.429	0.429	0.429	0.375	1							
SLPA	0.5	0.571	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.667	1						
SLPI	0.214	0.267	0.231	0.143	0.143	0.143	0.133	0.2	0.143	1					
SLPI	0.214	0.267	0.231	0.143	0.143	0.143	0.133	0.2	0.143	0.846	1				
SLPI	0.091	0.077	0.1	0.222	0.222	0.222	0.091	0.083	0.1	0.357	0.385	1			
SLCI	0.1	0.083	0.111	0	0	0	0	0.091	0	0.286	0.385	0.091	1		
SLCI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.286	0.385	0.2	0.714	1	
SLCA	0.263	0.368	0.211	0.211	0.211	0.211	0.263	0.316	0.211	0.476	0.476	0.190	0.25	0.25	1

El cuadro 47 hace referencia a la probabilidad de presencia de las especies vegetales que conforman cada ecosistema, siendo el valor de 1 como la alta probabilidad de ocurrencia, como por ejemplo tenemos la evaluación de la columna del SLP en relación a la fila del sitio SLPI, teniendo un valor de 0.214 el cual indica que existe una probabilidad de 21 % de que encuentren similitud de que en su composición florística se encuentren las mismas especies vegetales.

Como el estudio de las comunidades ecológicas presentes en los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomas Pecul en función al impacto que provocan las variables ambientales presentes, se realizó el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) como una forma de agrupación de los ecosistemas en base la composición florística en función de las variables ambientales. El análisis de correspondencia canónica es una técnica basada en la interpretación de los coeficientes, en función a las relaciones existentes de las variables ambientales y la composición florística por sitio (Fernández et al, 1996). para la realización del ACC se tomaron en cuenta las variables ambientales de exposición de los sitios, profundidad efectiva (cm), mantillo (cm), pendiente (%), pH (valor ponderado), intervención humana, temperatura (°C), grado perturbación por incendios . Por lo tanto la figura 13 presenta la agrupación de los principales sitios en función a las variables ambientales presentes.

El análisis de correspondencia canónica figura 27, hace referencia que las variables ambientales que influyen directamente sobre el ecosistema forestal del volcán, son las variables de intervención humana, la temperatura (°C) y la perturbación por incendios, ya que en las cuales se ve la mayor agrupación de las parcelas de muestreo (código P) y las especies vegetales (Letras).

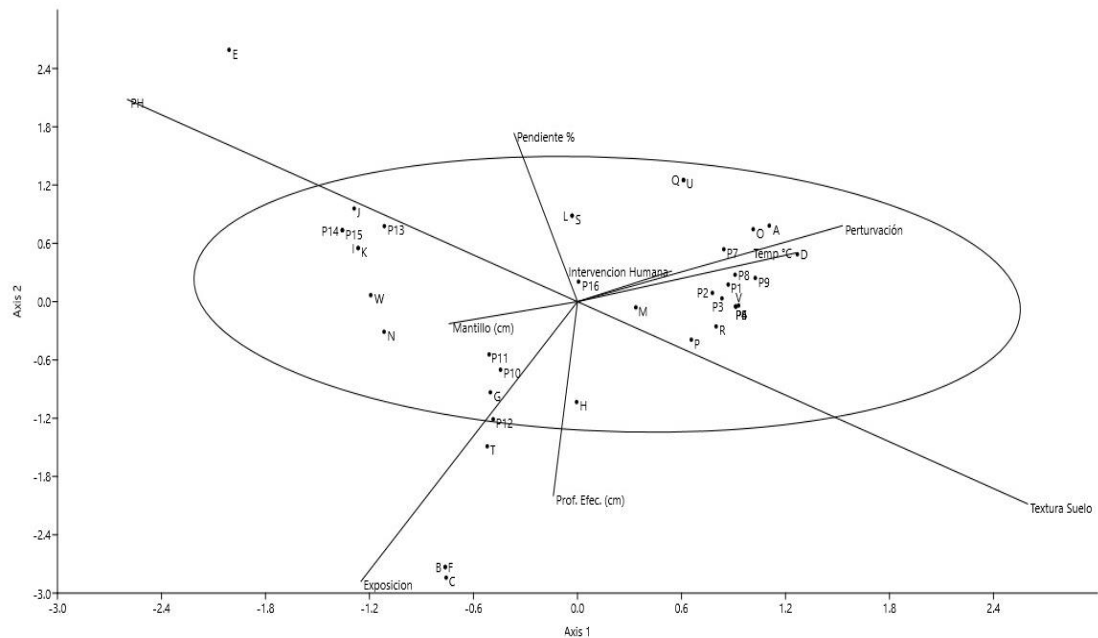


Figura 27. Agrupación de los ecosistemas forestales del volcán, por medio de la técnica de análisis de correspondencia canónica (ACC).

C. Valor de importancia vegetal del volcán Santo Tomás Pécúl

El cuadro 48, presenta el índice del valor de importancia para cada especie vegetal, encontrada en el área muestreada del volcán Santo Tomas Pecul, la presentación del índice del valor de importancia en porcentaje, la ordenación de las especies se hace por la familia botánica.

Cuadro 48. Valor de importancia por cada especie vegetal encontrada en área del muestreo del volcán.

No	Especies Vegetales	V.I %
1	Apiaceae	
	<i>Coaxana purpurea</i> Court et Rose	2.886
	<i>Eryngium cymosum</i> F. de Laroche	4.769
2	Asteraceae	
	<i>Bidens sp.</i>	4.928
	<i>Bidens triplinervia</i> HBK	27.955
	<i>Eupatorium pazcuarense</i>	2.188
	<i>Eupatorium sp.</i>	4.253
3	Asteraceae	
	<i>Baccharis Vaccinioides</i> Kunt	16.062
	<i>Dahlia imperialis</i> Roetzl Ex Ortegies in Regel	8.265
4	Betulaceae	
	<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	8.465
5	Cupressaceae	
	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	5.381
6	Ericaceae	
	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	10.267
	<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunt	2.221
7	Lamiaceae	
	<i>Salvia spp</i>	7.148
8	Onagraceae	
	<i>Fuchsia microphylla</i> HBK	8.784
9	Pinaceae	
	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	16.602
	<i>Pinus Hartewii</i>	35.148
10	Poaceae	
	<i>Festuca sp.</i>	77.720
11	Polygalaceae	
	<i>Monina xalapensis</i> HBK	4.475
12	Rosaceae	
	<i>Acaena elongata</i> L.	21.663
13	Saxifragaceae	
	<i>Ribes ciliatum</i> Humbet Bonplex Roem Et Schult	10.963
14	Scrophulariaceae	
	<i>Buddleia sp.</i>	13.885
	<i>Lamouroxia xalapensis</i> Kunth	5.972

El índice de valor de importancia de las especies vegetales, hace referencia a la dominancia que tiene cada especie en función de la frecuencia y abundancia absoluta sobre una comunidad ecológica, dado el valor en porcentaje indica el valor de dominancia absoluta por especie (Campo et al, 2014). Las especies con mayor valor de importancia para el estrato arbóreo son *Pinus hastwegii* Lindl, *Abies guatemalensis* Rehder, *Buddleia sp* y *Arbutus xalapensis*, siendo estas las que componen principalmente la masa arbórea de los sitios evaluados del volcán. Para el estrato herbáceo se tienen como las especies dominantes: *Festuca sp*, *Acaena elongata L.* y *Bidens triplinervia* HBK. Siendo esta las que se presentan con mayor frecuencia y abundancia en el ecosistema forestal del volcán (figura 28).

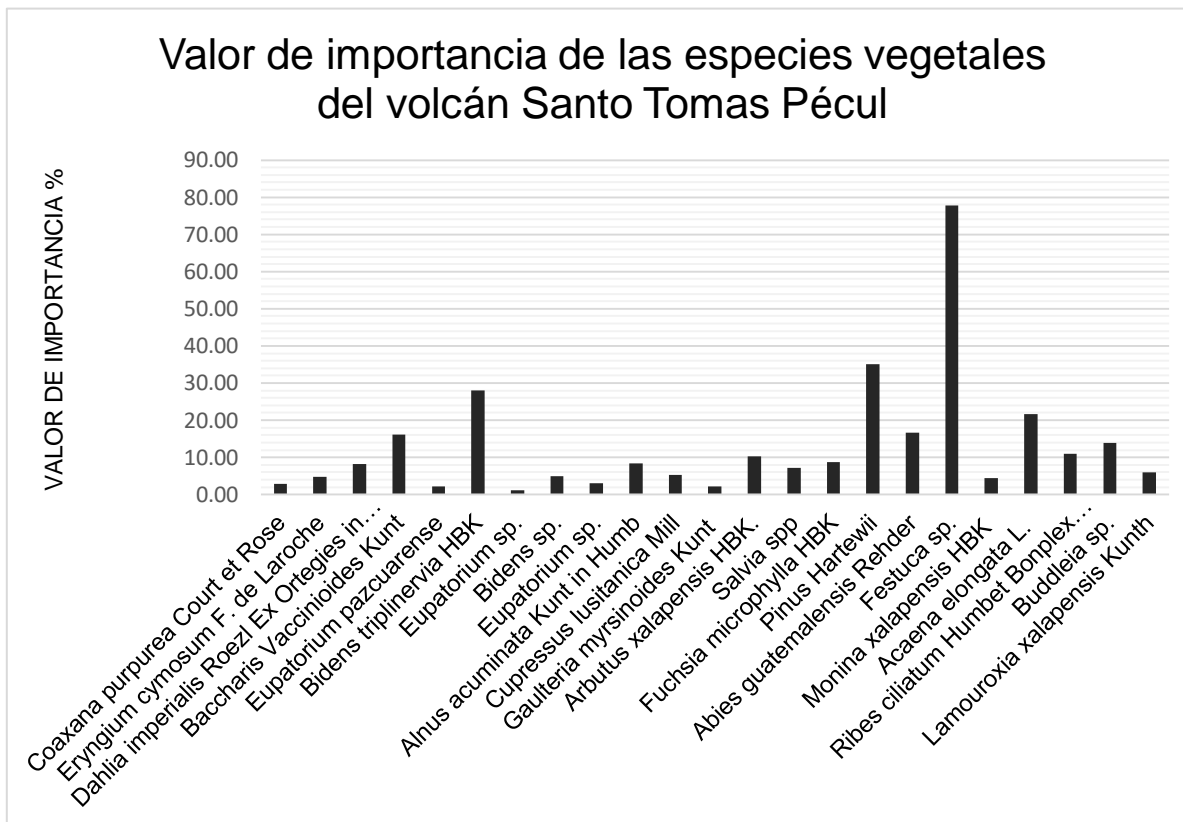


Figura 28. Valores del índice de valor de importancia para las comunidades vegetales evaluadas del volcán Santo Tomas Pecul.

- Sitio Los Pinos: este ecosistema está compuesto en su comunidad vegetal por las especies *Alnus auminata* Kunt in Humb, *Pinus hatwegii* Lindl, *Eryngium cymosun* F. de Laroche, *Bacharris vaccionoides* Kunt, *Lamouroxia xalapensis* Kunt, *Bidens triplinervia* HBK y *Festuca sp.*
- Sitio Centro Ceremonial Pecul: su comunidad vegetal lo componen las especies *Pinus hatwegii* Lindl, *Salvia sp*, *Bidens triplinervia* HBK y *Festuca sp.*
- Sitio Los Pinos - Aliso: Lo componen las especies *Alnus auminata* Kunt in Humb, *Pinus hatwegii* Lindl, *Bacharis vaccinooides* Kunt, *Eupharium pazcuarensis*, *Bidens triplinervia* HBK y *Festuca sp.*
- Sitio Los Pinabetes: La comunidad vegetal está compuesta por las especies *Abies guatemalensis* Rehder, *Buddleia sp*, *Coxana purpurea* Court et Rose, *Eryngium cymosun* F. de Laroche, *Dahlia imperialis* Roezl Ex Ortegies in Regel, *Bacharis vaccinooides* Kunt, *Ribens cilatum* Humbet Bonplex Roem Et Shult, *Bidens sp*, *Festuca sp.* y *Acaena elongata* L.
- Sitio Los Cipresales: Está compuesto por la especie *Cupressus lusitancia* Mill, *Dahlia imperialis* Roezl Ex Ortegies in Regel, *Monina xalapensis*, *Fuchsia microphylla* HBK, *Bacharis vaccinooides* Kunt, *Ribens cilatum* Humbet Bonplex Roem Et Shult, *Bidens sp* y *Acaena elongata* L.
- Sitio La Loma de Caballo: Este sitio existe la mayor abundancia de la especie *Alnus auminata* Kunt in Humb, *Pinus hatwegii* Lindl, *Coxana purpurea* Court et Rose, *Eryngium cymosun* F. de Laroche, *Dahlia imperialis* Roezl Ex Ortegies in Regel, *Bacharis vaccinooides* Kunt, *Ribens cilatum* Humbet Bonplex Roem Et Shult, *Bidens sp*, *Festuca sp.*, *Acaena elongata* L, *Monina xalapensis*, *Fuchsia microphylla* HBK, *Gaulteria myrsinoides* Kunt, *Lamouroxia xalapensis* Kunt, *Salvia sp.*, *Bidens sp* y *Eupatorium sp*

D. Diversidad estructural florística de los ecosistemas forestales

La diversidad que componen las comunidades vegetales en un área geográficas es encontrada dentro de la base fundamental de la biodiversidad ya que esta encuentra la composición, estructura y la importancia de las especies vegetales, que interactúan en el caso de este estudio a ecosistemas vegetales que han sido perturbados por el fuego ocasionado por los incendios forestales y la relación con otras especies (Moreno., 2001). Por lo tanto para las finalidades del estudio de estimaron los índices de la diversidad Alfa y Beta, para los ecosistemas forestales evaluados del volcán.

a. Diversidad alfa (α)

La diversidad de los ecosistemas a nivel de especie son de suma importancia para la búsqueda de parámetros de cambios de la comunidad vegetal provocados por los efectos de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas vegetales y también los efectos de cambios de origen natural como el fuego (Moreno., 2001). Para medir y monitorear la riqueza de las especies de una comunidad en particular se utiliza los índices de diversidad alfa. Para medir la riqueza de los sitios evaluados del bosque natural del volcán, se utilizaron los índices de Simpson, Shannon-Wiener y Pielou J', en cada una de las 16 parcelas de evaluación por los sitios del ecosistema forestal del volcán.

Según Moreno (2001), en su publicación "Los Métodos para medir la Biodiversidad", indica que el índice de Simpson es un índice de dominancia, el cual manifiesta la probabilidad de ocurrencia de la misma especie. Los índices de Shannon – Wiener y Pielou (J'), son índices de equidad. Para Shannon – W. expresa la uniformidad de

los valores de importancia de todas las especies de la muestra. Para Pielou mide la diversidad presente con relación a la máxima esperada, su valor va de 0 a 0.1, donde 0.1 corresponde a situaciones donde todas las especies poseen la misma abundancia (cuadro 49).

Cuadro 49. Índices de diversidad alfa en los sitios evaluados del volcán Santo Tomas Pecul

No.	Ecosistema Forestal	
Sitio Los Pinos		
1	Simpson	1.263
	Shannon	0.6186
	J'	0.7573
Sitio Centro Ceremonial Pecul		
2	Simpson	0.5935
	Shannon	1.033
	J'	0.6125
Sitio Los Pinos Aliso		
3	Simpson	0.6718
	Shannon	1.147
	J'	0.8276
Sitio Los Pinabetes		
4	Simpson	0.8152
	Shannon	2.027
	J'	0.8155
Sitio Los Cipresales		
5	Simpson	0.5762
	Shannon	1.23
	J'	0.6867
Sitio La Loma de Caballo		
6	Simpson	0.865
	Shannon	2.413
	J'	0.8194

En base a los índices de diversidad alfa presentados en el cuadro 49 indica la diversidad para cada uno de los sitios:

- Sitio Los Pinos: son ecosistemas muy densos, los cuales presentan una gran equidad en las comunidades vegetales, por lo tanto son bosques dominados por las especies *P. hartwegii* Lindl en su cobertura forestal, y en estrados inferiores está en dominio la especie de pasto *Festuca sp.*
- Sitio Centro Ceremonial Pecul: Para este sitio, son masas con poca abundancia de especies arbóreas de clase de edad fustal, por lo que la dominancia para el estrado superior es de *P. hartwegii* Lindl, por lo que tienen una alta equidad en ocurrencia de especies vegetales (Veliz. et al, 2001).
- Sitio Los Pinos – Aliso: Este es un ecosistema de bosque ralo de *Pinus hartwegii*, como especie dominantes y el cual está compuesto por algunos ejemplares de *Alnus acuminata* y *Arbutus xalapensis*, este oscila entre los 3,300 m s.n.m a 3,545 m s.n.m (Veliz. et al, 2001).
- Sitio Los Pinabetes: Es un bosque muy ralo de la especies *Abies guatemalensis*, en él se han encontrado los mejores ejemplares de pinabete con una altura promedio de 30 m y casi 1 m de diámetro, el cual presenta como especies de sucesión secundaria las especies de *Buddleia sp.* su rango altitudinal, va desde 3,100 m s.n.m a 3,200 m s.n.m (Veliz. et al, 2001).
- Sitio Los Cipresales: Es un bosque denso, donde tiene una dominancia la especie *C. lusitánica* Mill. Con una densidad muy alta, lo que se ve influenciado por la aparición del fuego, por lo tanto su comportamiento a nivel de sotobosque es muy limitado, y lo compone en su mayoría una cama de combustibles leñosos (Veliz. et al, 2001).
- Sitio La Loma de Caballo: Este sitio está compuesto por la especies dominantes de *Pinus.* y *Alnus acuminata* y una limitada aparición de

ejemplares de *C. lusitánica* Mill, la composición vegetación de los estratos inferiores de pueden evidenciar la abundancia de distintas especies, lo que hacen de un bosque muy denso en todos su estratos (Veliz. et al, 2001).

b. Diversidad beta

La diversidad beta hace referencia a la diversidad entre habitas, por el grado de reemplazamientos de las especies producido por el cambio de la composición vegetal a través de gradientes ambientales, esta diversidad es evaluada en base a índices de similitud y disimilitud de las especies en función de las distintas áreas en estudios (Moreno., 2001).

Para los sitios evaluados del boque natural del volcán, se utilizó el indicé de similitud/disimilitud de Sorensen, los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 50.

Cuadro 50. Índice de Sorensen para cada sitio evaluado del volcán Sto. Tomas Pecul.

		SLP1			SCCP			SLPA			SLPI			SLCI		SLCA
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P1
SLP1	P1	1														
	P2	0.833	1													
	P3	0.889	0.727	1												
SCCP	P1	0.667	0.545	0.75	1											
	P2	0.667	0.545	0.75	1	1										
	P3	0.667	0.545	0.75	1	1	1									
SLPA	P1	0.6	0.5	0.667	0.667	0.667	0.667	1								
	P2	0.909	0.923	0.8	0.6	0.6	0.6	0.545	1							
	P3	0.667	0.727	0.75	0.75	0.75	0.75	0.667	0.8	1						
SLPI	P1	0.353	0.421	0.375	0.25	0.25	0.25	0.235	0.333	0.25	1					
	P2	0.353	0.421	0.375	0.25	0.25	0.25	0.235	0.333	0.25	0.917	1				
	P3	0.167	0.143	0.182	0.364	0.364	0.364	0.167	0.154	0.182	0.526	0.556	1			
SLCI	P1	0.182	0.154	0.2	0	0	0	0	0.167	0	0.444	0.556	0.167	1		
	P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.444	0.556	0.333	0.833	1	
SLCA	P1	0.417	0.538	0.348	0.348	0.348	0.348	0.417	0.48	0.348	0.645	0.645	0.32	0.4	0.4	1

Según el cuadro 50 hace referencia a los valores del índice de Sorensen, el relaciona el número de especies en común con relación a la media aritmética de las

especies de ambos sitios, con intervalos que van de 0 cuando no hay especies compartidas entre sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies. Por lo que en cuadro anterior se puede apreciar el dato del índice en las 16 parcelas de muestreo. En las figuras 29 a 33, se presenta los perfiles idealizados de la vegetación para cada uno de los sitios evaluados.

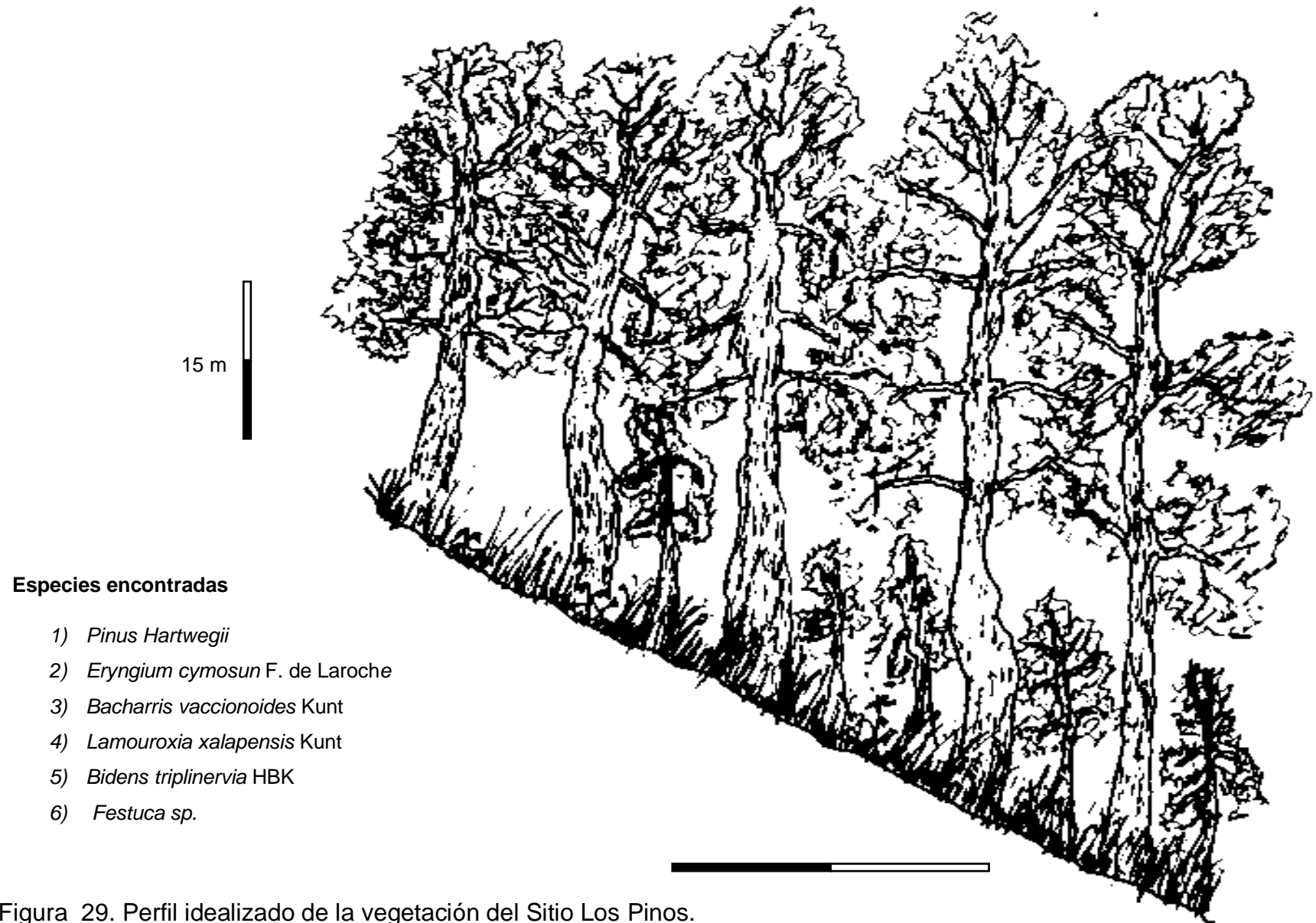


Figura 29. Perfil idealizado de la vegetación del Sitio Los Pinos.




Especies encontradas

- 1) *Pinus Hartwegii*
- 2) *Salvia sp*
- 3) *Bidens triplinervia* HBK
- 4) *Festuca sp.*

Figura 30. Perfil idealizado de la vegetación del Sitio Centro Ceremonial Pecul.

35 m




Especies encontradas

- 1) *Abies guatemalensis* Rehd.
- 2) *Buddleia* sp,
- 3) *Coxana purpurea* Court et Rose,
- 4) *Eryngium cymosun* F. de Laroche,
- 5) *Dahlia imperialis* Roetzl Ex Ortegias in Regel,
- 6) *Bacharis vaccinoides* Kunt,
- 7) *Ribens cilatum* Humbet Bonplex Roem Et Shult,
- 8) *Bidens* sp,
- 9) *Festuca* sp.



10 m

Figura 31. Perfil idealizado de la vegetación del Sitio Los Pinabetes.

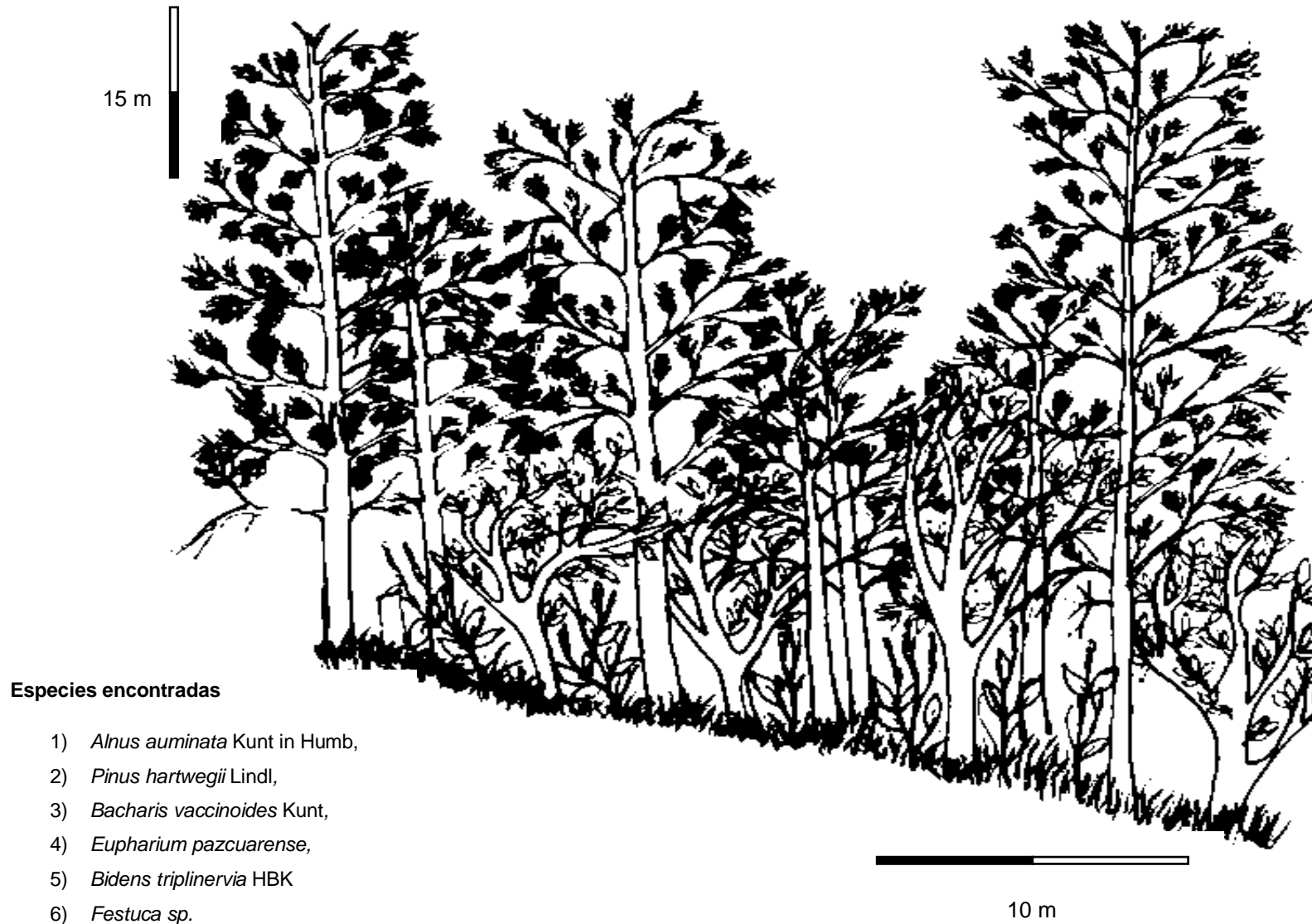
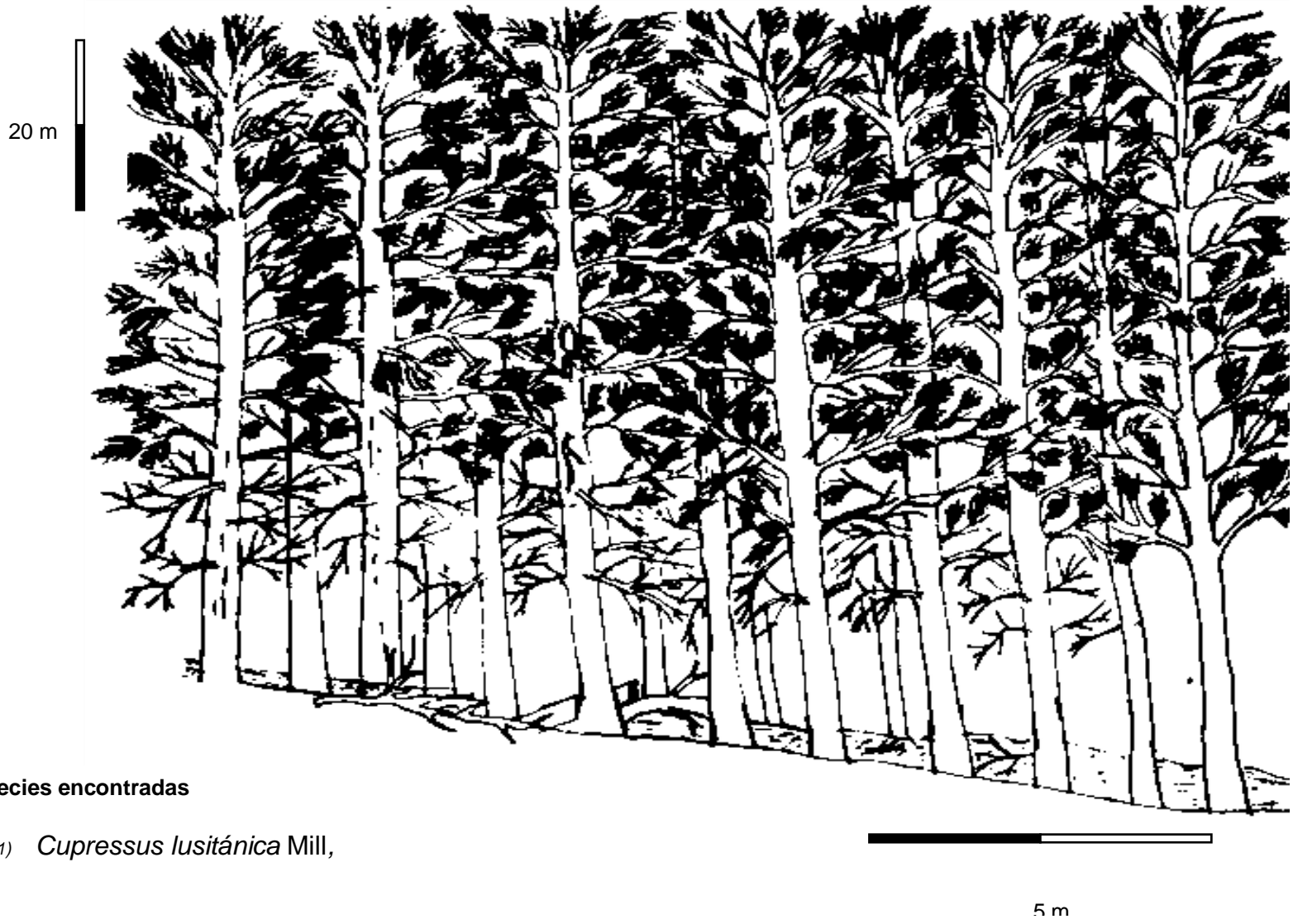


Figura 32. Perfil idealizado de la vegetación del Sitio Los Pinos – Aliso.



Especies encontradas

- 1) *Cupressus lusitánica* Mill,

Figura 33. Perfil idealizado de la vegetación del Sitio Los Cipresales.

Las figuras anteriores son los perfiles idealizados de la vegetación para cada uno de los sitios evaluados en el ecosistema forestal del bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul, esto parte como una representación gráfica de la composición y la estructura de los estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos de cada uno de los sitios.

2.5.2 Modelo de Sucesión vegetativa en base al régimen de fuego

En base a la metodología propuesta para la elaboración de un modelo de sucesión vegetativa para los sitios del ecosistema forestal del volcán Sto. Tomas Pecul, se empleó la técnica de side by side (Mueller-Dombios y Ellenger 1,974), en la cual ellos establecieron cinco estados de desarrollo para la sucesión vegetal para cada uno de los sitios, en base a esta clasificación para los ecosistemas del volcán, se muestran en el cuadro 51.

Cuadro 51. Clasificación de los ecosistemas evaluados en base a los estados de sucesión propuestos por Mueller - Dombios y Ellenger

Clasificación	Ecosistema Forestal	Régimen de Fuego
Estadio 1	N/A	N/A
Estadio 2	Pajonal	Incendios de alta intensidad y larga duración. Incendio ocurrido año (2009)
Estadio 3	Sitio Centro Ceremonial Pecul	Incendios de alta intensidad, alta frecuencia y larga duración. Incendios ocurridos años 2001, 2007, 20071, 2015
Estadio 4	Sitio Los Pinos Sitio Los Pinabetes Sitio Los Pinos – Aliso Sitio Los Cipresales	Incendio de alta intensidad, larga duración y baja frecuencia. Incendios ocurridos años 2001, 2009.
Estadio 5	Sitio La Loma de Caballo	No se reportan ocurrencia de incendios forestales.

Referencias: N/A = no aplica

El cuadro 51 indica la clasificación de los sitios del ecosistema forestal del Cerro Pecul, en el cual fueron clasificados los distintos estados en función de la composición y estado de la vegetación por cada sitio, como también se describen los episodios de fuego ocurridos en base al régimen de fuego ocurrido. Por lo tanto a continuación se describe cada sitio en base a su estado sucesional:

- **Estadio 1:** Se describe con áreas abiertas degradadas y/o con pastos o vegetación herbácea, cubiertas por gramíneas perennes, especies anuales y efímeras (edad 5 - 8 años).

En base a la descripción anterior en los ecosistemas forestales evaluados en el bosque natural del volcán Sto. Tomas Pecul, no se evidencio ningún área

con estas características de composición y estructura de la vegetación, en base al proceso de sucesión establecido.

- **Estadio 2:** Se describe con áreas con hierbas y arbustos, formados por espacios muy abiertos donde crecen arbustos como *Baccharis sp*, *Salvia sp*, *Stevia sp*, *Festuca sp* y otras, además presencia de herbáceas (edad 8 a 15 años). (Martínez, 2003)

Para este estado de sucesión, con fines de criterio de elaboración de modelo de sucesión se identificó un área llamada “El Pajonal”, este sitio da una representación de áreas con dominancia de los estratos herbáceos y arbustivos, entre su composición florística son áreas con dominancia de las especies *Coxana purpurea* Court et Rose, *Eryngium cymosum* F. de Laroche, *Dahlia imperialis* Roetzl Ex Ortegies in Regel, *Baccharis vaccinoides* Kunt, *Ribens cilatum* Humbert Bonplanch Roem Et Shult, *Bidens sp*, *Festuca sp*. y *Acaena elongata* L. en función a la dominancia de especies se indica que son áreas con total pérdida de la cobertura forestal, según la percepción comunitaria indicaron que estas áreas existían pocos ejemplares de especies forestales, posterior al incendio forestal del año 2,009, tuvo un régimen de alta intensidad y una duración 4 meses, hubo una pérdida total de estos ejemplares, por lo tanto las únicas especies que iniciaron el proceso de sucesión pertenecen a los estratos inferiores.

- **Estadio 3:** áreas con arbustos y árboles, Son lugares donde se aprecian arbustos desarrollados y se nota la presencia de algunos árboles jóvenes, la presencia de algunas especies de árboles de *Alnus sp*, Ciprés (*Cupressus lusitánica*), *Quercus sp*. y *Pinus sp*. con edad 15 a 30 años. Son áreas que en función a la clase de desarrollo de las especies arbóreas crean fragmentación de árboles aislados lo que incentiva la regeneración natural. (Martínez A, 2003)

Se clasificaron dos sitios presentes en el Bosque evaluado:

- **Sitio Centro Ceremonial Pecul:** este ecosistema está conformado en el estrato arbóreo por la especie *Pinus hartwegii*, la cual se presentó en un edad de desarrollo de latizales alto (> 5.5 cm < 9.9 cm de diámetro), en su composición arbustiva y herbácea dominan las especies *Salvia sp*, *Bidens triplinervia* HBK y *Festuca sp*. en base a su régimen de fuego son ecosistemas que han tenido tres episodios de fuego en los años 2,001, 2,007 y 2,009, los cuales han sido de alta intensidad y con un promedio de 2 meses de duración.

 - **Sitio Los Pinos:** En este ecosistema se tienen una dominancia de ejemplares arbóreos de *Pinus hartwegii*, con una edad estimada de 18 años edad, en el cual se evidencia un impacto positivo del fuego, ya que el régimen de fuego en este ecosistema de dos incendios en el año 2,001 y 2,009, con una intensidad media alta, y una duración máxima de 4 meses. En este ecosistema se evidencia una alta regeneración natural de la especies árboles dominante, y sus estratos inferiores lo componen las especies *Eryngium cymosun* F. de Laroche, *Bacharris vaccionoides* Kunt, *Lamouroxia xalapensis* Kunt, *Bidens triplinervia* HBK y *Festuca sp*.

 - **Estadio 4:** Son áreas con árboles de otras especies forestales dominando sobre las especies originarias del tipo de bosque, en bosques de Pinabete se localizan adyacentes a los a parches de esta especie. También puede darse el caso de áreas donde quedaron árboles aislados de las especies originales. En este estudio este estado de sucesión es provocado por el impacto directo del régimen de fuego ocasionado por los incendios forestales. (edad 30 a 80 años). (Martínez, 2003)
- Se clasificaron los siguientes ecosistemas forestales, los cuales presentaron este estado de sucesión.

- **Sitio Los Pinos – Aliso:** Este ecosistema, el estrato arbóreo está compuesto por la especies de *Alnus acuminata* Kunt in Humb, *Pinus hatwegii*. las cuales se presentan espacios fragmentados de la masa arbórea dando como resultado la dominancia en algunos sitios de la especie *Alnus sp*, la cual sustituyo a la especie original del bosque el cual es el *Pinus sp*. por lo que se apreció un mejor desarrollo de la especie de sucesión secundaria. En su estrato herbáceo y arbustivo lo componen las especies de *Bacharis vaccinoides* Kunt, *Eupharium pazcuarensense*, *Bidens triplinervia* HBK y *Festuca sp*. Este ecosistema presenta un régimen de fuego con una ocurrencia de un incendio forestal, de alta intensidad y larga duración.

- **Sitio Los Pinabetes:** En este sitio se observó la fragmentación del bosque de Pinabete provocando espacios muy abiertos con árboles aislados de esta especie, lo que llevo a la aparición y dominancia de las especies arbóreas *Buddleia sp*. Como ejemplares de un bosque de sucesión secundaria, dicha especie presenta la mayor dominancia en base a la abundancia y frecuencia de la misma. Para los estratos inferiores lo conforman las especies de *Coxana purpurea* Court et Rose, *Eryngium cymosun* F. de Laroche, *Dahlia imperialis* Roezl Ex Ortegies in Regel, *Bacharis vaccinoides* Kunt, *Ribens cilatum* Humbet Bonplex Roem Et Shult, *Bidens sp*, *Festuca sp*. y *Acaena elongata* L. El régimen de fuego identificado es el mismo al del sitio Los Pinos – Aliso.

- **Sitio Los Cipresales:** Es una conformación vegetal con una alta densidad de la especie arbórea de *Cupressus lusitánica*, la cual ha sido producto del impacto del fuego sobre este ecosistema, en este ecosistema no se evidencio mayor diversidad de especies arbustivas, lo cual es provocado por el efecto alelopático o contaminante de los suelos, por lo que es una masa homogénea que ha sido modificada por la

ocurrencia de incendio de alta intensidad y de larga duración con una frecuencia de un episodio de fuego.

- **Estadio 5:** Bosque maduro con dominancia de las especies de árboles de *Pinus sp*, *Alnus sp*, *Ciprés (Cupressus lusitánica)* y *Abies guatemalensis*. Son áreas donde no ha ocurrido ningún tipo de perturbación por el efecto del fuego. (edad > 50 años). (Martínez, 2003)

Se clasifico como un estadio 5 al ecosistema forestal **Sitio La Loma de Caballo:** el cual presenta un bosque maduro con un domino de las especies de *Pinus hartwegii* y *Alnus acuminata*, con algunos ejemplares de *Cupressus lusitánica*. Esto son bosques con un alta densidad provocado por la ausencia de la perturbación provocada por el fuego, son árboles con una altura promedio de 25 m y un diámetro promedio 45 cm. En base a la composición por los estratos inferiores presentan la mayor cantidad de especies tales como *Coxana purpurea*, *Eryngium cymosun*, *Dahlia imperialis*, *Bacharis vaccinoides* Kunt, *Ribens cilatum*, *Bidens sp*, *Festuca sp.*, *Acaena elongata* L, *Monina xalapensis*, *Fuchsia microphylla*, *Gaulteria myrsinoides* Kunt, *Lamouroxia xalapensis* Kunt, *Salvia sp.*, *Bidens sp* y *Eupatorium sp*. Por lo tanto, este ecosistema es la representación del bosque sin ningún tipo de perturbación.

En base a la clasificación anterior se propone el siguiente esquema del modelo de sucesión vegetal para los sitios del bosque natural, los cuales son influenciados por distintos regímenes de fuego, mostrados en la figura 34.

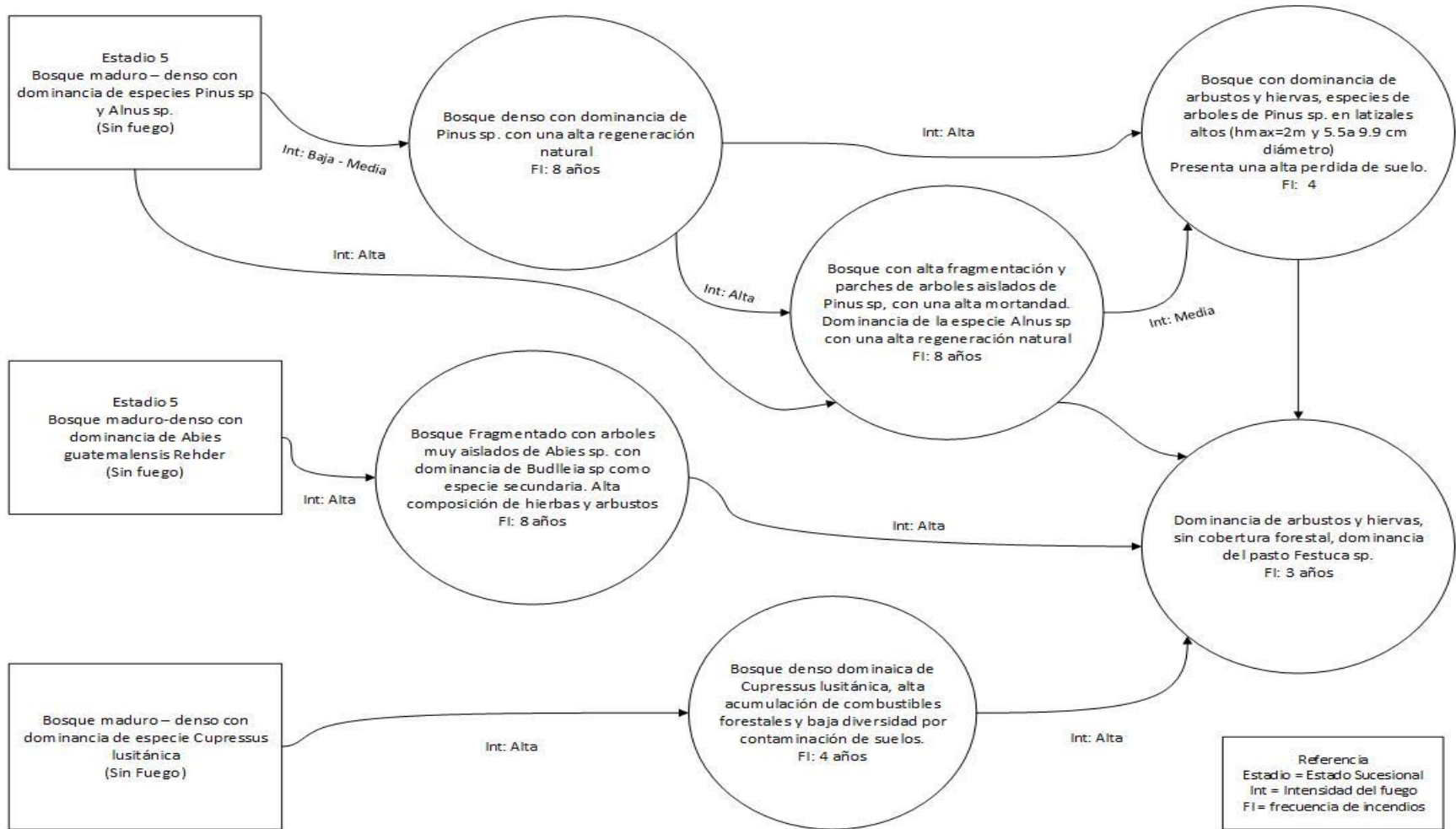


Figura 34. Modelo de sucesión vegetal para el bosque natural del volcán Sto. Tomás, según su régimen de fuego.

2.5.2.1 Interpretación del modelo de sucesión vegetativa

En base a la figura 34 la cual representa de forma gráfica el modelo de sucesión vegetal para los ecosistemas forestales del volcán, en base a los regímenes de fuego ocurridos en el mismo, por lo tanto, se da una interpretación por cada composición vegetal en función a la dominancia de las especies arbóreas. Dicha interpretación como resultado del modelo de sucesión vegetativa se hacen por medio de conformaciones de bosque de las especies forestales dominantes, las cuales son descritas a continuación.

A. Conformación Bosque de *Pinus sp* y *Alnus sp*.

En los ecosistemas del Bosque natural, los ecosistemas forestales que en su estructura y composición vegetal estén conformados por Bosques con dominancia de árboles de las especies *Pinus hartwegii* Lindl y *Alnus acuminata* Kunt in Humb, se identificó la importancia ecológica de esta conformación la aplicación del uso del fuego a bajo los lineamientos de un plan de manejo integrado del fuego, ya que la especie *Pinus sp*, es característica de estos ecosistemas. (Veliz. et al, 2001). En base a esto se evidencio el impacto ecológico que es ocasionado por el fuego, da un resultado benéfico para incentivar la sostenibilidad ecológica de este ecosistema, esto se lograría si se establece el uso del fuego para este tipo de bosque un régimen de baja intensidad y baja frecuencia (cada 8 años), el cual se concuerda con Rodríguez et al (2,003), en su estudio “Fire ecology of Mexican pine and fire management proposal”, en el que el autor indica que con un régimen óptimo de baja intensidad y baja frecuencia aporta un incentivo potencial en el desarrollo ecológico de estos bosques. Por lo tanto esta especie es una de las mejores adaptadas al fuego, y con un régimen optimo crea el estado clímax del ecosistema (Rodríguez et al, 2003), aumentando potencialmente la regeneración natural ya que en este régimen se estable un promedio

de regeneración de 2,634 plántulas / ha (figura 9), tal se estableció en los sitios donde existe la dominancia de las especies *Pinus hartwegii* y *Alnus acuminata*.

Mientras si se establece un régimen de fuego de alta intensidad y alta frecuencia (4 años), en este ecosistema forestal sufriría cambios vegetaciones desfavorables, siendo los escenarios de bosques con árboles aislados de *Pinus sp*, con una alta mortandad y un aumento en el dominio de la especie *Alnus spp*, tanto como su dominio en el estrato superior se incentivara a un aumento en la regeneración natural de la especie inhibiendo el crecimiento de *Pinus sp*. Otro de los escenarios perjudiciales para este tipo de bosque es el uso régimen de alta intensidad y una frecuencia muy alta (3 años), provocando un cambio en la conformación, ya que se volverían áreas con dominio de arbustos y hiervas, con algunos ejemplares de *Pinus sp*, en su estado de desarrollo Latizales altos, por lo que la falta de cobertura vegetal aumentaría la susceptibilidad de las pérdidas de suelo.

B. Conformación Bosque *Abies guatemalensis* Rehder.

Para los ecosistemas forestales con dominancia de *Abies guatemalensis*, se propone la exclusión del fuego, debido a que esta especie por sus características morfológicas y anatómicas y su clasificación según la ecología del fuego es una especie sensible al fuego, esto es provocado ya que la especie carece de mecanismos morfológicos, anatómicos y fisiológicos que no le permiten adaptarse a episodios de fuego, como también la alta inflamabilidad de la especie.

Por lo encontrado en las conformaciones de Bosque de *Abies guatemalensis*, que han sido afectadas por el régimen de fuego de alta intensidad y frecuencia baja (8 años), se vio el cambio de la estructura vegetal con una fuerte fragmentación de la masa

forestal y la formación de parches de ejemplares aislados de esta especie, como también se observó el dominio de la especie secundaria *Buddleia spp*, acompañada de altas densidades de las especies arbustivas y herbáceas , *Coxana purpurea Court et Rose*, *Eryngium cymosun*, *Dahlia imperialis*, *Bacharis vaccinoides*, *Ribens cilatum*, *Bidens sp*, *Festuca sp*. Y *Acaena elongata L.* teniendo estas una cobertura muy extensa, que aunque sean relacionadas con la nodriscidad de las mismas con la regeneración natural de *Abies guatemalensis*. (Martínez A, 203), se evidencio la inexistencia de la regeneración natural en este ecosistema.

C. Conformación Bosque de Ciprés (*Cupressus lusitánica*)

Para los ecosistemas forestales con dominancia de la especie *Cupressus lusitánica*, se ve como el impacto del fuego no ha jugado un rol benéfico, ya que en este ecosistema se evidenció la conformación de una masa con una alta densidad, con una alta competencia, por lo que el rol del fuego provocado por los incendios forestales, aumento a gran escala la regeneración natural, por lo ende la alta densidad produce un cierre del dosel que inhibe el crecimiento de especies de los estratos herbáceos y arbustivos, esto se debe a que a la producción de una toxicidad del suelo por los residuos naturales de la especie arbórea, según (Rodríguez et al, 2003), expone que la contaminación por Ciprés en el suelo provoca un cambio en el pH del mismo, lo cual inhibe el crecimiento de otro tipo de vegetación, debido también se asume que la regeneración natural se ve inducida por la toxicidad de los suelos, ya que la acumulación de residuos naturales no permite el desarrollo óptimo de la regeneración, por lo que el régimen del fuego alterado por los incendios forestales no es el adecuado para este tipo de ecosistemas, por lo que es de suma importancia introducir el fuego con un régimen de baja intensidad y baja frecuencia para el manejo de los residuos forestales y que también tenga como función la disminución de la cama de combustibles forestales.

2.5.3 Cuantificación de combustibles forestales

En el cuadro 52, se presentan los principales valores obtenidos de la carga de combustibles forestales por cada uno de los sitios evaluados en el Bosque natural del Volcán Sto. Tomas Pecul.

Cuadro 52. Carga de combustibles forestales en T/ ha, por material leños y no leñoso de los ecosistemas forestales.

No.	Ecosistema Forestal	Leñosos por Tiempo de Retardo (T /ha)					No Leñosos (T/ ha)		Carga Total
		1 h	10 h	100 h	1000 h	Total	C. Ccom	C. Cf	
1	SLP	0.04	5.74	12.56	130.28	148.61	47.25	9.07	204.93
2	SCCP	0.01	0.02	9.56	0.00	9.59	4.79	0.00	14.38
3	SLPA	0.03	3.07	41.32	208.18	252.60	31.68	5.86	290.14
4	SLPI	0.03	3.24	44.24	875.84	923.35	32.76	9.14	965.25
5	SLCI	0.01	1.12	85.63	99.89	186.66	24.43	8.06	219.15
6	SLCA	0.03	6.95	117.34	481.61	605.93	47.25	10.58	663.76
	Total	0.14	20.15	310.66	1795.80	2126.74	188.16	42.71	2357.61

Referencias: SLP= Sitio Los Pinos, SCCP= Sitio Centro Ceremonial Pecul, SLPA= Sitios Los Pinos – Aliso, SLPI=Sitio Los Pinabetes, SLCI, Sitio Los Cipresales y SLCA= sitio La Loma de Caballo, C. Ccom= carga de cama de combustibles, C. Cf= carga de capa de fermento.

Según el cuadro 52, indica la carga de los principales sitios evaluados, las cargas se clasificaron en materiales leñosos y no leñosos. Para el primero se estimaron por el tiempo de retardo (horas) de los combustibles, con las siguientes categorías: 1 h, 10 h, 100 h y 1000 h, y en el segundo se presentan las categorías de carga de cama de combustibles (C. Ccom) y carga de capa de fermento (C. Cf).

Según los resultados obtenidos, se estima que la carga total de combustibles para el Bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul es de 2,357.61 T/ha. Siendo esta un alto valor de carga de combustible, ocupando la mayor cantidad de carga los materiales leñosos estimando una carga de 2,126.74 T/ha. Mientras que el material no leñoso ocupa 230.87 T/ha.

En función a sitio, se presentan los tres sitios que presentan la mayor carga de combustibles: El Sitio La Loma de Caballo teniendo un valor de 663.76 T/ha. Esto se evidencia por ser un bosque sobre maduro en el cual no ha sido intervenido de forma natural (régimen de fuego natural), ni por factores antropogénicos (incendios provocados), el cual también presentó la mayor carga de material leñoso de 5,863.95 T/ha. Como segundo sitio con mayor carga se encuentra Sitio Los Pinabetes con 965.25 T/ha. En este debido a la composición y la estructura vegetal se identificaron los individuos con mayores valores dasonométricos en la especie *Abies guatemalensis Rehder*. Como también la alta densidad de la especie *Buddleia sp.* Por último se encuentra el Sitio Los Pino – Aliso para el cual se estimó una carga total de 290.14 T/ha. Esto se debe a la dominancia de las especies *Pinus hartwegii* y *Alnus acuminata*, las cuales presentaron altos valores dasonométricos a pesar de que es un ecosistema degradado el peso de la carga de material leñoso es alto teniendo un estimado de 252.60 T/ha.

En cuanto a los sitios que presentan una carga media, encontramos los Sitios Los Pinos y Cipresales, para el primero un peso de 204.93 T/ha y 219.15 T/ha para el segundo, esto se debe que en estos sitios la carga ha sido modificada por los episodios de fuego ocurridos, controlando por efecto del fuego la densidad y las características dasonométricas, como también se observó que son bosques jóvenes influidos por el fuego en procesos de sucesión óptima induciendo al peso de la carga de combustible, las especies forestales con dominancia en estos sitios se encuentran el *Pinus hartwegii* Lind. Y *Cupressus lusitánica* Mill.

Por último el sitio que presentó menor peso en la carga de combustible es el Sitio Centro Ceremonial Pecul con un valor de 14.38 T/ha. En el cual la clase de desarrollo del estrato arbóreo se clasifica como latizales altos, siendo este un área de regeneración, ya que en su estructura vegetal no encuentran con individuos con alturas mayores a los 6 m.

En la figura 35, se presenta en forma gráfica la carga total de combustibles de los sitios en el bosque natural del Volcán.

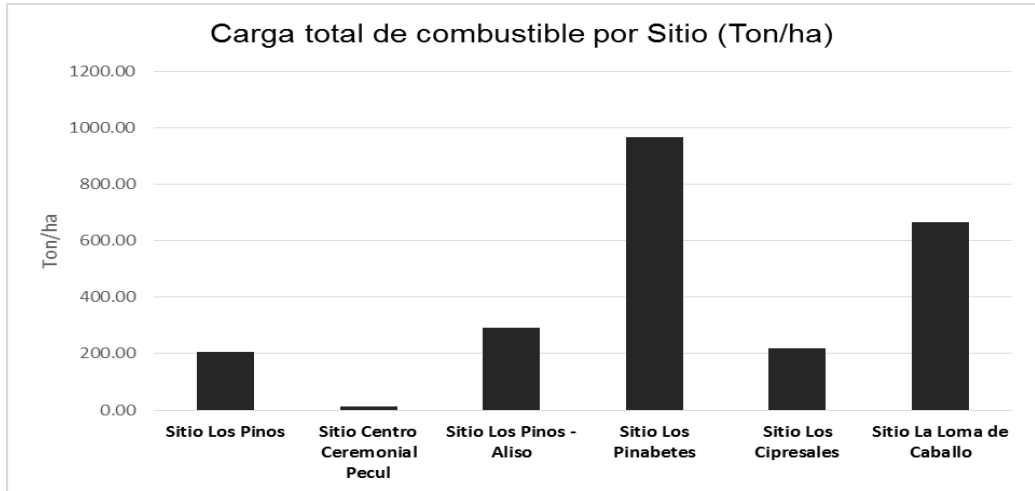


Figura 35. Carga total de combustibles forestales en T/ha, en los Sitios del bosque natural.

2.5.3.1 Dinámica de la carga de combustibles leñosos

En la figura 36, se presentan la distribución de los valores de la carga de combustible leñoso por tiempo de retardo, por los sitios evaluados.

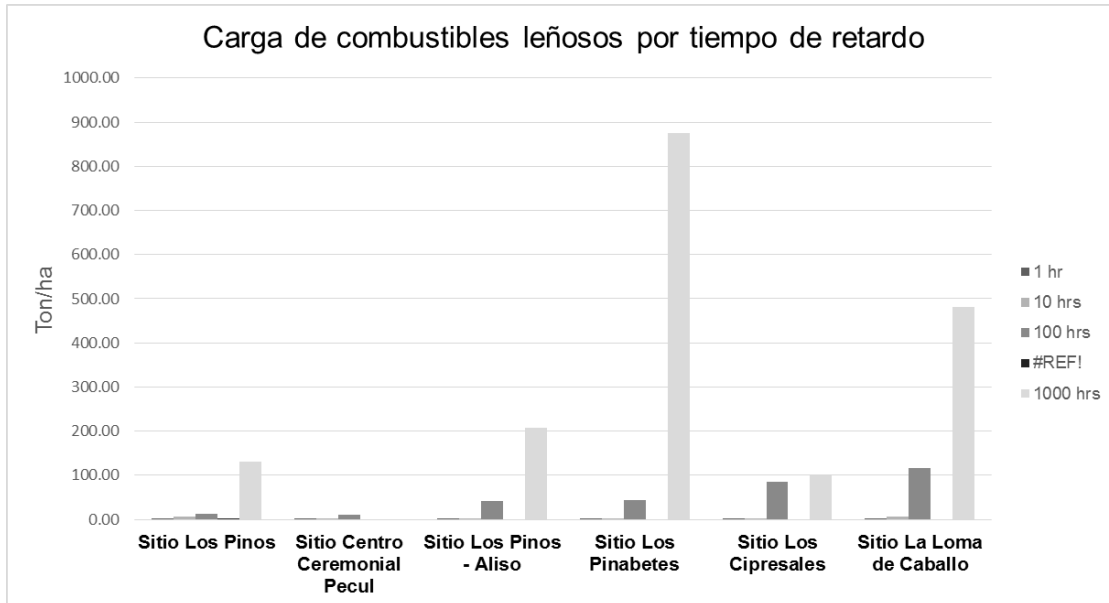


Figura 36. Distribución de la carga de combustible leñoso por tiempo de retardo, en los sitios del bosque natural.

En la figura 36, se ve que la mayor carga de combustible de los materiales leñosos, según su tiempo de retardo. La categoría que ocupa la mayor carga es la de combustibles pesados, son aquellos que cuentan más de 7.5 cm de diámetro, los cuales tienen un estimado de 1,795.80 T/ha, en el Bosque natural del Cerro Pecul, por lo tanto los sitios con mayor cantidad de carga en esta categoría son Sitio Los Pinabetes (875.84 T/ha), Sitio la Loma de Caballo (481.61 T/ ha) y el Sitio Los Pinos – Aliso (208.18 T/ha). Por lo tanto, esta zonas son de suma importancia evidenciar ya que esta propensas a incendios de larga duración, esto es debido a que están compuestos por combustibles pesados los cuales tienden a perder humedad de forma más lenta, pero en caso que exista la ignición de estos combustibles provocarían incendios de larga duración y de difícil control.

2.5.3.2 Dinámica de la carga por cama de combustibles y cama de fermento

La estimación del peso del combustible de la cama de combustibles y la capa de fermento, es de suma importancia para ver el contenido de material superficial que está disponible en el bosque. En la dinámica de un incendio forestal las camas de combustibles y cama de fermentación, cumplen un rol importante en la propagación del mismo, ya que indican la continuidad horizontal en base a la disposición de materiales provocando los incendios superficiales, como también es la acumulación de materiales que pierden humedad con mayor facilidad (figura 37).

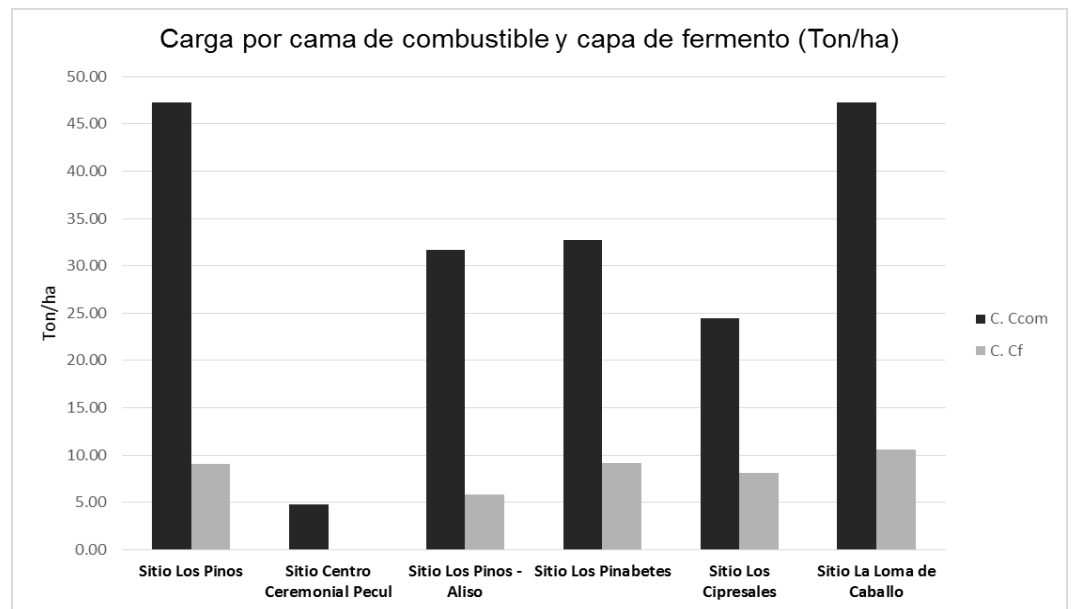


Figura 37. Valor de carga de combustible T/ha, provenientes de la cama de combustibles y capa de fermento, por cada sitio.

Según la figura 37, presentan los valores del peso de la carga para las camas de combustible (C. Ccom) y la capa de fermento (C. Cf), por cada uno de los sitios, siendo los Sitios Los Pinos y La Loma de Caballo, los que presentan el mayor peso, siendo estos de 56.32 T/ha y 57.83 T/ha respectivamente. Por lo tanto, estos sitios tienen

estos valores debido a la alta densidad en la vegetación, provocando la acumulación de restos vegetales y también a la alta diversidad de los estratos inferiores (herbáceo y arbustivo), lo que permite que exista un alto riesgo a incendios superficiales.

Mientras que entre los Sitios Los Pinos – Aliso, Los Pinabetes y Los Cipresales existen valores muy similares, siendo para el primero 37.54 T/ha, en el segundo 41.89 T/ha y el último 32.48 T/ha. Esto indica que la acumulación de material vegetal es menor, debido a los fuertes efectos sobre la masa arbórea por los episodios de fuego ocurridos en estos ecosistemas.

La figura 38, indica la altura promedio de la C. Com y C. Cf, de los sitios presentes en Bosque natural del volcán en cual se estima con una altura media de 17.6 cm, por lo que se consideran valores altos, por lo que la continuidad horizontal en relación a la dinámica del fuego sobre un ecosistema forestal es alta (figura 25).

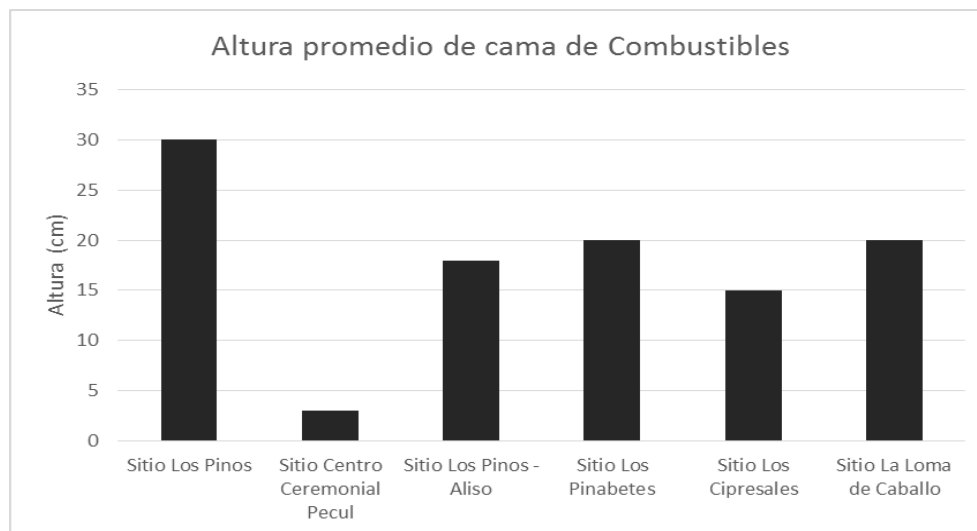


Figura 38. Altura promedio (cm), de C.Com y C.Cf por Sitio en el Bosque natural.

La relación de la carga de combustibles no leñosos se evidencia de forma directa con la altura de la cama de combustible, por lo que indica la figura 39, de que a mayor altura de la cama de combustible mayor será la carga. La altura de la cama está influenciada por los factores de densidad de la masa arbórea induciendo a la acumulación de restos vegetales (hojarasca de coníferas), La perturbación natural de los bosques provocando la acumulación de restos maderables (árboles muertos y ramillas) y la estructura y composición de los estratos inferiores (sotobosque), según el tipo de vegetación del sotobosque determina de forma directa la altura.

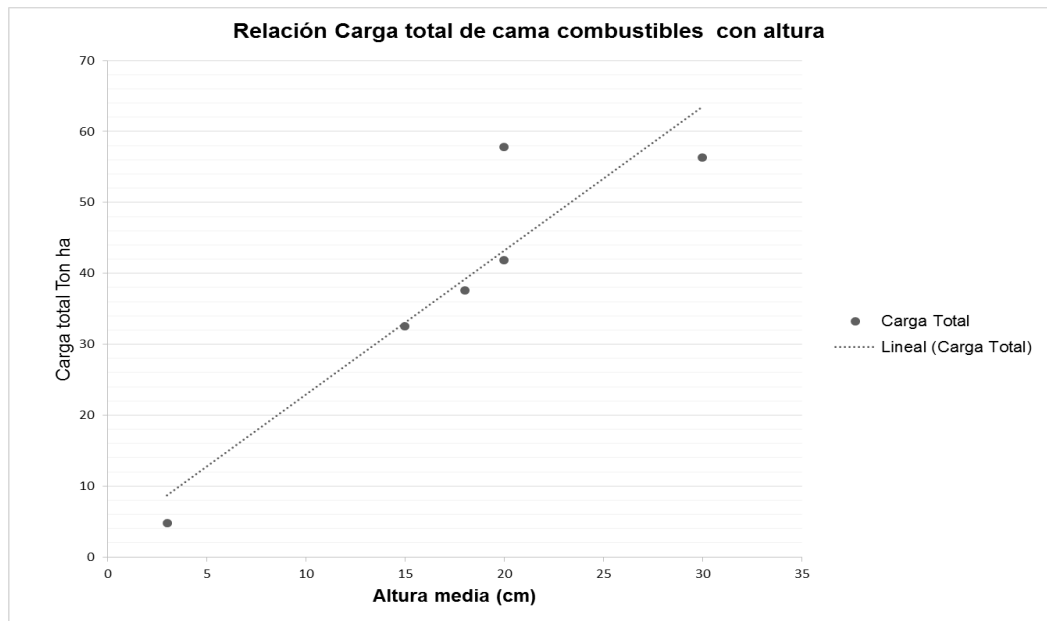


Figura 39. Relación de Carga T/ha de la cama de combustible y capa de fermento con la altura media.

La figura 40, indica el porcentaje de los principales materiales que componen la cama de combustibles, los cuales fueron encontrados en los seis sitios evaluados. En los cuales la composición de la C. Ccom y C. Cf. Representa un 46% por estratos herbáceos y arbustivos, en los que se puede mencionar la especie de pasto *Festuca sp.* Siendo la presente en la mayor parte de los sitios y entre otras especies herbáceas y arbustivas.

El 31 % está compuesto por restos maderables, entre los que se pueden mencionar residuos leñosos por incendios anteriores, ramillas y trozas en estado de pudrición, como también árboles en pie con una mortalidad total. Por último 23 % está compuesto por los restos hojarasca de bosque de coníferas, entre los que se encontró las acículas y hojas del estrato arbóreo.

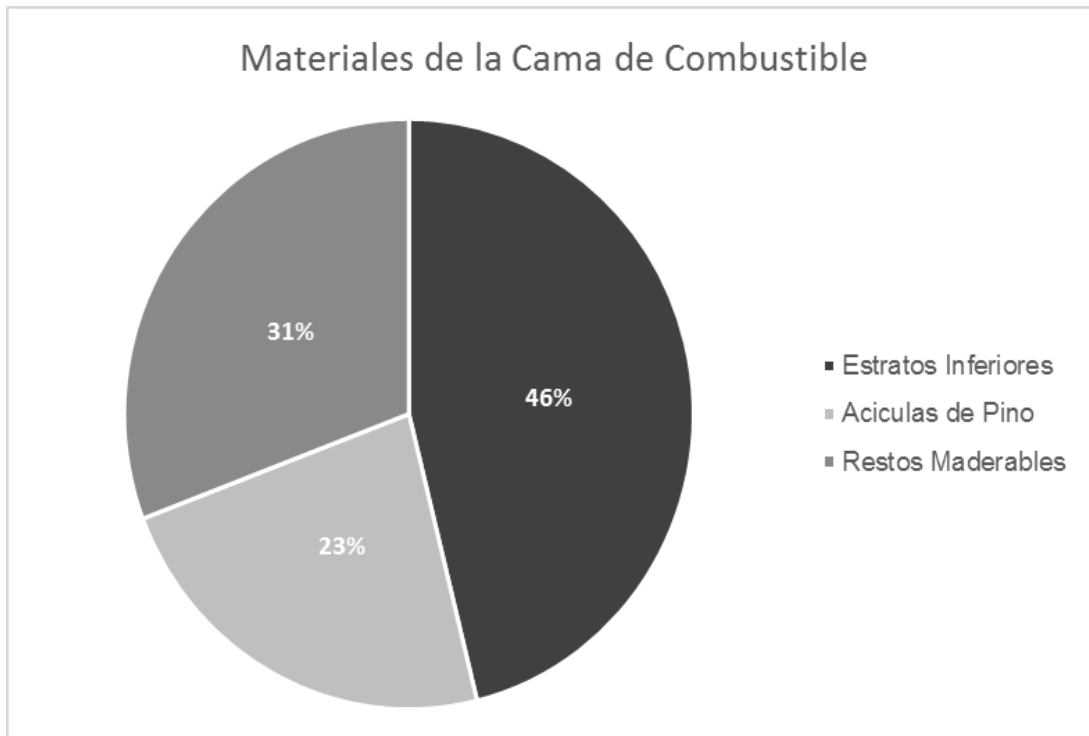


Figura 40. Principales materiales de la cama de combustibles.

2.5.4 Identificación del riesgo en las áreas a incendios forestales

La estimación de la probabilidad de ocurrencia o riesgo de incendios forestales, es un componente de un sistema de evaluación del grado de peligro para un ecosistema forestal, como también indica la intervención por medio de actividades de prevención y combate contra incendios forestales, como también vincular este tipo de actividades en el manejo y uso del fuego como herramienta de mitigación de riesgo.

El riesgo de incendios se considera como la probabilidad de que se produzca un incendio en una zona y en un intervalo determinado (Guillermo, 1990). Como una herramienta para la estimación del riesgo del bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul, se estimaron diferentes riesgos por medio de índices compuestos de variables naturales de los ecosistemas presentes en el Bosque natural.

Los principales riesgos evaluados son: riesgo por la estructura vegetal, riesgo territorial, riesgo por valores meteorológicos y riesgo por frecuencia. De los cuales se tuvieron los siguientes resultados:

2.5.4.1 Riesgo por la estructura vegetal

El riesgo por la estructura vegetal, hace referencia a todos los componentes de la estructura y composición vegetal de cada uno de los ecosistemas encontrados, para el cual se utilizaron los siguientes índices: índice por formación vegetal, índice por tipo de cobertura, índice combustibilidad de los materiales leñosos, índice por tiempo de retardo de los combustibles e índice por carga total de combustibles, (cuadro 53).

Cuadro 53. Matriz la evaluación de riesgo por estructura vegetal, por sitio del bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul.

Índices de riesgo Ecosistema Forestal	Índice por formación vegetal	Índice por tipo de cobertura	Índice por combustibilidad	Índice por carga total
Sitio Los Pinos	ALTO	ALTO	MODERADO	ALTO
Sitio Centro Ceremonial Pecul	MODERADO	MUY ALTO	MODERADO	BAJO
Sitio Los Pinos - Aliso	ALTO	MODERADO	MODERADO	ALTO
Sitio Los Pinabetes	ALTO	MUY ALTO	MODERADO	ALTO
Sitio Los Cipresales	ALTO	MODERADO	ALTO	ALTO
Sitio La Loma de Caballo	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

Según el cuadro 53, indica la categoría de riesgo potencial por cada índice por cada sitio del ecosistema forestal del Bosque. Para el índice por formación vegetal la mayor parte de los sitios presentan un riesgo alto de incendio, ya que su principal formación vegetal, son formaciones densas arboladas.

Para el índice por cobertura los sitios Centro Ceremonial Pecul y Los Pinabetes, son los que presentan la categoría “ALTO”, esto se debe a que su tipo de cobertura, existe una alta densidad de los estratos herbáceos y arbustivos, siendo estos los que tienen mayor riesgo a incendios. Para los sitios Los Pinos y La Loma de Caballo presentan la categoría alto, ya que estos por su dominancia de la cobertura arbórea están compuestos por materiales más gruesos y pesados. Mientras que los sitios Los Pinos – Aliso y Los Cipresales, se categorizan en moderado por la evidente fragmentación de la masa arbórea y la formación del dosel que es abierto.

Para los índices por combustibilidad los sitios Los Cipresales y La Loma de Caballo, son sitios categorizados de alto riesgo, ya que por su composición de combustibles tiempo de retardo, existe una predominancia de combustibles pesados y combustibles finos, lo que incentivan al alto riesgo por la facilidad de ignición en estos ecosistemas. Mientras que los sitios restantes son de riesgo moderado, esto es provocado, ya que en ellos predominan los combustibles más pesados o gruesos según la clasificación por retardo, lo que provoca que exista una lenta ignición de los material debido al volumen de los mismos, pero es de saber que en caso de que estos materiales llegaran a tener alguna fuente de ignición provocarían incendios más intensos y de larga duración.

Categorización de riesgo por el índice de la carga de combustibles totales por sitio, la mayor parte de los sitios según el cuadro 52 indica que están compuestos por cargas mayores a las 100 T/ha, por lo cual, estos presentan una categoría de riesgo alto,

exceptuando el sitio Centro Ceremonial Pecul el cual tiene una categoría de riesgo bajo, ya que expresa una carga total entre el rango de 1 – 50 T/ha.

2.5.4.2 Riesgo territorial

El riesgo territorial, hace referencia al riesgo provocado por los aspectos superficiales del terreno como la pendiente, la velocidad de propagación por pendiente y también la insolación provocada por la exposición de cada sitio con respecto a la trayectoria del sol. Para este riesgo se estimaron los índices de riesgo por pendiente, por insolación y por velocidad de propagación. Por lo cuales se realizó la siguiente categorización por sitio, mostradas en el cuadro 54.

Cuadro 54. Matriz para evaluar el riesgo territorial por sitio del bosque natural.

Índices de riesgo Ecosistemas Forestales	Índice por pendiente	Índice por insolación	Índice por velocidad de propagación
Sitio Los Pinos	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
Sitio Centro Ceremonial Pecul	MODERADO	MUY ALTO	BAJO
Sitio Los Pinos - Aliso	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
Sitio Los Pinabetes	ALTO	BAJO	MUY ALTO
Sitio Los Cipresales	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
Sitio La Loma de Caballo	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO

El cuadro 54, indica el valor de riesgo territorial en cada uno de los sitios, según el índice por pendiente y el índice de velocidad de propagación, esta vinculados de forma directa, ya que se estima que la dinámica de la velocidad de propagación es inducida de forma directa por el porcentaje de pendiente del terreno, teniendo un comportamiento que entre mayor sea la pendiente; mayor será la velocidad de propagación del fuego sobre los combustibles presentes. En el Bosque natural se evidencia un alto riesgo por este índice ya que la mayor parte de los sitios presentan una categoría de riesgo “MUY ALTO”, esto es ya que el porcentaje promedio de

pendiente de estos sitios se encuentra en el rango de 50 % – 60 % de pendiente del terreno, siendo áreas con una fuerte inclinación del terreno, por lo que el riesgo de la continuidad horizontal del fuego sobre estos ecosistemas es significativo. Por lo que es de considerar de darle un manejo de combustibles para la disminución de este riesgo.

Mientras que el sitio Centro Ceremonial Pecul, presenta una categoría de riesgo bajo, ya que la mayor parte del área ocupada por este ecosistema tiene un rango 20 % – 30 % de pendiente.

El índice por insolación, presentó para la mayoría de los ecosistemas evaluados están en una categoría de riesgo “MUY ALTO” ya que la mayor parte del área del bosque natural del volcán, se encuentra en una exposición SUR ESTE, siendo esta zonas que se ven influenciadas por la fuente de calor natural proveniente del sol, por recibir mayor cantidad de horas luz/día.

2.5.4.3 Riesgo por valores meteorológicos

El riesgo por los valores meteorológicos son de suma importancia ya que hacen referencia a los valores medios de temperatura y precipitación, que unos de los factores importantes en el control del contenido de humedad de los combustibles, por lo que la estimación de riesgo en cada uno de los ecosistemas se presenta en el cuadro 55.

Cuadro 55. Matriz para evaluar el riesgo por factores meteorológicos en cada ecosistema del bosque natural.

Índice de riesgo Ecosistema Forestal	Índice por precipitación media	Índice por temperatura media
Sitio Los Pinos	ALTO	ALTO
Sitio Centro Ceremonial Pecul	ALTO	ALTO
Sitio Los Pinos - Aliso	ALTO	ALTO
Sitio Los Pinabetes	ALTO	ALTO
Sitio Los Cipresales	ALTO	ALTO
Sitio La Loma de Caballo	ALTO	ALTO

Según el cuadro 55, los principales índices evaluados para la estimación de riesgo por factores meteorológicos son los siguientes: índice por precipitación media e índice por temperatura media. Según los parámetros de riesgo en el ecosistema forestal del volcán, se categoriza de riesgo ALTO. Esto se debe a que el bosque en general presenta condiciones homogéneas en temperatura y precipitación. El promedio de precipitación para el Bosque natural se encuentra en el rango de 1,181 mm – 1,794 mm / año, por lo que la precipitación tiene su pico más alto en los meses de época de lluvia, pero son ecosistemas muy secos y susceptibles a sequías prolongadas en los meses de diciembre a marzo en los cuales se han registrado la mayor cantidades de incendios forestales. Mientras que por el índice de temperatura media presentan un riesgo alto, categorizados como ecosistemas de clima frío a muy frío, con una temperatura media anual de 10 °C a 18 °C.

2.5.4.4 Riesgo por frecuencia de incendios

La categorización de riesgo por frecuencia de incendios, se obtuvieron los parámetros de riesgo por episodios de fuego ocurridos (Número de incendios) en cada uno de los ecosistemas forestales presentes para el periodo de años 2,000 – 2,016. Por lo tanto,

el cuadro 56 presenta en base al índice de ocurrencia de incendios la categoría de riesgo por sitio.

Cuadro 56. Matriz para evaluar el riesgo por frecuencia de incendios ocurridos en los ecosistemas forestales del volcán Sto. Tomas Pecul.

Ecosistema Forestal	Índice de riesgo	Índice por frecuencia
Sitio Los Pinos		BAJO
Sitio Centro Ceremonial Pecul		MODERADO
Sitio Los Pinos - Aliso		BAJO
Sitio Los Pinabetes		BAJO
Sitio Los Cipresales		BAJO
Sitio La Loma de Caballo		BAJO

Para el ecosistema forestal del Cerro Pecul, se estima que la mayor parte de los sitios evaluados son de riesgo “BAJO”, esto hace énfasis a que los sitios en esta categoría han sido perturbados por la frecuencia de 1-2 incendios forestales en el periodo 2,000 – 2,016. En cambio para el sitio Centro Ceremonial Pecul se categoriza con riesgo “Moderado”, ya que este ha sido perturbado por tres incendios en el periodo de años presente para el bosque natural.

2.5.4.5 Riesgo total en el ecosistema forestal del volcán Sto. Tomas

Se presenta la categoría de riesgo total por los ecosistemas forestales presentes en el bosque natural del volcán Sto. Tomas Pecul, los cuales se presentan en el cuadro 57.

Cuadro 57. Riesgo total para los ecosistemas forestales del volcán Sto. Tomas Pecul.

Ecosistema Forestal	Riesgo Total	Area (ha)
Sitio Los Pinos	MUY ALTO	57.96
Sitio Centro Ceremonial Pecul	ALTO	64.51
Sitio Los Pinos – Aliso	ALTO	81.50
Sitio Los Pinabetes	MUY ALTO	111.87
Sitio Los Cipresales	MUY ALTO	54.92
Sitio La Loma de Caballo	MUY ALTO	21.72
Total		392.48

Según el cuadro 57, indica que el 66.67 % del área del bosque natural, las cuales ocupan 246.47 ha de bosque natural que presentan la categoría “MUY ALTO”, por lo que estos ecosistemas deben ser priorizados para el planteamiento de estrategias de control y prevención de incendios vinculando el uso y manejo de fuego para la mitigación de la categoría para estos sitios, estos según su composición y estructura que la vegetación presenta altas densidades tanto del estrato superior (masa arbórea) en el cual predominan las especies forestales *Pinus hartwegii* Lindl., *Alnus acuminata* Kunt in Humb, *Abies guatemalensis* Rehder., *Arbutus xalapensis* HBK y la especie *Buddleia sp.* Para las cuales son especies según su ecología del fuego dependientes del fuego, exceptuando el Pinabete (*Abies sp.*), por lo que la aplicación del fuego con un régimen adecuado del fuego, jugaría un rol importante no solo de mitigación de riesgo sino también buscando una sostenibilidad ecológica para cada uno de los ecosistemas, como también en los estratos herbáceos se ven dominados por la especie de pasto *Festuca sp.* La cual es de suma importancia por la facilidad de ignición de la especie por lo que la acumulación de la misma sería una de las principales causas de ignición ya sea un incendio natural o provocado.

Mientras que los sitios Centro Ceremonial Pecul y Los Pinos – Aliso, presentan una categoría de riesgo “ALTO” la cual ocupa un área de 146.01 ha del bosque natural. La categoría de riesgo para estos sitios también presenta la probabilidad a la ocurrencia de incendios forestales, en base a su estructura vegetal son ecosistemas que presentan alta fragmentación y clases de desarrollo iniciales (latizales) en su estrato

superior, por lo que también son zonas con una alta peligrosidad de incendios por lo que un manejo de combustibles es una de las actividades que se debería de realizar para el control y prevención de incendios.

En la figura 41, se presenta un mapa de la zonificación del ecosistema forestal en base a la categoría de riesgo por cada sitio presente en el bosque natural del volcán, el cual pretende que sea de herramienta para la planificación de programas para el manejo, control y prevención de incendios forestales, como también el uso como una herramienta cartográfica para la ubicación de las zonas de riesgo a incendios forestales.

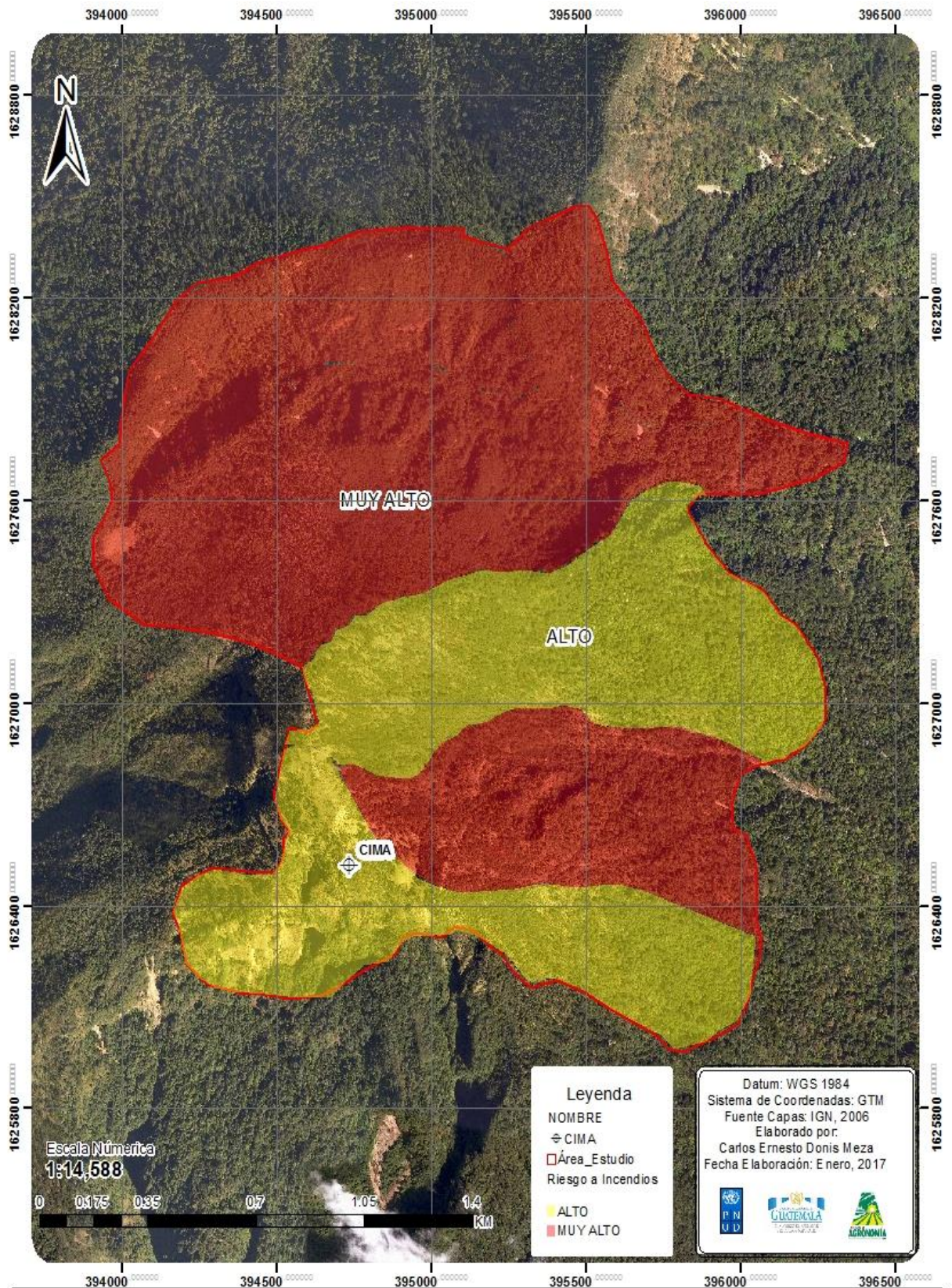


Figura 41. Mapa de zonas de riesgo a incendios forestales del volcán St. Tomas

2.5.5 Discusión del componente vegetacional y estrato forestal

En el ecosistema forestal del volcán Santo Tomas Pecul, se clasificaron seis ecosistemas forestales, los cuales se nombraron en base a los criterios de nombres locales, especies arbóreas dominantes y en función a los episodios de fuego ocurridos por incendios forestales para el periodo 2,000 – 2,016, siendo los ecosistemas Sitio Los Pinos, Sitio Centro Ceremonial Pecul, Sitio Los Pinos – Alisos, Sitio Los Pinabetes, Sitio Los Cipresales y Sitio La Loma de Caballo. Los distintos ecosistemas forestales presentan variaciones en el impacto que ha provocado el fuego sobre su masa forestal y sus componentes de la vegetación, como también especies arbóreas indicadoras por cada uno de los sitios, se evidencio diferencias en función a sus valores dasonométricas, en su cuantificación de combustibles y en los componentes ecológicos, dichos cambios han sido atribuidos al impacto que ha provocado los regímenes de fuego alterados a los cuales han sido sometidos los distintos ecosistemas.

Por lo tanto la descripción y la identificación de los regímenes de fuego actuales en bosque natural, no da una idea sobre el papel ecológico que ha tenido el fuego sobre estos ecosistemas, ya que ha tenido un rol modificantes sobre las estructuras vegetaciones de cada uno de ellos.

En los sitios Los Pinos, el fuego ha contribuido de una forma benéfica ya que en las modificaciones inducidas por este elemento, ya que en su composición dasonométricas presenta las siguientes características, una densidad de 427 árboles por hectárea, con un área basal promedio de 8.404 m² / ha y un volumen de 47.20 m³ / ha, indicando estos valores que es una masa forestal joven en donde el fuego ha inducido en los procesos de crecimiento, por lo que es un estado de desarrollo óptimo, ya que sus clases diamétricas como evidencia la figura la mayor parte de la acumulación de las especies se encuentran entre las clases diamétricas teniendo

diámetros entre un rango 5.0 cm a 20 cm, lo que lo hace una masa con muy buenas características de desarrollo ya que en el fuego juego busco una sostenibilidad ecológica.

En cuanto a la regeneración natural es el sitio que presenta el mayor número de individuos de regeneración natural con un total de 1607 árboles/ha, ya que son según su clasificación según su ecología del fuego son ecosistemas dependientes del fuego, ya que las especies arbóreas dominantes son el *Pinus hartwegii* y *Alnus acuminata* Kunt in Humb, las cuales son especies que han creado adaptaciones al juego e inclusive incentiva al proceso de apertura de los conos en el caso de los pino, por ello es que existe un rol benéfico del fuego en la regeneración natural (figura 42).

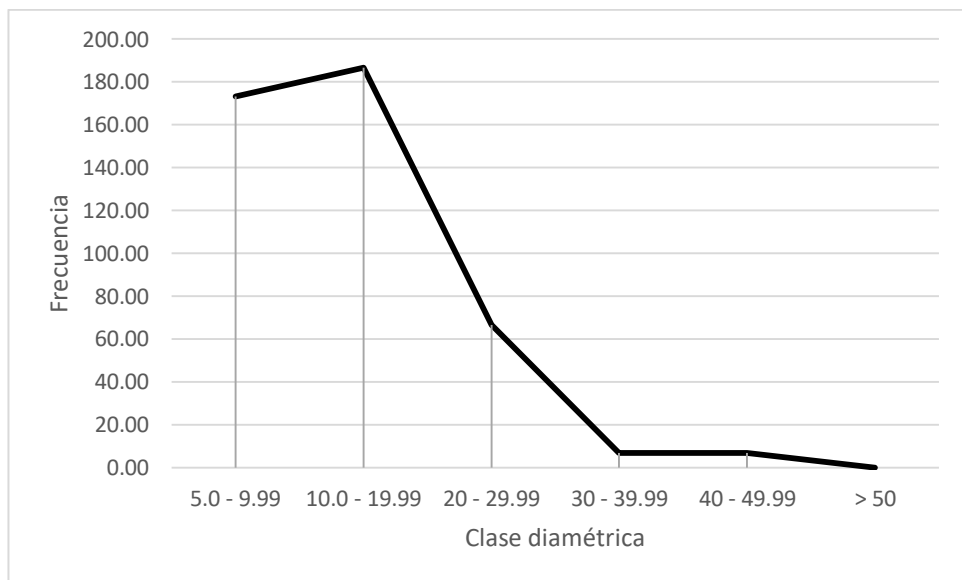


Figura 42. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el Sitio Los Pinos.

En función a cuantificación de combustibles es uno de los sitios con menor carga de combustibles teniendo una carga total de 204.93 T, en donde los principales materiales son restos leñosos, acículas de pino y el estrato herbáceo. Teniendo un riegos “MUY

ALTO” a incendios forestales. Por lo que se identificó que el régimen de fuego ecológicamente sostenible para los ecosistemas que esté compuesto por las especies dominantes en este sitio, por lo que se establece un régimen de fuego de baja intensidad y baja frecuencia de 8 años en la aparición de fuego.

El sitio Centro Ceremonial Pecul, es un sitio que presenta una alta degradación de la masa forestal, e inclusive se evidenció una fuerte degradación del suelo, este sitio presento los valores dasonométricas de área basal de $6.60 \text{ m}^2 / \text{ha}$ y un volumen promedio de $6.71 \text{ m}^3 / \text{ha}$, lo que indica que es una masa forestal muy joven, ya que esto es se le atribuye al escenario más extremo de un régimen de una alta intensidad y una frecuencia alta de cada tres años, ya que el rol del fuego a gran intensidad se identificó la pérdida de la totalidad de todo los árboles, lo que provoco que la masa actual sea producto de una regeneración natural sin ningún tipo de protección por individuos arbóreos de mayor altura, la especie dominante en este sitio es el Pino hartwegii Lindl., como otro indicador de mal desarrollo de este ecosistema como se muestra en la figura 43, en donde la mayor parte de la población de acumula en la clases diamétrica de 5 a 9.99 cm, el cual lo compone un total de 967 árboles/ha.

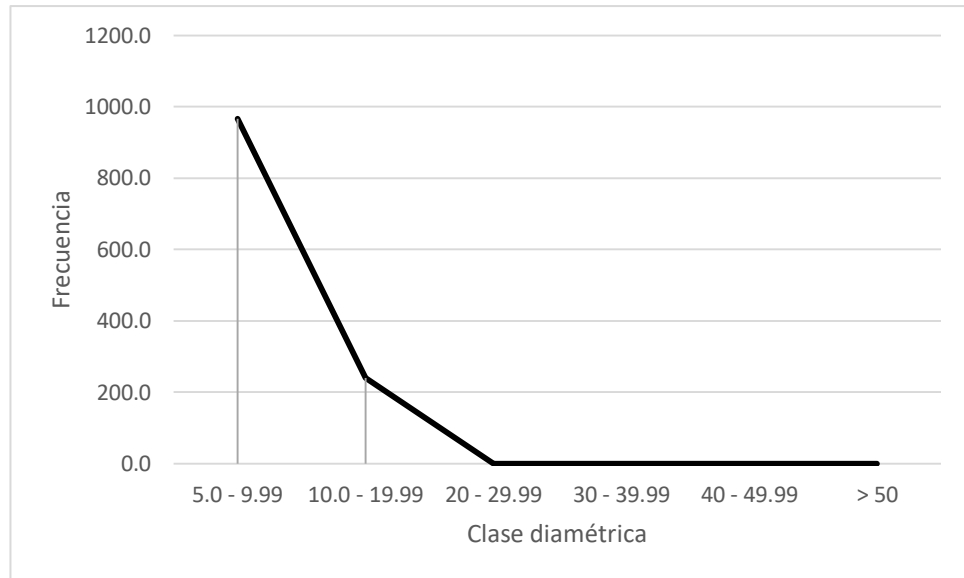


Figura 43. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el Sitio Centro Ceremonial Pecul.

Lo que indica que este régimen de fuego con estas características no contribuye a un desarrollo ecológico del bosque, por lo que la frecuencia de tres años, con una intensidad alta provocaría una degradación de la vegetación y una dominancia en este sitio de especies del estrato herbáceo como es el caso de la especie del género *Festuca* sp.

El Sitio Los Pinos – Aliso, es un sitio que presenta comportamiento similares al sitio Los Pinos, en este caso se evidencia un impacto degenerativo sobre la masa forestal, ya que se encuentran espacios más abiertos y una mayor dispersión de árboles, esto provocado por el impacto del fuego bajo regímenes de alta intensidad y frecuencias altas, lo cual ha provocado un cambio estructural en la dominancia de las especies forestales *Pinus hartwegii* Lindl. y *Alnus acuminata* Kunt in Humb, solo que en este ecosistema, se proyectó un aumento en la población de especies de género *Alnus* sp., a lo cual se le atribuye el impacto de los incendios de una intensidad alta, porque produjo una abertura en el dosel, permitiendo así las condiciones de sitio oportunas

para el desarrollo de esta especie, en cuanto a sus características dasonométricas tiene un área basal $10.94 \text{ m}^2/\text{ha}$ para género *Pinus* sp y $2.67 \text{ m}^2/\text{ha}$ y un volumen de $70.16 \text{ m}^3/\text{ha}$ y $47.86 \text{ m}^3/\text{ha}$. Siendo estos valores muy interesantes por que debido a que solo se estima que se encuentran 44 árboles / ha del género *Alnus* sp, el valor del volumen es alto, indica que los individuos presentes tienen un buen estado de desarrollo. En cuanto a la distribución de las clases diamétricas, según la figura 44, existe una mayor acumulación en las clases medias con un rango de 10.99 a 39.99 cm de diametro, siendo este un esquema de un bosque maduro que ha sufrido el impacto de los regímenes alterados ya que la composición es de individuos con un estado de desarrollo fustal. En cuanto a su regeneración de 1,027 árboles/ha, el cual está compuesto por las especies de *Pinus hartwegii* Lindl., *Alnus acuminata* Kunt in Humb., *Arbutus xalapensis* y *Buddleia* sp. La aparición de las ultimas especies más las del género *Alnus* sp, son especies indicadoras de bosques degradados, por lo que el impacto del fuego ha sido de una alta degradación por la fragmentación de la masa forestal, provocando un cambio en la estructura vegetal de este ecosistema.

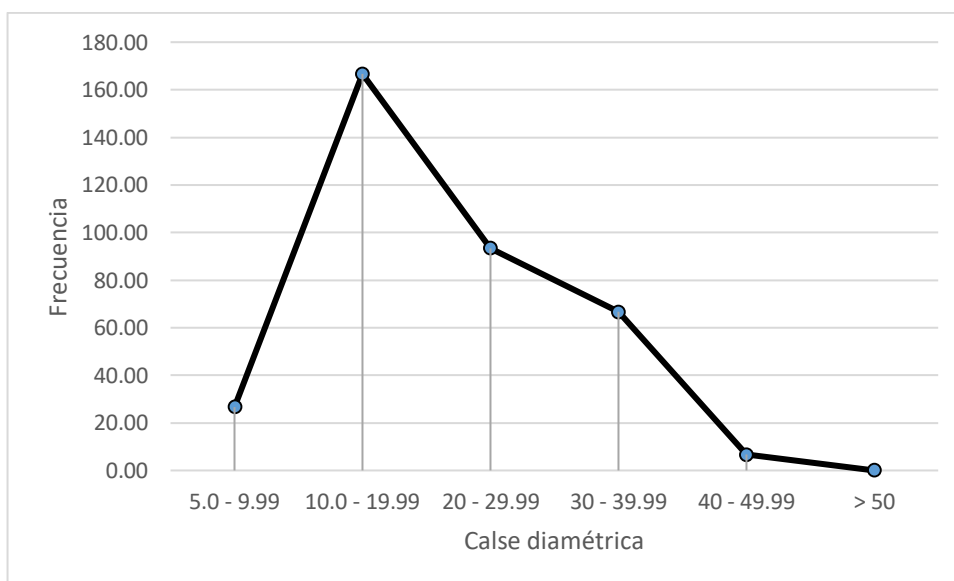


Figura 44. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el Sitio Los Pinos - Aliso.

En cuanto a carga de combustibles es un sitio categorizado con riesgo “ALTO”, ya que posee una carga total de 290.14 T/ha, por lo que son zonas a ser priorizadas para un manejo de combustibles forestales.

El Sitio Los Pinabetes, este ecosistema forestal tiene una dominancia de *Abies guatemalensis*, por lo que se propone la exclusión del fuego, debido a que esta especie por sus características morfológicas y anatómicas y su clasificación según la ecología del fuego es una especie sensible al fuego, esto es provocado ya que la especie carece de mecanismos morfológicos, anatómicos y fisiológicos que no le permiten adaptarse a episodios de fuego, como también la alta inflamabilidad de la especie.

En cuanto a sus características dasonométricas es un ecosistema que está formado por las especies *Abies guatemalensis*, *Arbutus xalapensis* y *Buddleia sp*, siendo la última la que tiene mayor densidad con 243 árboles/ha, mientras que la especie *Abies* tiene una densidad de 60 árboles / ha y la última con 33 árboles / ha. el fuego en este ecosistema que según su clasificación son ecosistemas sensibles al fuego por lo que han sido afectadas por el régimen de fuego de alta intensidad y frecuencia baja (8 años), se vio el cambio de la estructura vegetal con una fuerte fragmentación de la masa forestal y la formación de parches de ejemplares aislados de esta especie, como también se observó el dominio de la especie secundaria *Buddleia spp*, acompañada de altas densidades de las especies arbustivas y herbáceas, *Coxana purpurea* Court et Rose, *Eryngium cymosum* F. de Laroche, *Dahlia imperialis* Roez Ex Ortega in Regel, *Bacharis vaccinoides* Kunt, *Ribens cilatum* Humbert Bonpland Roemer Et Shult, *Bidens sp*, *Festuca sp.* y *Acaena elongata* L. teniendo estas una cobertura muy extensa, que aunque sean relacionadas con la nodrividad de las mismas con la regeneración natural de *Abies guatemalensis*. (Martínez A, 2003), se evidenció la inexistencia de la regeneración natural en este ecosistema.

En cuanto a sus clases diamétricas en la figura 45, indica un comportamiento muy común en bosques que están en una etapa de transición, pero en este caso se ve que la mayor parte de la población se acumula en la clase diamétrica 10 cm a 19.99 cm, en donde las especies dominantes son *Buddleia sp.*

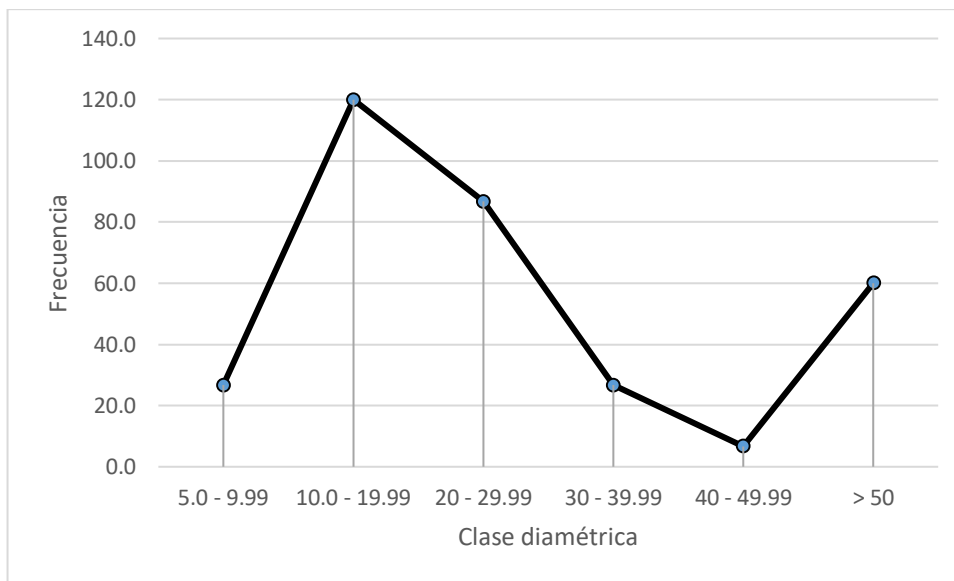


Figura 45. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el Sitio Los Pinabetes.

Este ecosistema presenta un riesgo “MUY ALTO” a incendios forestales por lo que la protección de esta área es de vital importancia debido a rol ecológico y el estado actual de la especie *Abies sp.* Es de necesario la creación de alternativas para la prevención de incendios forestales ya que es el ecosistema que presenta la mayor carga de combustibles siendo esta 965.25 T/ha, por lo que es de urgencia la creación de plan de protección de este ecosistema.

El Sitio Los Cipresales, este ecosistema forestal con dominancia de la especie *Cupressus lusitánica*, se ve como el impacto del fuego no ha jugado un rol benéfico, ya que en este ecosistema se evidenció la conformación de una masa con una alta densidad, con una alta competencia, por lo que el rol del fuego provocado por los incendios forestales, aumento a gran escala la regeneración natural, por lo ende la alta densidad produce un cierre del dosel que inhibe el crecimiento de especies de los

estratos herbáceos y arbustivos, esto se debe a que a la producción de una toxicidad del suelo por los residuos naturales de la especie arbórea.

Según (Rodríguez et al, 2003), expone que la contaminación por Ciprés en el suelo provoca un cambio en el pH del mismo, lo cual inhibe el crecimiento de otro tipo de vegetación, debido también se asume que la regeneración natural se ve inducida por la toxicidad de los suelos, ya que la acumulación de residuos naturales no permite el desarrollo óptimo de la regeneración, por lo que el régimen del fuego alterado por los incendios forestales no es el adecuado para este tipo de ecosistemas, por lo que es de suma importancia introducir el fuego con un régimen de baja intensidad y baja frecuencia para el manejo de los residuos forestales y que también tenga como función la disminución de la cama de combustibles forestales.

En cuanto a sus características dasonométricas, está conformado por una densidad de 373 árboles / ha, con un área basal de 8.97 m² / ha y un volumen 68.80 m³ / ha. según estos valores indican que es un bosque denso y con una altura media de 18.65 m, indica que la masa forestal está compuesta por arboles altos, por lo que la densidad indica que es un ecosistema donde se evidencia la competencia, según la figura 46, la mayor parte de la población se acumula en la primera clase diamétrica, a lo que se atribuye la formación de rodales de Ciprés muy densos, con una alta competencia, como se hace mención esta alta densidad y competencia dicta que es un dosel muy cerrado, por lo que inhibe el crecimiento de otras especies forestales, ya que en este ecosistema no se encontró regeneración natural, entre otros factores de importancia en la alelopatía que produce los desechos del Ciprés, los cuales provocan una alta toxicidad y alguna variación en el pH del suelo.

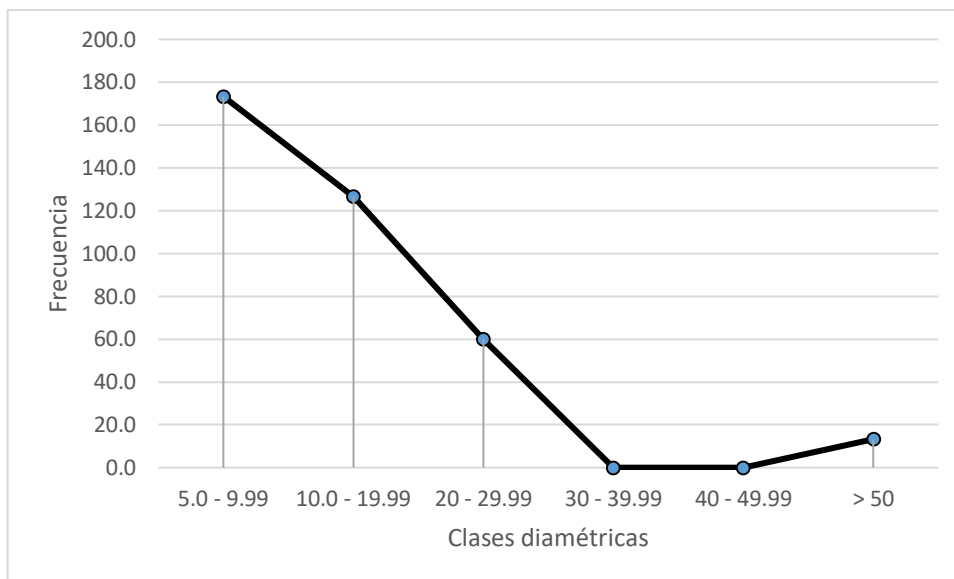


Figura 46. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el Sitio Los Cipresales.

En cuanto a la carga de combustible es un sitio que presenta un número bajo, el cual tiene una carga de 219.15 T/ha, pero en cuanto a su densidad y a la estructura forestal presenta una clasificación de riesgo “MUY ALTO”, por lo que el uso del fuego en esta zona es muy arriesgado ya que la distribución de la carga de combustibles en función al tiempo de retardo es de 1000 h para el material leñoso, por lo la clasificación de riesgo es muy importante, ya que por sus características en Ciprés carece de poda natural por lo que la continuidad vertical para un incendio forestal conlleva a un alto riesgo de manejo forestal, por lo que la utilidad del fuego como una herramienta de control y disminución de la carga de combustible podría ser una herramienta ecológica.

El sitio La Loma de Caballo, este sitio se caracterizó por ser el bosque testigo del volcán Santo Tomas Pecul, ya que en este ecosistema no se han ocurridos ningún tipo de perturbación por incendios forestales, lo cual dio como resultado para las especies dominantes arbóreas *Pinus hartwegii* Lindl, *Alnus acuminata* Kunt in Humb, las características dasonométricas con un área basal 37.20 m²/ ha y un volumen 249.89 m³/ ha para el género *Pinus sp.* mientras para el género *Alnus sp* un área basal de

12.94 m² / ha y un volumen promedio 72.33 m³ / ha, con una densidad promedio de 266 árboles / ha.

Los valores dasonométricas indican que es un ecosistema forestal maduro, donde fueron identificados arboles de hasta 26 m de altura, lo cual en aspectos ecológicos no cumplen roles benéficos, ya que se concentran clases diamétricas de mayor diámetro según la figura 47, indica que la mayor población de individuos se concentra entre los diámetros superiores, por lo que este bosque no se vio gran dinámica de crecimiento en regeneración natural, esto debido a la competencia y entrecruzamiento de las copas.

Este bosque con estas condiciones desarrollo tipo fustales, el rol de sucesión vegetal es un proceso muy lento, por lo tanto, no es un estado de desarrollo ecológico ideal debido a la falta de regeneración natural, lo que conlleva a la acumulación de grandes especímenes y según (Pausas, 2010), indica que el desarrollo de un bosque va en relación a la juventud de los individuos, ya que mientras más maduro es el bosque menor prestaciones roles ecológicos cumple.

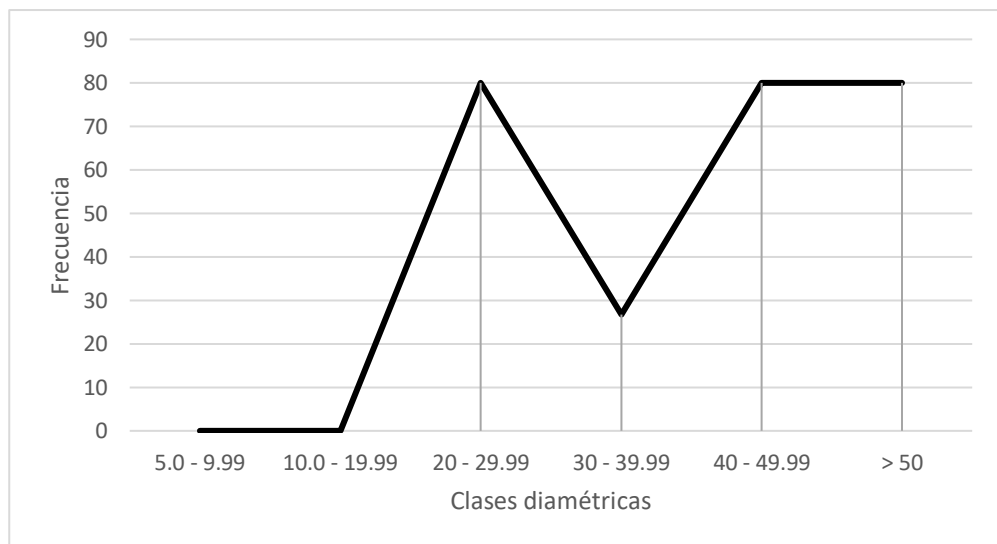


Figura 47. Comportamiento de la distribución de las clases diamétricas para el Sitio La Loma de Caballo.

Este sitio por la misma problemática que es un bosque maduro, la exclusión del rol del fuego por medio de un régimen ecológicamente sostenible, no existe un estado de necesidad de regeneración natural y un cambio en los estados de desarrollo de los individuos, por lo tanto es uno de los ecosistemas con mayor cantidad de carga de combustible de 663.76 T/ha, el cual es el segundo sitio con mayor carga de combustible y en base a su clasificación por riesgo a incendio forestales se encuentra en una clasificación de riesgo "MUY ALTA", esto se debe a la gran acumulación de combustibles leñosos y no leñosos.

2.5.6 Discusión del componente de relieve y fisiografía del terreno

En el área de estudio se vio otro factor de suma importancia que intervino de forma benéfica al bosque natural, esto hace referencia a la importancia del relieve y a la fisiografía presente en el área de estudio, esta hace referencia a unas de las principales razones por la cual en el Sitio Loma de Caballo no ha sufrido o no ha sido intervenida su masa forestal por algún episodio de fuego ocurrido en el volcán.

En la mayor parte del área del bosque natural del volcán Santo Tomas Pecul, se determinó un rango de pendiente promedio entre los 40° a 80° y algunas áreas presentaron mayor del rango lo que provoco el difícil o nulo acceso a estas áreas, tal es el caso de una brecha natural, la cual por sus características en una formación de material rocoso que su principal función es una ramificación de un drenaje efímero de la microcuenca del río Ixtacapa.

Por lo tanto en esta área se pudo observar una vegetación más frondosa y con una mayor tonalidad, esto puede hacer referencia al contenido de humedad en el suelo y también una temperatura más baja, esto provocado principalmente por la posición del relieve limita estar expuesta a mayor periodos de radiación solar, siendo estos unos de los principales factores de la conformación de un microclima

lo cual permite la protección contra la propagación de incendios forestales, tal es el caso como en el sitio evaluado.

El sitio Loma de Caballo, es uno de los sitio que presento una mayor cantidad de combustible forestal y la representación de un bosque maduro para este ecosistema, esto derivado de la función de la brecha natural formada presente, siendo este componente natural el principal factor que ha suprimido la aparición del fuego en el sitio.

En la figura 48, hace referencia al comportamiento del relieve y la ubicación de la brecha natural, en donde se observa principalmente que la brecha rodea el sitio, lo cual en termino de prevención y control de incendios es benéfico y facilitaría el manejo del fuego para la realización de quemas controladas, como parte del uso del fuego como herramienta de manejo forestal.

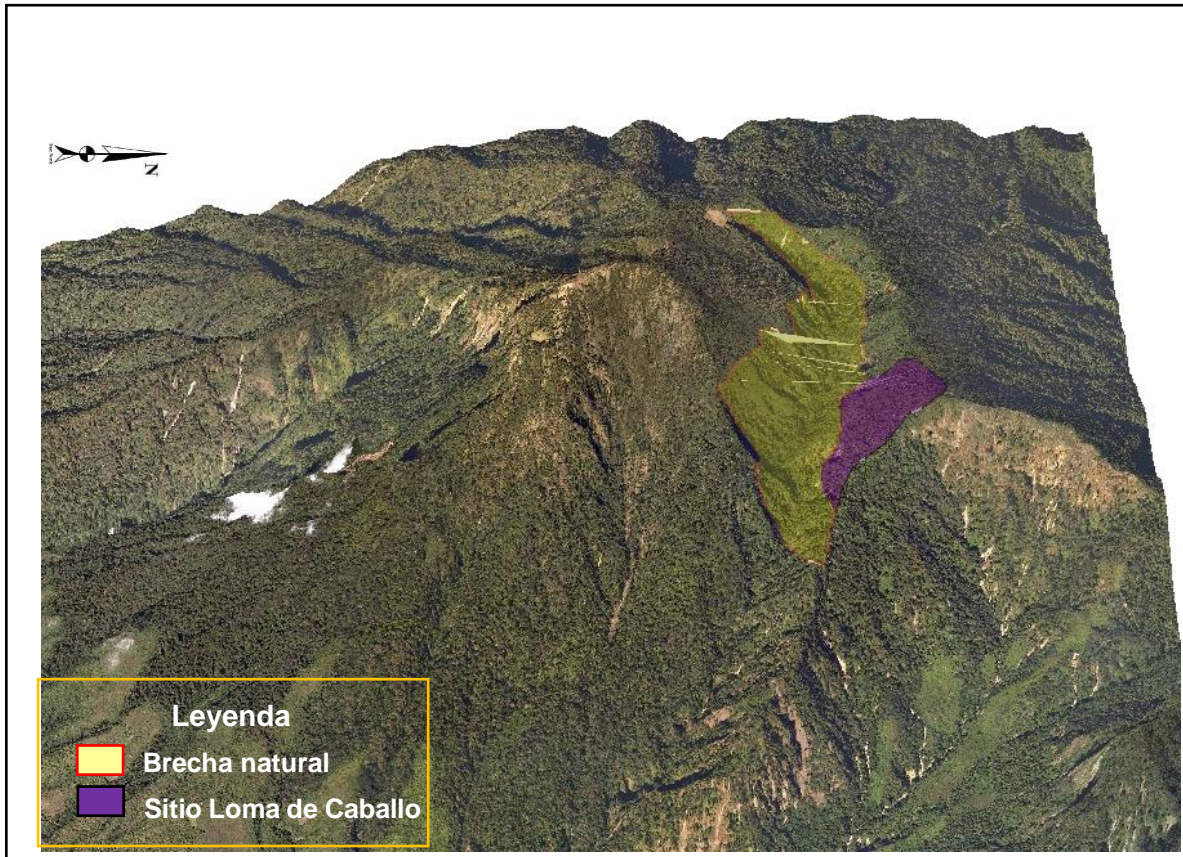


Figura 48. Brecha natural en el área del bosque natural de volcán Santo Tomás Pecul

2.6 CONCLUSIONES

1. El ecosistema forestal evaluado en el volcán Santo Tomás Pécul, abarca un área de 392.48 ha, en el cual se ha evidenciado la presencia del fuego, como un modificador natural de la vegetación, en este ecosistema se categorizando seis sitios en los cuales se evidencia el dominio de las especies arbóreas *Pinus hartwegii* Lindl, *Alnus acuminata* Kunt in Humb, *Abies guatemalensis* Rehder, *Arbutus xalapensis* y *Buddleia sp.* En base a esto el bosque ha sido clasificado en los sitios Los Pinos, Los Pinos – Aliso, Centro Ceremonial Pecul, Los Pinabetes, Los Cipresales y La Loma de Caballo, siendo el ultimo el que presenta mayor composición en su estructura florística ya que en este no se evidencio ningún tipo de perturbación, mientras que el resto tiene un grado de perturbación por el efecto del fuego, debido a la ocurrencia de incendios forestales ocurridos en el periodo 2000 al 2016, teniendo una ocurrencia de cinco incendios de alta y media intensidad, con una duración máxima registrada de cuatro meses.
2. El modelo de sucesión vegetativa que se elaboró para el ecosistema forestal del Volcán Santo Tomas Pecul, en función a la regeneración natural en base a patrones de regímenes de fuego, se identificaron tres conformaciones forestales, la conformación de bosque *Pinus sp.* – *Aliso sp.*, conformación Bosque *Abies guatemalensis Rehder* y la conformación bosque de Ciprés común (*Cupressus lusitánica*), para cada una de las conformaciones se identificó que para la primera el fuego tiene un rol benéfico si se aplica un régimen de fuego de baja intensidad y un periodo de ocurrencia de fuego cada 8 años, la segunda se define que la exclusión de fuego es lo ideal por el impacto que ha provocado sobre la especie del genero *Abies* ya que esta tiene la peculiaridad de ser sensible al fuego y por su importancia ecología de la especie requiere de una buena protección y en la última se propone el uso de fuego con un régimen similar a la primera conformación para disminuir la capa de

combustible, así disminuyendo la alelopatía de la especie provocada por sus restos forestales.

3. La carga de combustibles forestales en el ecosistema forestal es alta, siendo el sitio Los Pinabetes y La Loma de Caballo presentan la mayor acumulación de combustibles forestales. Según la clasificación de combustibles, los combustibles leñosos tienen un peso de 2,126.74 T/ha, según su clasificación por tiempo de retardo el grupo de combustibles que presenta una mayor abundancia son los de un tiempo de 1,000 h, lo que indica que el bosque natural está propenso a la ocurrencia de incendios de alta intensidad y larga duración. El ecosistema forestal del volcán se cuantificó un total de 2,357.61 T/ha, presentando un alto riesgo, esto es el resultado de la exclusión del fuego como una herramienta para la disminución de la capa forestal.
4. El ecosistema forestal del Volcán Santo Tomás Pecul, se categorizó como una zona de alto riesgo, por lo que los sitios se encuentran en una condición propensa a un incendio forestal de alta intensidad y larga duración, esto es provocado por las limitaciones en el uso del fuego como una herramienta de manejo, por lo tanto es una masa forestal que presenta una problemática actual debido a la alta acumulación de combustibles forestales.

2.7 RECOMENDACIONES

1. En función a la información generada en el estudio se recomienda la importancia de un manejo de combustibles forestales, con la finalidad de reducir el riesgo potencial a la ocurrencia de un incendio por la acumulación de combustibles de alto volumen. Por lo que se recomienda el uso del mapa de zonas de riesgo a ocurrencia de incendio para la elaboración de estrategias de intervención del bosque natural.
2. Se recomienda la elaboración de un Manejo Integrado del Fuego –MIF-, para el bosque natural, en base al modelo de sucesión realizado en este estudio establece que para algunos ecosistemas forestales presentes el impacto del fuego como un mecanismo de sostenibilidad ecológica a partir del uso del fuego, por lo que se recomienda la implementación de quemas prescritas o controladas según los modelos de regímenes del fuego propuesto por el modelo de sucesión para el bosque natural del Volcán, se recomienda el uso del fuego en los bosques con dominancia de *Pinus hartwegii*, con régimen de fuego de baja intensidad y baja frecuencia, por lo que se presume el uso del fuego en un periodo cada ocho años, ya que su principal función sería buscar la regeneración natural de las masas arbóreas, ya que el sitio los pinos presentó este régimen, el cual era un bosque denso, con una edad promedio entre 15 a 18 años, en el cual se estimó el desarrollo de 1,607 plántulas por hectárea, por lo que el impacto ecológico con el uso del fuego será una alternativa para la recuperación de la composición florística para este tipo de ecosistemas y como también el uso del fuego en el ecosistema forestal como una herramienta para la disminución de combustibles forestales y así mitigando el riesgo a incendio forestal.

3. Se recomienda el uso la de información generada en este estudio para creación de acciones o instrumentos por parte de las instituciones del estado encargadas de velar por el cuidado y protección de los bosque naturales del país, como también para la creación de nuevos mecanismos de manejo forestal vinculando los regímenes de fuego sostenibles y por último la identificación de áreas de alto riesgo a incendios para que se conformen acciones comunitarias para el monitoreo y control de dichas áreas.

2.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Vivamos Mejor. 2013. Plan de manejo integral del fuego, parte noroeste de subcúenca Quiscab, Sololá y Totonicapán (en línea). Guatemala, ITTO. Consultado 30 ene. 2017. Disponible en http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2975/Technical/INFORME%20FINAL%20GIRA%20DE%20INTERCAMBIO%203.pdf.
2. Campo, AM; Duval, VS. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel. Parque Nacional Lihué Calel, Argentina. 42 p. Consultado 25 mar 2016. Disponible en <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/47071/44140>.
3. CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, México), 2010. Incendios forestales, guía prácticas para comunicadores (en línea). 3 ed. Jalisco, México. Consultado 25 ene. 2017. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>.
4. CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México). 2 ed. 2011. Estrategia y lineamientos de manejo de fuego en áreas naturales protegidas. México. 35 p.
5. TNC (The Nature Conservancy, Suiza), 2004. El Fuego, los ecosistemas y la gente "una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación" (en línea). Suiza. 12 p. Consultado 25 mar. 2016. Disponible en <https://www.conservationgateway.org/Files/Pages/ElFuego.aspx>.

6. Evans Cabrera, MA. 2006. Caracterización de la vegetación natural de sucesión primaria en el Parque Nacional Volcán Pacaya y Laguna Calderas. Tesis msc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4580/Caracterizacion_de_la_vegetacion_natural.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7. Fernández J. 1996. Alternativa al análisis canónico de correspondencias basada en los métodos Biblot. (en línea). España, Universidad de Salamanca. 63 – 71 p. Consultado 28 jul. 2016, disponible en https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/6721/1/Mediterranea_15_07.pdf.

8. Fernández, I; Galindo, MP; Barrera, I; Vicente JL; Martin, A. 2010. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales (en línea). Santiago, Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 162 p. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1363716217res_baja.pdf.

9. Gómez Quiroa, CR. 2013. Protocolo de actividades para el proyecto “manejo integral del fuego en comunidades rurales de Guatemala” (en línea). Guatemala, ITTO. 44 p. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2975/Technical/PROTOCOLO%20DE%20PMIF%203.0.pdf.

10. Guillermo, J. 1990. Diseño de índices de riesgo de incendios forestales para Chile (en línea). Chile, Universidad Austral, Instituto de Manejo Forestal. 59-72 p.

Consulado 05 ene 2017. Disponible en <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v11n2/art06.pdf>.

11. IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia). 2011. Protocolo para la realización de mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.00 (en línea). Colombia, IDEAM. Consultado 15 dic. 2016. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/14369/PROTOCOLO+INCENDIOS+4Oct.pdf>
12. IARNA (Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Guatemala). 2011. Cambio climático y biodiversidad, elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico (en línea). Guatemala, IARNA-URL. 113 p. Consultado 11 mar. 2016. Disponible en <http://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40423>.
13. López Jiménez, LN. 2013. Sucesión ecológica en una selva mediana después de un uso ganadero en Yucatán (en línea). Tesis msc. Yucatán, México. Centro de Investigación Científica de Yucatán. 111 p. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en http://www.academia.edu/4713188/Sucesi%C3%B3n_ecol%C3%B3gica_en_una_selva_mediana.
14. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2001. Mapa fisiográfico-geomorfológico de la república de Guatemala, a escala 1:250,000 –memoria técnica (en línea). Guatemala, UPEI / MAGA, MAGA / BID. Consultado 25 oct. 2016. Disponible en

http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa_fisiografia_memoria_2001.pdf. 177 p.

15. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2013. Shapefile clasificación climática para Guatemala –sistema Thornthwaite. Guatemala, SIG – MAGA.
16. Martínez, AJ. 2003. Sucesión ecológica secundaria alrededor de parches de bosque con pinabete (*Abies guatemalensis Rehder*) en San Marcos (en línea), Guatemala. Consultado 6 ene 2017. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000300006.
17. Martínez Arévalo, JV. 2013. Sucesión ecológica secundaria alrededor de parches de bosque con pinabete (*Abies guatemalensis. rehder*) en San Marcos (en línea), Guatemala. Tesis PhD. San José, Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica. 139 p. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en <http://docinade.com/wp-content/uploads/2014/10/Jos%C3%A9-Vicente-Mart%C3%ADnez-Ar%C3%A9valo.pdf>.
18. Méndez Paiz, B. 2011. Manual de laboratorio del curso mediciones forestales (en línea). Guatemala, FAUSAC. Consultado 3 jun. 2016. Disponible en [doi:http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/d/dd/Manual_del_Laboratorio_d el_Curso_Mediciones_Forestales.pdf](http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/d/dd/Manual_del_Laboratorio_del_Curso_Mediciones_Forestales.pdf).

19. Merlet, P. 2011. La situación de la tierra y de los bosques en Guatemala (en línea). Guatemala, AGTER / UT'Z CHE' / ACOFOP. Consultado 28 abr. 2017. Disponible en http://www.agter.org/bdf/es/corpus_chemin/fiche-chemin-108.html.

20. Mora, EM. 1999. Algunas consideraciones sobre muestreo (en línea). Venezuela. Universidad de Los Andes, Facultad de ciencias forestales y ambientales. Venezuela 31 – 46 p. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24540/2/articulo41-1-2.pdf>.

21. Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad (en línea). España, CYTED ORCYT / UNESCO / SEA. 86 p. Consultado dic. 2016. Disponible en <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>.

22. Morfin-Ríos, JE; Jardel P; Alvarado C; Michel-Fuentes JM. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales (en línea). Guadalajara, Jalisco, México, Comisión Nacional Forestal / Universidad de Guadalajara. 111 p. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/Evaluac_cuantific_de_combustibles_Forestales.pdf.

23. Myers, RL. Incendios y ecosistemas: un enfoque integral del manejo de fuego en América Latina (en línea). USA. 11 p. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/Caribbean/SIMFOR%202006/Myers_us.pdf.

24. Odum, E; Warrett, G. 2006. El ecosistema, fundamentos de ecología (en línea). 5 ed. México. 585 p. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en <http://www.lectura-online.net/libro/fundamentos-ecologia-odum-pdf.html>.
25. Pausas, JG. 2010 Fuego y evolución en el Mediterráneo (en línea). España, Universidad de Valencia. Consultado 12 ene. 2017. Disponible en https://www.uv.es/jgpausas/papers/Pausas-2010-lyC_fuego-evolucion.pdf.
26. Paz Negrete, V; Vásquez, A; Cruz López, JD. 2008. Guía para la construcción de un plan comunitario de manejo integral del fuego (en línea). México, CONANP. 8 p. Consultado 25 mar. 2016. Disponible en http://entorno.conanp.gob.mx/documentos/Guia_de_Manejo_de_Fuego.pdf.
27. Rodríguez, D; Fule, P. 2003. Fire ecology of mexican pines and fires management proposal Chapingo (en línea). México, CSIRO PUBLISHING. Consultado 12 ene. 2017. Disponible en <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Rodriguez-y-Fule-2003.pdf>.
28. Romero, LS. 2002. Incendios forestales en Guatemala, Honduras y Nicaragua, análisis de la situación presente y acciones a seguir (en línea). Alemania, Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ GmbH). 118 p. Consultado 13 ene. 2017. Disponible en <http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/MesoAmerica/GTZ%20Report%20Fires%20Central%20America-2002.PDF>.

29. Smith, T; Smith, R. 2007. Ecología (en línea). 6 ed. Madrid, España. 653 p. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en <http://es.slideshare.net/JoaqunMuozDaettwyler/ecologia6edsmith>. 653 p.
30. Terrádez GM. 2001. Análisis de conglomerados (en línea). España, UOC / EDU. 9 p. Consultado 13 ene. 2017. Disponible en <https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Cluster.pdf>.
31. TNC (The Nature Conservancy, Suiza). 2004. El fuego, los ecosistemas y la gente, una evaluación preliminar del fuego como tema global de conservación (en línea). 9 p. Consultado 22 mar. 2016. Disponible en <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/FireLandscapes/LANDFIRE/Documents/EI%20Fuego%20los%20Ecosistemas%20y%20la%20Gente.pdf>.
32. Veliz, ME; Gallardo, NR. 2001. La vegetación montana de Guatemala (en línea). Guatemala, SENACYT. 84 p. Consultado 25 nov. 2016, Disponible en <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%201999.35.pdf>

2.9 ANEXOS

Cuadro 58A. Listado de especies vegetales identificadas en los sitios de muestreo del volcán Santo Tomas Pecul.

No.	Familia	Nombre	Habito
1	Apiaceae	<i>Coaxana purpurea</i> Court et Rose	Ar
2	Apiaceae	<i>Eryngium cymosum</i> F. de Laroche	H
3	Asteraceae	<i>Dahlia imperialis</i> Roezl Ex Ortegies in Regel	Ar
4	Asteraceae	<i>Baccharis Vaccinioides</i> Kunt	Ar
5	Asteraceae	<i>Eupatorium pazcuarensis</i>	H
6	Asteraceae	<i>Bidens triplinervia</i> HBK	H
7	Asteraceae	<i>Eupatorium sp.</i>	H
8	Asteraceae	<i>Bidens sp.</i>	H
9	Asteraceae	<i>Eupatorium sp.</i>	H
10	Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	A
11	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	A
12	Ericaceae	<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunt	Ar
13	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	A
14	Lamiaceae	<i>Salvia spp</i>	Ar
15	Onagraceae	<i>Fuchsia microphylla</i> HBK	H
16	Pinaceae	<i>Pinus Hartewii</i>	A
17	Pinaceae	<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	A
18	Poaceae	<i>Festuca sp.</i>	H
19	Polygalaceae	<i>Monina xalapensis</i> HBK	Ar
20	Rosaceae	<i>Acaena elongata</i> L.	H
21	Saxifragaceae	<i>Ribes ciliatum</i> Humbet Bonplex Roem Et Schult	Ar
22	Scrophulariaceae	<i>Buddleia sp.</i>	A
23	Scrophulariaceae	<i>Lamouroxia xalapensis</i> Kunth	Ar

Referencias: A = arbóreo, H = herbáceo, Ar = Arbustivos.

Cuadro 59A. Índice de valor de importancia para las especies vegetales encontradas en el área muestreada del volcán Sto. Tomas Pecul.

ESPECIES	Abu Abs	Abu Rel	Fre Abs	Fre Rel	Dom Abs	Dom Rel	I.V.I	I.V.I al 100%
<i>Alnus acuminata</i> Kunt in Humb	17	1.07	4	3.85	0.25	3.55	8.47	2.82
<i>Buddleia</i>	32	2.01	3	2.88	0.64	8.99	13.89	4.63
<i>Arbutus xalapensis</i>	5	0.31	1	0.96	0.64	8.99	10.27	3.42
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	304	19.08	10	9.62	0.46	6.45	35.15	11.72
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	40	2.51	2	1.92	0.07	0.95	5.38	1.79
<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	10	0.63	3	2.88	0.93	13.09	16.60	5.53
<i>Coaxana purpurea</i> Court et Rose	14	0.88	2	1.92	0.01	0.08	2.89	0.96
<i>Eryngium cymosum</i> F. de Laroche	10	0.63	4	3.85	0.02	0.30	4.77	1.59
<i>Dahlia imperialis</i> Roezl Ex Ortegies in Regel	21	1.32	5	4.81	0.15	2.14	8.27	2.76
<i>Monina xalapensis</i> HBK	8	0.50	4	3.85	0.01	0.13	4.48	1.49
<i>Fuchsia microphylla</i> HBK	49	3.08	5	4.81	0.06	0.90	8.78	2.93
<i>Gaultheria myrsinoides</i> Kunt	1	0.06	1	0.96	0.09	1.20	2.22	0.74
<i>Baccharis Vaccinioides</i> Kunt	97	6.09	8	7.69	0.16	2.28	16.06	5.35
<i>Ribes ciliatum</i> Humbet Bonplex Roem Et Schult	79	4.96	5	4.81	0.09	1.20	10.96	3.65
<i>Lamouroxia xalapensis</i> Kunth	24	1.51	4	3.85	0.04	0.62	5.97	1.99
<i>Salvia sp</i>	31	1.95	5	4.81	0.03	0.39	7.15	2.38
<i>Eupatorium pazcuareense</i>	4	0.25	2	1.92	0.00	0.01	2.19	0.73
<i>Bidens triplinervia</i> HBK	156	9.79	12	11.54	0.47	6.62	27.95	9.32
<i>Eupatorium sp.</i>	2	0.13	1	0.96	0.00	0.04	1.13	0.38
<i>Bidens sp.</i>	21	1.32	3	2.88	0.05	0.72	4.93	1.64
<i>Eupatorium sp.</i>	18	1.13	2	1.92	0.01	0.07	3.12	1.04
<i>Festuca sp.</i>	455	28.56	12	11.54	2.67	37.62	77.72	25.91
<i>Acaena elongata</i> L.	195	12.24	6	5.77	0.26	3.65	21.66	7.22

Referencia: Abu Abs. = Abundancia absoluta, Abu Rel = Abundancia relativa, Fre Abs = Frecuencia absoluta, Fre Rel = Frecuencia Relativa, Dom Abs = Dominancia Absoluta, Dom Rel = Dominancia relativa, I.V.I = índice de valor de importancia.

Cuadro 60A. Matriz de ponderación de indicadores de riesgo para los ecosistemas forestales del volcán Santo Tomás Pecul.

		Sitio Los Pinos			Sitio Centro Ceremonial Pecul			Sitio Los Pinos - Aliso				Sitio Los Pinabetes		Sitio Los Cipresales			Sitio La Loma de Caballo
		A1P1	A1P2	A1P3	A2P1	A2P2	A2P3	A3P1	A3P2	A3P3	A4P1	A4P2	A4P3	A5P1	A5P2	A5P3	A6P1
Riesgo por estructura vegetal	Indice por formación vegetal	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
	Indice por tipo de cobertura	3	3	3	4	4	4	2	2	2	4	4	4	2	2	2	3
	Indice por combustibilidad	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	Indice por carga total	3	4	4	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Riesgo territorial	Indice por pendiente	3	3	3	2	2	2	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4
	Indice por insolación	4	4	4	3	3	3	4	4	4	2	2	2	4	4	4	4
	Indice por velocidad de propagación	4	4	4	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Riesgo por valores meteorológicos	Indice por precipitación media	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Indice por temperatura media	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3
Riesgo por frecuencia I.F	Indice por frecuencia	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Sumatoria de parámetros		29	30	31	23	23	23	29	29	29	29	28	29	31	30	30	31
Indicador de Riesgo		A	MA	MA	A	A	A	A	A	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA



CAPÍTULO III

SERVICIOS

**INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL MARCO DEL PROYECTO
“PAISAJES PRODUCTIVOS RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDES
SOCIOECONÓMICAS FORTALECIDAS EN GUATEMALA – PPRCC**

3.1 PRESENTACIÓN

El presente informe contiene la descripción metodológica de los resultados obtenidos de los servicios realizados en el ejercicio profesional supervisado –EPS-, en los caseríos Pasac, Pacanal I, Pacanal II, Chuituj y Tzamabaj de la aldea Xejuyup, dentro del área de influencia del proyecto PPRCC.

El primer servicio se titula identificación de las principales plagas y enfermedades en el Cultivo de Maxan (*Calathea crotalifera* S. Watson). Este documento tiene como fin principal la determinación de las principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo de la hoja de Maxan (*Calathea crotalifera* S. Watson), las cuales afectan a las áreas productivas de los caseríos de Pasac, Pacanal I, Pacanal II, Chuituj y Tzamabaj de la aldea Xejuyup, Nahualá, Sololá. Estas áreas son priorizadas, ya que, alrededor del noventa por ciento de los agricultores son productores del cultivo de la Hoja de Maxan y de Café (*Coffea arábica*).

El segundo servicio fue un taller y asistencia técnica a grupos comunitarios y extensionistas del MAGA para la implementación de viveros forestales comunitarios, en el cual se realizaron dos talleres de capacitación con la finalidad de concientizar y aportar conocimientos técnicos en la importancia de la implementación de viveros comunitarios para la producción de plántulas para proyectos comunitarios.

El tercer servicio se titula Capacitación en Prácticas de Conservación de Suelos, en este servicio se realizaron cinco talleres de capacitación en los caseríos en mención teniendo una participación de 47 productores de los cuales 26 eran productoras de café y cultivo de Maxan promoviendo la participación de género en este tipo de actividades, implementando prácticas de conservación de suelos en un área de 10.58 has de tierra de las cuales 100 cuerdas son en cultivo de café y 100 cuerdas en cultivo de la hoja de maxan.

3.2 ÁREA DE INFLUENCIA

El proyecto PPRCC, tiene como área de influencia la cuenca hidrográfica del río Nahualate, la cual abarca municipios de los departamentos de Sololá y Suchitepéquez, por lo tanto, el proyecto tuvo como líneas para la implementación de acciones de resultados a través de organizaciones comunitarias o no gubernamentales, tal es el caso de la Cooperativa Nahualá R.L, en dicha organización fue donde se realizó la vinculación para las actividades de los servicios propuestos en el EPS.

Los servicios fueron realizados en los caseríos de Pasac, Pacanal IA, Pacanal II, Pochol y Tzamabaj de la aldea Xejuyup, en el municipio de Nahualá, en la Boca costa del departamento de Sololá. Siendo esta área de influencia de la Cooperativa Nahualá R.L en donde se tuvo como beneficiarios directos a los asociados de dicha organización siendo esto productores de café y de la hoja de maxan.

3.3 OBJETIVO GENERALES

1. Determinar las principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo de maxan (*Calathea crotalifera* S. Watson), en los caseríos de Pasac, Pacanal I, Pacanal II, Chuituj y Tzamabaj de la Aldea Xejuyup.
2. Realizar talleres a grupos comunitarios y extensionistas del MAGA para la implementación de viveros forestales comunitarios
3. Capacitar en temáticas de prácticas de conservación de suelos a productores de los caseríos de Pasac, Pacanal II y Tzamabaj, aldea Xejuyup, Municipio de Nahualá, Sololá

3.4 SERVICIOS PRESTADOS

3.4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES PLAGAS Y ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE MAXAN (*Calathea crotalifera* S. Watson)

3.4.1.1 Definición del problema

En los caseríos de Pasac, Pacanal I, Pacanal II, Chuituj y Tzamabaj de la aldea Xejuyup, el cultivo de la hoja de maxan es una de las principales actividades de producción agrícola del área ya que en la mayor parte de los casos es la única fuente de ingresos económicos locales y también los bajos costos de producción que se utilizan en la para este sistema productivo, hacen de este un opción laboral tangible para los productores

Por lo tanto, como unos de los principales problemas son los daños por plagas y enfermedades, las cuales tienen alto efecto en la calidad y cantidad de la producción, lo que conlleva a percibir pérdidas económicas calidad en el producto. La falta de información sobre el cultivo de la hoja de *Calathea crotalifera*, se ve de suma importancia la realización de este servicio profesional para determinar las principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo en el área en estudio.

3.4.1.2 Objetivos Específicos

1. Realizar una breve descripción de las principales características generales de la especie *Calathea crotalifera* S. Watson.
2. Identificar los principales daños de las plagas y enfermedades en el cultivo de Maxan.
3. Identificar las principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo de Maxan.

3.4.1.3 Metodología

A. Identificación de las zonas productivas

Por medio de visitas de campo y talleres comunitarios se identificaron las principales zonas productivas, siendo estas priorizadas por el número de productores del cultivo de la hoja de maxan, ya que es una de las principales actividades económicas para los habitantes de las comunidades en estudio.

B. Identificación de principales daños

Los principales daños fueron identificados por medio de visitas de campo a las zonas productivas del cultivo, los cuales se determinaron principalmente por el daño que presentaba el área foliar del cultivo y el número de frecuencia de ocurrencia del daño por características cualitativas del cultivo.

C. Unidad de muestreo

La unidad mínima de muestreo que se utilizó, fueron las parcelas de producción del cultivo, las cuales son las unidades productivas en los caseríos priorizados, teniendo estas un área de 529 m² (23 m X 23 m), las cuales en su mayoría presentan una densidad de siembra de 550 plantas/cuerda.

D. Método de muestreo de material vegetal dañado

El método de muestreo utilizado fue aleatorio, en el cual se colectó los especímenes que presentaban daños en el área foliar, los principales daños identificados para criterio de selección de muestreo presentaban manchas necróticas por daño de patógenos y la pérdida de tejidos vegetales en el área foliar como resultado del ataque de un insecto plaga.

E. Categorización del tipo de daño en cultivo

Para la categorización de daño, se utilizó las herramientas del software -ImageJ -, el cual tiene como función de un microscopio digital, en el cual tiene herramientas que permiten la medición del área foliar total del material y la estimación del área foliar dañada por medio de la contabilización de los píxeles que presentan un daño o un cambio de coloración procedente del daño ocasionado por los patógenos o insectos plaga.

F. Identificación de principales plagas en el cultivo de Maxan

a. Colecta y captura de insectos plaga

Para la colecta de los insectos plaga presentes en el cultivo se hizo de forma manual, esto por medio de la captura de las hojas que estaban plegadas las cuales tenían en forma de cono, ya que en el interior de las mismas había presencia de larvas de insectos, siendo estos seleccionados en su estadio de

desarrollo clase IV, las cuales ya presentan la madurez adecuada para sus criterios de determinación e identificación.

b. Montaje a nivel de laboratorio

Se realizó la preparación de la muestras en el laboratorio para su montaje, esto por medio de la cocción de las larvas en agua a punto de ebullición por 5 minutos, provocando la cristalización de las proteínas presentes en el cuerpo de las larvas, lo cual permitió la preservación de la mismas. Posteriormente se realizó un montaje utilizando un estereoscopio para la observación de todos sus componentes morfológicos y anatómicos, los cuales son criterios de identificación.

c. Identificación de plagas

Para la identificación de los insectos plaga fueron utilizadas claves dicotómicas y material didáctico, utilizados en el laboratorio de entomología en el - CUNSUROC -, los principales criterios de selección fueron las características anatómicas y morfológicas de las larvas en estudio.

G. Identificación de principales enfermedades en el cultivo de Maxan

a. Colecta de material enfermo

Se colecto el material enfermo con presencia de machas necróticas o de coloraciones blancas – amarillentas en el área foliar de las plántulas, como el principal resultado del ataque de agentes patógenos, el material colectado a nivel de campo de preparo en una bolsa plástica la cual se aplicó agua con la finalidad de crear una cámara húmeda, esto como función de crear condiciones de humedad adecuada para el desarrollo del patógeno.

b. Preparación de la muestra a nivel de laboratorio

A nivel de laboratorio se realizó el corte de las zonas con daño del material vegetal, los cortes obtenidos fueron montados en cajas con medio de cultivo y cámaras húmedas estériles, permitiendo así el crecimiento de estructuras de desarrollo del patógeno, las muestras permanecieron por 15 días en las cámaras húmedas ya que es el tiempo promedio para el desarrollo de estructuras anatómicas de los patógenos para su identificación posterior

c. Observación de estructuras anatómicas y morfológicas

Para la observación de las estructuras anatómicas y morfológicas de los hongos, se utilizó el material en las cámaras húmedas a los cuales se realizaron raspados en las zonas con presencia de estructuras reproductivas de los

patógenos desarrollados, por medio de un microscopio en aumento 10x y 40x, se observaron las características anatómicas de los patógenos encontrados los cuales se realizaron montajes en agua destilada.

d. Identificación de las principales plagas y enfermedades

Se utilizaron materiales didácticos como guía para la identificación del principal patógeno por medio de la observación de las principales características anatómicas y morfológicas de las estructuras reproductivas de los patógenos en estudio, las cuales se tomaron como medios y criterios de selección.

3.4.1.4 Resultados

A. Principales características generales de la especie *Calathea crotalifera* S. Watson.

El cultivo de la Hoja de Maxan en la región es una de las principales actividades agrícolas, en los caseríos de Tzamabaj, Chuituj, Pacanal II de la aldea Xejuyup, se estimó que el 90 % de los productores locales se dedican a la producción y comercialización de este cultivo, por lo tanto se determinó la taxonomía de la especie, la cual se presenta a continuación:

a. Taxonomía de la Especie

- Reino: Plantae
- Sub Reino: Tracheobionta
- Superdivisión: Spermatophyta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Subclase: Zingiberidae
- Orden: Zingiberales
- Familia: Marantaceae
- Género: Calathea G.
- Especie: *C. crotalifera* S. Watson

b. Descripción Botánica

Las principales características anatómicas y morfologías de la especie encontradas en su determinación son las siguientes:

La especie *Calathea crotalifera* es categorizada tipo hierba, con una altura promedio de 1.5-3 m.

Hojas: son tipo basales y caulinares en forma de lámina elíptica, el ápice es redondeado con acumen, con base redondeado, 30 cm - 90 cm de largo, 15 cm - 40 cm, de ancho, la coloración de haz es verde oscuro aterciopelado, sobre el nervio es verde claro, el envés tiene una coloración verde claro. La vaina tiene una longitud de 33 cm de largo.

Pecíolo: con una longitud de 90 cm-150 cm de largo, coloración verde. Pulvinulo aproximado de 15 cm, de largo.

Inflorescencia: es rectangular y aplanada lateralmente, 11 cm – 23 cm de largo, 5.5 cm de ancho, por planta puede encontrarse una máximo de 4 inflorescencias. Pedúnculo 27 cm - 35 cm de largo, coloración verde. Brácteas

ampliamente reniformes, retusas, 29 cm -3.5 cm de largo, 1.6 cm -1.9 cm de ancho, dísticas, color amarillas, 13 cm -36 cm por florescencia. Sépalos oblongos, ápice agudo, 1.5 cm de largo, 0.4 cm de ancho, glabros. Tubo de la corola 1.7 cm – 1.8 cm de largo, esparcidamente piloso. Pétalos de forma elíptica, ápice agudo. 1.2 cm de largo, 0.6 cm de ancho, pilosos hacia el ápice sobre la superficie externa el resto glabro. Estaminodio exterior flabelado, 1.3 cm -1.4 cm de largo, 0.9 cm de ancho. Estaminodio calloso semioblongo, apice bilobulado, 1.5 cm de largo, 0.8 cm de ancho. Ovario 0.3 cm de largo, 0.3 cm de ancho.

c. Características Biofísicas

Distribución geográfica: Esta especie se desarrolla en bosques húmedos hasta aproximadamente 1.500 m s n m, se encuentra desde el sur de México hasta Panamá y Norte de Suramérica hasta Perú.

B. Principal Plaga en el Cultivo de Maxan

En los recorridos realizados en las áreas productivas del cultivo de la hoja de Maxan, se logró identificar el daño provocado por un insecto plaga, según la metodología utilizada, se determinó que el principal daño era provocado por una larva, la cual por medio de una análisis a nivel de laboratorio se concluyó que era de orden Lepidóptera, de la familia Saturniidae.

a. Descripción general

La familia Saturniidae en sus estados inmaduros (larvas) es generalmente grandes y carnosos, las cuales tienen espinas o tubérculos (figura 50), de los cuales algunas especies pueden contener espinas con químicos peligrosos, las larvas tienen un aparato bucal masticador (figura 49), por lo tanto, se alimentan de hojas y árboles en estado inmaduro, los cuales pueden crear serios daños. Al convertirse en crisálida construyen un capullo o se entierran en el suelo, dependiendo de las sub familia.

En su fase adulto se convierten en mariposas nocturnas, la principal característica es que la mayor parte de cuerpo está cubierta por una gran cantidad de pelos; la cabeza es relativamente pequeña y pegada al tórax; los ocelos ausentes.

Los palpos labiales cortos; proboscis reducida o ausente, la rama principal de las antenas no tienen escamas.



Figura 49. Larva de Saturniidae, vista de los tubérculos presentes



Figura 50. Aparato bucal masticador, vista con aumento 20x en estereoscopio

b. Principales daños

Los principales daños identificados en campo, provocados por el insecto plaga, son la pérdida del tejido vegetal de la hoja, principalmente alimentándose de hojas jóvenes o nuevas hojas, siendo la epidermis el tejido vegetal que sufre más daño, ya que en el cual se almacena la mayor parte de clorofila, las cuales tienen la mayor cantidad de almacenamiento de nutrientes.



Figura 51. Daños provocados por larvas en *C. crotalifera* S. Watson

En la figura 51 se puede apreciar el daño, provocado por las larvas, en la cual tiene distintas fases de incremento de daño en el tejido vegetal, dichas fases se describen a continuación:

- Fase A y B: Se observa el principal daño es el plegamiento de la hoja en forma de tubo o cono, esto lo logran ya que ellas crean una seda con el cual fijan que la hoja no pierda esta forma y así crean un microclima dentro de la estructura garantizando las condiciones ideales para su propagación y crecimiento, otras de las funciones de esta estructura es de protección contra depredadores biológicos.
- Fase C y D: Se observa el avance del daño en los tejidos vegetales ya provocado por la alimentación de las larvas por su aparato bucal masticador.
- Fase E: En esta fase se determina pérdida total del material vegetal, ya que se ha consumido el 90 % del área foliar dejando solo los tejidos inferiores los cuales presentan una coloración amarillenta y transparente.



Figura 53. Apreciación de Fase A y B en campo en cultivo de maxan, Caserío Pasac.



Figura 52. Hoja de maxan en Fase E de daño por larvas

C. Principales enfermedades en el cultivo de maxan

Las principales enfermedades que se identificaron en el cultivo de Maxan son provocadas por el principal patógeno *Helminthosporium sp.* siendo este el

principal causante de la enfermedad denominada Mancha Blanca de la hoja de Maxan.

Los patógenos en su mecanismo de acción y de infección se presentan en el cultivo de maxan con un hospedero secundario, estos patógenos provocan daños importantes en el cultivo, debido a que su foco de ataque es la hoja, siendo esta el principal producto de producción del cultivo.

3.4.1.5 Descripción de los patógenos

- *Helminthosporium* sp: El daño provocado por el patógeno se puede observar a nivel de campo ya que en el área foliar se observan cambios en la coloración del tejido en color blanco y pérdida de tejidos vegetales (figura 55), el avance del ataque del patógeno se distingue por un cambio de coloración amarillenta y el área con severos daños es la pérdida total de pigmentos y tejidos vegetales hasta ver áreas necróticas en el haz de la hoja (Figura 54).

Se logró ver como un agente secundario al hongo *Aspergillus* spp. Como un agente saprófago, el cual se alimenta del material en descomposición como resultado del ataque del patógeno primario.



Figura 55. Enfermedad de la Mancha Blanca en la hoja de maxan



Figura 54. Hoja de maxan con un 90 % de daño en el área foliar.

3.4.2 TALLER Y ASISTENCIA TÉCNICA A GRUPOS COMUNITARIOS Y EXTENSIONISTAS DEL MAGA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VIVEROS FORESTALES COMUNITARIOS

3.4.2.1 Definición del problema

El fortalecimiento en formación de conocimientos técnicos a grupos comunitarios es una de las herramientas que permite la mitigación de las principales problemáticas ambientales a nivel local, en este caso la deforestación es un efecto directo del cambio en el uso de la tierra provocado en estas comunidades por el avance de la frontera agrícola teniendo un avance sobre el bosque natural de volcán Santo Tomás Pecul.

Debido a lo anterior se realizaron talleres y la asistencia técnica para la implementación de viveros forestales comunitario como parte de una estrategia de mitigación de la deforestación a partir de la producción de plántulas forestales para futuros proyectos de reforestación a nivel comunitario.

3.4.2.2 Objetivos Específicos

1. Capacitar a grupos comunitarios y extensionistas del MAGA en conceptos técnicos sostenibles para la implementación de viveros forestales
2. Implementar un vivero forestal comunitario con los grupos comunitarios.

3.4.2.3 Metodología

A. Identificación de grupos focales

Se identificaron los principales grupos comunitarios y extensionistas del MAGA, los cuales tienen una alta prioridad en la implementación de viveros comunitarios para proyectos de forestación, reforestación y restauración de paisajes con cobertura forestal. Se realizaron visitas y reuniones en conjunto con el personal de MAGA para priorizar los grupos comunitarios.

B. Realización de talleres

Se realizaron talleres, en los cuales se tuvo como finalidad la formación de conocimientos técnicos para la implementación de viveros forestales comunitarios, para estas actividades se utilizó materiales didácticos y audiovisuales y visitas de campo a áreas con alto potencial forestal.

3.4.2.4 Resultados

A. Capacitaciones a grupos comunitarios y extensionistas del MAGA

Se realizaron dos capacitaciones en la comunidad de Camache Chiquito en el municipio de Santo Tomás La Unión, en el cual se logró con la participación de dieciséis personal, las cuales son extensionistas del MAGA, encargados del

vivero forestal municipal de Santo Tomas La Unión y representantes del COCODE de la comunidad.

Las principales temáticas abordadas en la capacitación fueron las siguientes:

- Importancia de un vivero forestal.
- Objetivos de un vivero forestal.
- Diseño del vivero forestal.
- Componentes de un vivero forestal.
- Manejo y mantenimientos de viveros.
- Proceso de producción de plántulas.
- Métodos de propagación vegetativa.
- Prácticas culturales en viveros.

B. Implementación de un vivero forestal comunitario

Se implementó un vivero forestal en el Caserío Pasac, aldea Xejuyup, Municipio de Nahualá, conjunto con la Cooperativa Nahualá R.L, se realizó la construcción de un vivero con capacidad de producción de 5, 000 plántulas, las cuales se tienen prioritizadas para la reforestación del bosque comunal de mismo caserío, las principales especies a producir son: Palo Blanco (*Tabebuia donnell – smithii*) y Volador (*Terminalia oblonga*).

El vivero comunitario tiene un área de 21 m² (7 m x 3 m), en la fase de propagación y trasplante, luego de cuenta con un área para realizar el llenado de bolsas con capacidad de 5,000 bolsas, las cuales fueron llenadas con sustrato elaborado por mujeres comunitarias como parte del fortalecimiento a la equidad de género en dicho caserío.

3.4.2.5 Constancias



Figura 56. Taller de implementación de viveros forestales comunitarios en comunidad Camache Chiquito



Figura 57. Taller de implementación de viveros forestales comunitarios en Camache Chiquito.



Figura 58. Construcción del techo del vivero comunitario



Figura 59: Construcción de las paredes laterales del vivero comunitario



Figura 60: Camas germinadoras para la producción de plántulas

3.4.3 CAPACITACIÓN EN PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS A PRODUCTORES DE LOS CASERÍOS PASAC, PACANAL II Y TZAMABAJ, ALDEA XEJUYUP, MUNICIPIO DE NAHUALÁ, SOLOLÁ

3.4.3.1 Definición del problema

En los caseríos de Pasac, Pacanal II y Tzamabaj, los principales sistemas productivos son el café y la hoja de maxan, sumado a esto el relieve en el que se encuentran estos sistemas presentan fuertes pendientes por lo que la pérdida de suelos por factores erosivos es una de la principales causas del deterioro de los suelos en estas zonas productivas. Como parte en apoyo a la Cooperativa Nahualá R.L se realizaron capacitaciones en prácticas de conservación de suelos y asistencia técnica en la implementación de prácticas de conservación como parte del programa de tecnificación del cultivo de café y maxan en las zonas productivas de los caseríos en mención.

3.4.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar las principales zonas con mayor necesidad en prácticas de conservación de suelos.
2. Implementar prácticas de conservación de suelos en áreas productivas con riesgo a la pérdida de suelo.

3.4.3.3 Metodología

A. Identificación de grupos locales

Para la identificación de los grupos locales se tomaron en cuenta las áreas de los caseríos de Pasac, Pacanal II y Tzamabaj, esto se determinó debido a que la mayor parte de los asociados de la Cooperativa Nahualá R.L, tienen un compromiso de la implementación de prácticas de conservación de suelos, por lo tanto el grupo de productores asociados a la organización fueron identificados como los grupos locales, por lo que se realizaron reuniones, visitas a las comunidades y una asamblea general para la divulgación y socialización de esta actividad.

B. Selección de áreas con necesidad de conservación de suelos

La selección de áreas priorizadas con necesidad de implementación de prácticas de conservación de suelos, se determinaron en base a los siguientes

criterios: áreas con más de 20 % de pendientes, la cobertura del suelo, el cultivo y el tipo de suelo.

Para la selección de estas áreas se realizaron visitas de campo a las áreas productivas de los caseríos, como también instrumentos de posicionamiento GPS para la georreferenciación de dichas zonas y realizó un mapa de georreferenciación de las áreas.

C. Realización de talleres de capacitación

Se realizaron talleres con grupos de productores de los caseríos en mención, como también la técnica de campesino a campesino, en la cual productores compartían experiencias exitosas, también se utilizaron materiales didácticos en campo como trifoliales, carteles ilustrativos como material de apoyo en los talleres.

D. Implementación de prácticas de conservación de suelos

Se seleccionaron las prácticas de conservación a utilizar que fueran aplicables y de bajo costo para los productores, esto se realizó con una planificación con el equipo técnico de la Cooperativa Nahualá y con los productores de cada comunidad.

3.4.3.4 Resultados

A. Talleres con temática en prácticas de conservación de suelos

Se realizaron cinco talleres de capacitación los cuales se llevaron a cabo en los caseríos de Pacanal II, Pasac y Tzamabaj, en los cuales se capacito a 47 productores de café y de Hoja de Maxan, la distribución por genero fue de 21 hombres y 26 mujeres, promoviendo la equidad de género en este tipo de actividades.

Entre los principales temas que se abordaron y discutieron están:

- La importancia de la conservación de suelos
- Tipo de prácticas de conservación
- Construcción e implementación de prácticas de conservación
- Criterios técnicos

Además de los talleres se realizaron en áreas productivas como una estrategia para garantizar la transmisión del mensaje y como también realizar ejemplos en campo de la construcción e implementación de las distintas prácticas de conservación de suelos. En las capacitaciones se utilizaron carteles ilustrativos, trabajo en campo como parte del material utilizado para una mayor comprensión de la temática.

B. Implementación de prácticas de conservación de suelos.

Los principales resultados obtenidos como parte de las actividades de tecnificación del cultivo de Maxan y Tecnificación del cultivo de café realizadas por la Cooperativa Nahualá R.L, se presentan en el cuadro 61.

Cuadro 61. Prácticas de conservación de suelos utilizadas por actividad.

Actividad	Prácticas implementadas	Área cubierta (ha)
Tecnificación del cultivo de Café	<ul style="list-style-type: none"> – Barreras Vivas – Terrazas individuales – Curvas a nivel – Barreras Muertas 	10.58
Tecnificación del cultivo de Maxan	<ul style="list-style-type: none"> – Barreras Vivas – Acequias – Curvas a nivel – Barreras Muertas 	10.58

Se utilizaron las prácticas de Barreras vivas, terrazas individuales, curvas a nivel, barreras muertas y acequias, esto con la finalidad de garantizar la conservación de suelos en zonas que presentaban pendientes mayores a 20 %.

El área que se implementaron prácticas de conservación de suelos tiene un total de ocupación alrededor de 10.58 ha, siendo 100 cuerdas en cultivo de Café y 100 cuerdas en cultivo de Maxan. Teniendo así un fuerte impacto de la utilización de prácticas de conservación de suelos en las áreas productivas de los asociados de la organización comunitaria.

3.4.3.5 Constancias



Figura 61. Capacitación a productores del caserío de Tzamabaj



Figura 62. Capacitación del uso del nivel en "A", caserío Pasac



Figura 63. Capacitación a productores del caserío Pacanal II



Figura 64. Capacitación en campo en caserío Pasac



Figura 65. Barrera viva en curva a nivel de Maxan en cultivo de café



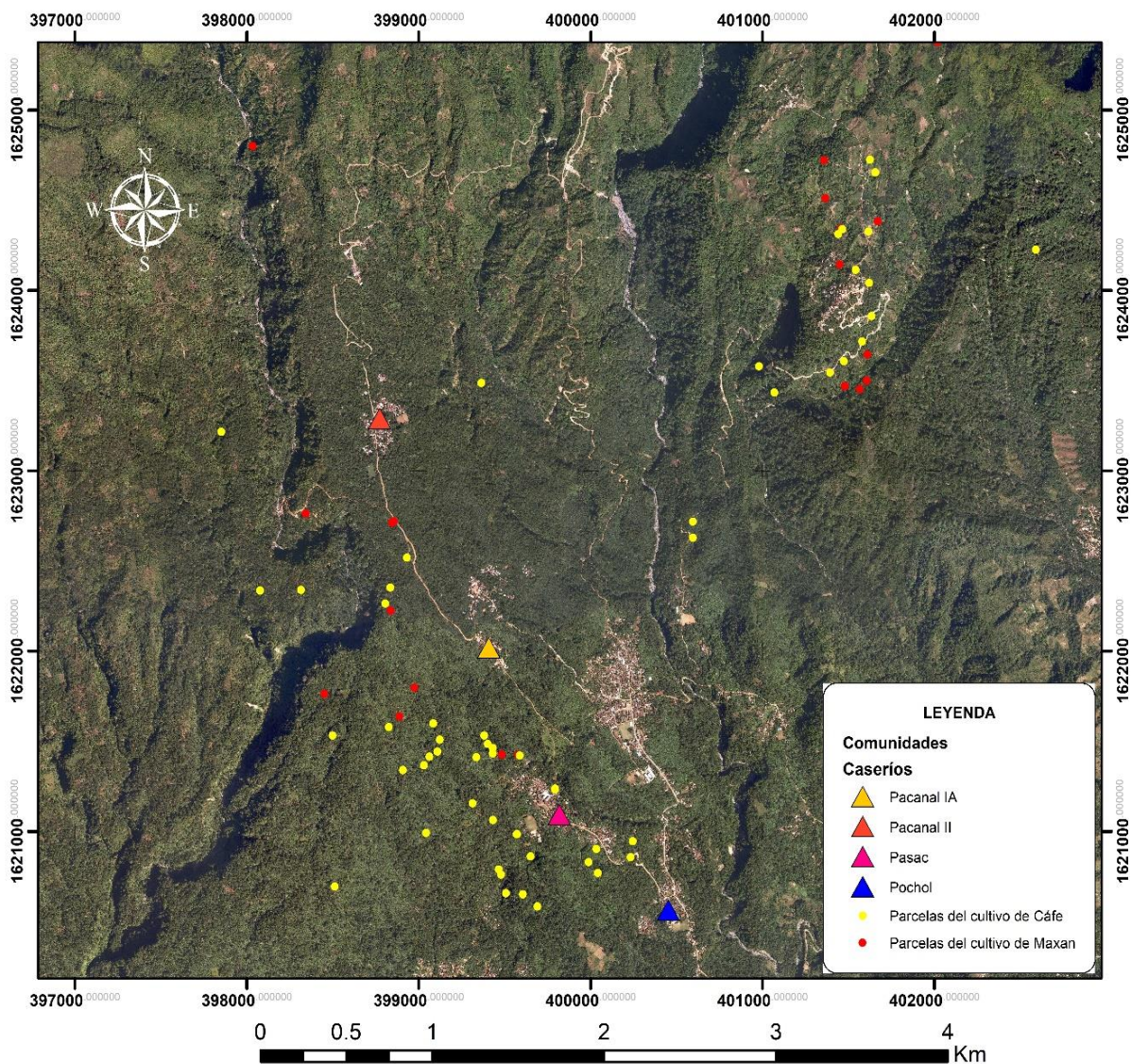
Figura 66. Barrera viva con Maxan en cultivo de café



Figura 67. Acequia realizada en cultivo de maxan



Figura 68. Elaboración de terrazas individuales en cultivo de café



Escala numérica 1:32,180

PROYECCIÓN DEL MAPA DIGITAL: GTM
 Proyección: Transverse Mercator, GCS-WGS-1,984

Datum: D-WGS-1,984

Elaborado: Carlos Donis

Fuente Gráfica: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- Ortofotos, 2006

Instituto Geográfico Nacional -IGN-

Levantamiento de campo

Proyecto Paisajes Productivos Resilientes al
 cambio climático y Redes Socioeconomicas Fortalecidas en Guatemala -PPRCC-
 PCL- Practicas de adaptación al cambio climático en las sub cuencas del río Ixtacapa y Masa.

Consultoría "Asistencia Técnica en temática forestal con enfoque de género
 para la zona de Boca costa, jurisdicción del Proyecto"



PCL-NAHUALÁ
 Cooperativa Nahualá R.L.
 Fecha Elaboración
 10/11/2016

Figura 69. Mapa de ubicación de las parcelas con implementación de prácticas de conservación suelos.