

Jalapa, 26 de enero de 2017.

M Sc. Gerardo L. Arroyo C.
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

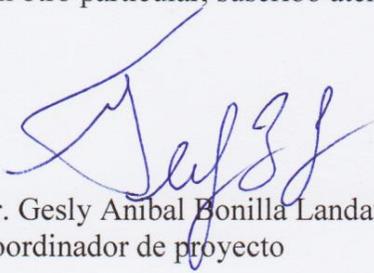
Maestro Arroyo:

Adjunto a la presente el informe final **“Estudio de las condiciones para realizar la restauración ecológica de los bosques de pinabete *Abies guatemalensis* Rehder en Jalapa”** (partida presupuestal 4.8.35.2.62), coordinado por el Doctor **Gesly Anibal Bonilla Landaverry** y avalado por la Unidad de Investigaciones del CUNSORORI.

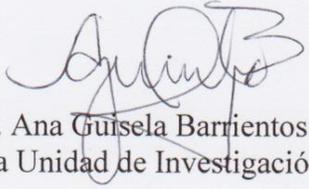
Este informe final fue elaborado de acuerdo a la guía de presentación de la Dirección General de Investigación y revisado su contenido en función de los objetivos planteados y productos esperados, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente. Así mismo me comprometo a dar seguimiento a la gestión del aval y la publicación del artículo científico.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



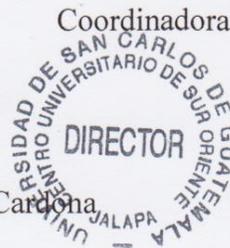
Dr. Gesly Anibal Bonilla Landaverry
Coordinador de proyecto



M. A. Ana Guisela Barrientos Godoy
Coordinadora Unidad de Investigación CUNSORORI



Lic. Edwin Wilfredo Contreras Cardona
Director CUNSORORI





Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

INFORME FINAL

Nombre del proyecto:

“Estudio de las condiciones para realizar la restauración ecológica de los bosques de pinabete *Abies guatemalensis* Rehder en Jalapa”

Equipo de investigación:

Gesly Aníbal Bonilla Landaverry
Coordinador de proyecto

Oscar Alfredo Sánchez Barrientos
Investigador

Ligia Marisol Castillo López
Auxiliar de Investigación II

Enero de 2017.
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN AVALADORA
Centro Universitario de Sur Oriente CUNSORORI JALAPA

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. Saúl Guerra
Coordinador del Programa de Investigación

Dr. Gesly Aníbal Bonilla Landaverry
Coordinador del proyecto

Ing. Agr. Oscar Alfredo Sánchez Barrientos
Investigador

Ligia Marisol Castillo López
Auxiliar de Investigación II

Partida Presupuestaria
4.8.35.2.62
Año de ejecución: 2016

Índice de ilustraciones

Figuras (fotografías, gráficas, diagramas)

Figura 1 Ubicación de la comunidad Soledad Grande en Guatemala	11
figura 2 Área de bosque mixto con presencia de pinabete.....	17
figura 3 Área con árboles de pinabete dispersos.....	18
figura 4 área con plantaciones de pinabete	19
figura 5 área con presencia de pinabete en la aldea Soledad Grande, Jalapa	20
Figura 6 Velocidad de infiltración por el método de doble cilindro en campo abierto	27
Figura 7 Velocidad de infiltración por el método de doble cilindro en sotobosque	28
Figura 8 área sujeta a restauración según altitudes adecuadas para la aldea la Soledad Grande, Jalapa.....	29
Figura 9 área con potencial a restauración basada en plantas nodrizas	30
Figura 10 Figura 10: red hídrica de la aldea Soledad Grande, Jalapa.....	31
Figura 11 Instalación de estación meteorológica.....	41
Figura 12 recopilación de potenciales plantas nodrizas para su identificación.	42
Figura 13 recopilación de potenciales plantas nodrizas para su identificación en diferentes localidades.....	42
Figura 14 visita a campo por parte de directivos de DIGI	43
Figura 15 plantaciones de pinabete en la aldea Soledad Grande, Jalapa.	43
Figura 16 árbol de pinabete con más de 100 años de edad.	44
Figura 17 visita a plantaciones de pinabete en el departamento de San Marcos, Guatemala.	45
Figura 18 y Figura 19 Siembra de pilones de pinabete.....	45
Figura 20 y Figura 21 análisis patológico de laboratorio en muestras enfermas de pinabete.	46
Figura 22 y Figura 23 Realización de aforo utilizando el método volumétrico.	46
Figura 24 y Figura 25 Procedimiento de aforo utilizando el método sección-velocidad.	47
Figura 26 elaboración de calicatas.	47
Figura 27 y Figura 28 estudios de infiltración básica.	48
Figura 29 paisaje de la aldea Soledad Grande.	48

Figura 30 resultados de análisis químico y físico en laboratorio de suelos con presencia de pinabete.	48
Figura 31 resultados de laboratorio de hongos micorrícicos.	49

Tablas

Tabla 1	22
Tabla 2	22
Tabla 3	22
Tabla 4	23
Tabla 5	23
Tabla 6	24
Tabla 7	25
Tabla 8	32
Tabla 9	32
Tabla 10	33

Título completo del proyecto

“Estudio de las condiciones para realizar la restauración ecológica de los bosques de pinabete *Abies guatemalensis* Rehder en Jalapa”

Índice General

1	Resumen.....	2
2	Abstract.....	2
3	Introducción	3
4	Objetivos	4
4.1	General	4
4.2	Específicos	5
5	Marco Teórico y estado del arte.....	5
5.1	Restauración ecológica	5
6	Materiales y métodos	10
6.1	Ubicación geográfica	10
6.2	Tipo de investigación	11
6.3	Técnicas e instrumentos.....	12
6.4	Operacionalización de las variables o unidades de análisis	13
7	Resultados.....	15
7.1	Resultados del primer objetivo específico	15
7.2	Resultados del segundo objetivo específico.....	16
7.3	Resultados del tercer objetivo específico	28
7.4	Resultados del cuarto objetivo específico	32
7.5	Matriz de Resultados	33
7.6	Impacto esperado.....	34
8	Análisis y discusión de resultados	35
9	Conclusiones.....	38
10	Referencias.....	39
11	Apéndice	41
12	Actividades de gestión, vinculación y divulgación.....	49

1 Resumen

La recuperación de bosques con presencia de pinabete *Abies guatemalensis* Rehder es de suma importancia para Jalapa. Este proyecto como objetivo principal, ha sentado las bases iniciales para que se dé un proceso de restauración ecológica para el futuro, pues el pinabete *Abies guatemalensis* Rehder es una especie endémica protegida. Crece en partes altas en cabeceras de cuenca, por lo que tiene un valor ecológico, ambiental y social inconmensurable. La restauración ecológica es una necesidad por las condiciones de deterioro que muchos ecosistemas tienen y el pinabete en Jalapa presenta fuertes amenazas como la tala ilícita, los incendios forestales y las actividades agropecuarias. Se estudiaron datos concretos para determinar la incidencia en los tomadores de decisión para su restauración. Se realizó una valoración de las plantas nodrizas como facilitadoras en el proceso de restauración ecológica. Se generó información y se dio seguimiento a las plantaciones previas del abeto en estudio. Se generaron datos vitales a considerar para la caracterización de condiciones hidrológicas y ecológicas de los bosques de pinabete *Abies guatemalensis* Rehder; información sobre propiedades taxonómicas y botánicas en plantas nodrizas y análisis de suelos del área. Todo esto beneficiará al medio ambiente y a los pobladores de esta área.

Palabras clave: Abeto | medio ambiente | protección | recarga hídrica | plantas nodrizas.

2 Abstract

The recovery of forests with the presence of *Abies guatemalensis* Rehder is of paramount importance for Jalapa. This project as the main objective has laid the initial basis for an ecological restoration process for the future, as the *Abies guatemalensis* Rehder pinnate is a protected endemic species. It grows in high parts in headwaters of watershed, reason why it has an ecological, environmental and social value immeasurable. Ecological restoration is a necessity because of the deterioration conditions that many ecosystems have and the pine forest in Jalapa presents strong threats such as illegal logging, forest fires and agricultural activities. Specific data were studied to determine the impact on decision-makers for restoration. An evaluation of the suckling plants was made as facilitators in the process of ecological restoration. Information was generated and the

previous plantations of the spruce under study were monitored. Vital data were generated to be considered for the characterization of hydrological and ecological conditions of pine forests *Abies guatemalensis* Rehder; Information on taxonomic and botanical properties in nursery plants and analysis of soils of the area. All this will benefit the environment and the people of this area.

Keywords: Spruce | Environment | Protection | Water recharge | Mother plants.

3 Introducción

La restauración ecológica es sumamente importante para no perder especies endémicas como el Pinabete *Abies guatemalensis* Rehder que se ve amenazado por la tala ilícita, incendios y principalmente por el inadecuado manejo forestal. Aunque la restauración ecológica supone un trabajo a largo plazo, las primeras acciones son de primordial importancia para que los resultados se vean años más tarde. En el país no hay lineamientos del Estado, como sí los hay en varios países de América Latina, sobre la restauración ecológica, por lo que es importante por medio de acciones concretas ir despertando la conciencia de la necesidad de este tipo de intervención. En varias partes del mundo hay ejemplos de proyectos exitosos de restauración ecológica y para Guatemala hay algunos casos que están procurando empezar con esta actividad, como el caso en Manglares donde se están llevando algunas experiencias como extensión del trabajo realizado en Chiapas, México. En la parte alta de San Marcos el *Abies guatemalensis* Rehder, algunos agricultores progresistas, con el objetivo de manejar estas especies como árbol de navidad, tienen experiencias de establecimiento utilizando criterios ecológicos. Un estudio realizado entre 2009 a 2011 en esta área sistematizó esas experiencias y proporcionó conocimiento sobre sucesión ecológica de 10 localidades de Ixchiguan, Tacaná, San José Ojetenam, Sibinal y San Marcos, alrededor de parches de bosque de *Abies guatemalensis* Rehder.

Sin embargo, en regiones del oriente de Guatemala es muy poca la experiencia que se tiene sobre restauración, principalmente en el departamento de Jalapa. A pesar que el *Abies guatemalensis* Rehder existente en las partes altas de este departamento no se tiene

conciencia que esta especie se encuentra amenazada y en constante presión por la tala ilícita, el avance de actividades agropecuarias y los incendios forestales.

La comunidad que cuenta con pequeños bosques de pinabete es la aldea Soledad Grande del municipio de Mataquescuintla en el departamento de Jalapa. En esta aldea se cuenta con pocas experiencias exitosas para la reforestación del *Abies guatemalensis* Rehder a pesar que las condiciones climáticas y ecológicas son apropiadas para su propagación, no obstante la depredación y destrucción de los pocos bosques de *Abies guatemalensis* Rehder son cada vez más frecuentes, por la búsqueda de espacios para ganadería y agricultura por lo que es imperante iniciar un proceso de restauración ecológica a partir de ecosistemas que han sido totalmente deteriorados principiando con la recuperación del suelo, el establecimiento de arbustos y en los años siguientes árboles.

Dentro de las actividades iniciales de una restauración ecológica se encuentran identificar y valorar el uso de las especies que pueden servir como nodrizas, y por lo tanto en este proyecto se está dando importancia a estos aspectos centrales que son clave para el establecimiento de los árboles. En el proceso de restauración ecológica es muy importante el seguimiento y monitoreo que va desde el inicio de la intervención, y que es mucho más importante cuando ya no hay proyecto, para que las mismas comunidades tengan una orientación de lo que sigue.

4 Objetivos

4.1 General

Elaborar un plan de restauración ecológica para la recuperación del ecosistema en los bosques de pinabete *Abies guatemalensis* Rehder en la aldea Soledad Grande, Mataquescuintla, Jalapa.

4.2 Específicos

- Identificar la vegetación arbustiva y arbórea del área que esté facilitando el proceso de sucesión ecológica de las áreas con pinabete *Abies guatemalensis* Rehder de la aldea Soledad Grande, Mataquescuintla, Jalapa.
- Determinar el área existente de *Abies guatemalensis* Rehder en la aldea Soledad Grande, del municipio de Mataquescuintla, Jalapa por medio de un inventario forestal, que incluya estudio de hongos micorrícicos, datos climáticos, edáficos e hidrológicos.
- Definir las áreas que pueden estar sujetas a restauración ecológica y los métodos a utilizar para dicha actividad en los bosques de *Abies guatemalensis* Rehder en Jalapa.
- Evaluar inductores de germinación en semilla de *Abies guatemalensis* Rehder.
- Generar la propuesta de restauración del ecosistema de *Abies guatemalensis* Rehder, de manera participativa con las comunidades locales e instituciones involucradas.

5 Marco Teórico y estado del arte

5.1 Restauración ecológica

La mayoría de ecosistemas naturales en el mundo están deteriorados, esto ha traído consigo que de la diversidad biológica se hayan perdido o estén en peligro de extinción. Así las funciones normales de muchos ecosistemas también se han disminuido y en el peor de los casos desaparecido, por ejemplo la diversidad biológica, la producción de agua, la regulación del microclima, etc. Ante esto es necesario tomar acciones para recuperar en lo posible los ecosistemas dañados. Para esto inicialmente se debe eliminar o evitar al máximo el o los factores de deterioro, como la deforestación, el pastoreo, el

cambio en el uso del suelo de prácticas no sostenibles y otros. Así los ecosistemas entran en un proceso de sucesión ecológica que a lo largo del tiempo se esperaría volviera a parecerse al ecosistema de referencia. Si este proceso es ayudado por el ser humano a través de utilizar prácticas acordes a procesos sucesionales, el tiempo de recuperación del ecosistema puede ser menor y a la vez puede propiciar el bienestar de sus servicios de tal forma que se vea la utilidad de realizar este trabajo.

La restauración ecológica de acuerdo con la Sociedad Internacional de Restauración Ecológica “...Es el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido” (SER, 2004). El paradigma inicial de la restauración ecológica es que a través de este proceso se puede volver al ecosistema original, sin embargo la práctica ha demostrado que es difícil volver al mismo, lo cual es apoyado hoy por muchos autores (Clewel y Aronson, 2007). En el paradigma original las definiciones están orientadas por el objetivo final que es llegar al ecosistema de referencia, en tanto que lo que hoy se trabaja es hacer definiciones en función de procesos, por lo que el concepto de restauración debe ser más operacional y buscar que existan una estructura y función de ecosistema que indique que el sistema es auto sostenible y que permita una mejor convivencia de la sociedad que en un ecosistema deteriorado, más que forzar a pretender alcanzar un ecosistema que existió en el pasado (Cairns y Heckman, 1996). De tal forma que un concepto más operacional de restauración ecológica sería visto como un proceso inducido por el ser humano para recuperar las condiciones ambientales (vegetación, flora, fauna, clima, agua, suelo y microorganismos) de un ecosistema perturbado (Jackson *et al.* 1995).

En este sentido es muy importante la participación comunitaria, de tal forma que la función del ecosistema debe ser percibida por la sociedad. Para esto desde el inicio, el análisis de la historia, condiciones actuales, actores principales, entre otros, debe ser importante, ya que si una comunidad no es informada e integrada en el plan de restauración, este difícilmente avanzará (Cardona, 2005). Hay conceptos que han sido utilizados paralelamente con el de restauración, como es el de rehabilitación, revegetación, reclamación y otros para los que se han encontrado un uso de acuerdo con

el grado de deterioro del ecosistema inicial y la proporción de estructura y función que se alcance, aunque etimológicamente no significan lo mismo (Vargas y Mora, 2007). El mejoramiento de la salud y la riqueza de los ecosistemas por medio de la restauración ecológica ha sido propuesto por varios autores (Winterhalder, Clewell y Aronson, 2004), y aunque estos términos son discutibles porque se han tomado de los utilizados en un organismo viviente, vale la pena considerarlos para evaluarlos con indicadores ecológicos (Davis y Slobodkin, 2004).

Las actividades realizadas para alcanzar los objetivos de la Restauración Ecológica deben estar enmarcadas dentro de la escala de modelos sucesionales ya que sirven para predecir como los proyectos de restauración alcanzan sus metas. En ese sentido se debe dar mayor énfasis a los procesos dinámicos de la composición de especies, diversidad y estructura que deben ser expresados como tasas de cambio (Parker, 1997).

En la restauración ecológica se deben tener en cuenta los procesos de escala y contexto de sitio, para diferenciar los efectos en áreas pequeñas y en niveles de paisaje, por otra parte también tomar en cuenta que muchos de los procesos en la trayectoria de la restauración ecológica puede en determinado momento ser dirigida por fuerzas externas, por ejemplo especies exóticas, que posiblemente cambien la ruta sucesional que pueda llevar al ecosistema de referencia (Parker, 1997; Apfelbaum y Haney, 2010).

Choi (2007), indica a la restauración ecológica como una nueva disciplina dentro de la ecología, que está proveyendo de nuevas formas de la conservación de la diversidad biológica, manejo de ecosistemas y prueba de teorías ecológicas. Para esto se deberán formular nuevos paradigmas basados en: a) establecimiento de ecosistemas que sean capaces de ser sustentables en el futuro y no basados en querer copiar ecosistemas del pasado ambiental, b) tener múltiples metas y trayectorias para puntos finales impredecibles de los ecosistemas, c) enfocarse sobre la rehabilitación de la función de los ecosistemas más que recomposición de especies o superficies cosméticas de paisaje y d) Adquirir el conocimiento para identificar el valor agregado aplicado a la ciencia entre la parte económica y social inmersa en el tema.

La restauración ecológica es una tarea práctica que procura llevar los conceptos de la ecología al plano de acción, como lo planteó Bradshaw (1987) la restauración ecológica es el test ácido de la ecología y por lo tanto se tiene que demostrar a través de sus acciones si los conceptos ecológicos son útiles, sino mucha de la teoría ecológica tendrá que cambiar en un futuro cercano.

Debe diferenciarse entre Ecología de la Restauración y Restauración ecológica. La primera sienta las bases y proporciona la teoría para efectuar la restauración, la segunda es la puesta en práctica de acciones de restauración con bases ecológicas (Palmer, Ambrose & Poff, 1997).

5.1.1 Principales pasos para la restauración ecológica

El establecimiento de un plan de restauración ecológica, no es una receta pero si hay algunos pasos importantes que deben considerarse para su aplicación. Por ejemplo Apfelbaum & Haney (2010) proponen 10 pasos que en forma resumida son:

“1) mapeo e inventario del área a restaurar; 2) investigación de la historia del paisaje donde está el ecosistema a intervenir; 3) interpretación de los cambios del paisaje; 4) desarrollo de objetivos y metas realistas; 5) preparación del plan; 6) desarrollo e inicio de un programa de monitoreo; 7) implementación del plan de restauración ecológico; 8) documentación de cambios y mantenimiento de registros; 9) reevaluación periódica del programa; 10) comunicación y educación.”

Por su parte Vargas (2011) propone 13 pasos para la restauración ecológica, de la siguiente manera:

“1) definir el ecosistema de referencia; 2) evaluar el estado actual del ecosistema; 3) definir los niveles y escalas de organización de la naturaleza, después de este punto se establecen los objetivos del proyecto; 4) establecer las jerarquías y escalas de disturbio; 5) consolidar la participación comunitaria; 6) evaluar el potencial de regeneración; 7) establecer los tensionantes para la restauración a diferentes escalas; 8) seleccionar las especies adecuadas para la restauración; 9) propagar y manejar las especies; 10) seleccionar los sitios; 11)

diseñar estrategias para superar las barreras de la restauración; 12) monitorear el proceso de restauración; 13) consolidar el proceso de restauración.”

5.1.2 Atributos de los ecosistemas restaurados

La Sociedad Internacional de Restauración Ecológica SER (2004), señala los siguientes atributos para los ecosistemas restaurados:

“1. El ecosistema restaurado contiene un conjunto característico de especies que habitan en el ecosistema de referencia y que proveen una estructura apropiada de la comunidad.

2. El ecosistema restaurado consta de especies autóctonas hasta el grado máximo factible. En ecosistemas culturales restaurados, se puede ser indulgente con especies exóticas domesticadas y con especies ruderales, y arvenses que se supone que co-evolucionaron con ellas. Las especies ruderales son plantas que colonizan los sitios alterados; las especies arvenses típicamente crecen entre plantas de cultivo.

3. Todos los grupos funcionales necesarios para el desarrollo y/o la estabilidad continua del ecosistema restaurado se encuentran representados o, si no, los grupos faltantes tienen el potencial de colonizar por medios naturales.

4. El ambiente físico del ecosistema restaurado tiene la capacidad de sostener poblaciones reproductivas de las especies necesarias para la continua estabilidad o desarrollo a lo largo de la trayectoria deseada.

5. El ecosistema restaurado en apariencia funciona normalmente de acuerdo con su estado ecológico de desarrollo y no hay señales de disfunción.

6. El ecosistema restaurado se ha integrado adecuadamente con la matriz ecológica o el paisaje, con los cuales interactúa a través de flujos e intercambios bióticos y abióticos.

7. Se han eliminado o reducido, tanto como sea posible, las amenazas potenciales del paisaje que lo rodea a la salud e integridad del ecosistema.

8. *El ecosistema restaurado tiene suficiente capacidad de recuperación como para aguantar los acontecimientos estresantes periódicos y normales del ambiente local y que sirven para mantener la integridad del ecosistema.*

9. *El ecosistema restaurado es autosostenible al mismo grado que su ecosistema de referencia y tiene el potencial de persistir indefinidamente bajo las condiciones ambientales existentes. No obstante, los aspectos de su biodiversidad, estructura y funcionamiento podrían cambiar como parte del desarrollo normal del ecosistema y podrían fluctuar en respuesta a acontecimientos normales y periódicos aislados de estrés y de alteración de mayor trascendencia. Como con cualquier ecosistema intacto, la composición de las especies y otros atributos de un ecosistema restaurado podrían evolucionar a medida que cambian las condiciones ambientales.”*

6 Materiales y métodos

6.1 Ubicación geográfica

El área donde se llevó a cabo la presente investigación se encuentra en la aldea Soledad Grande, que pertenece al municipio de Mataquescuintla, del departamento de Jalapa, siendo uno de los 22 departamentos del país de Guatemala; dentro de las coordenadas lat. 14°32'05", long. 90°07'36" como se muestra en la figura 1. Esto debido a que es en esa aldea donde se encuentra la especie a estudiar. Las altitudes de la aldea Soledad Grande oscilan entre los 2400 a 2800 msnm y presenta condiciones para el establecimiento de *Abies guatemalensis* Rehder con criterios de restauración ecológica.

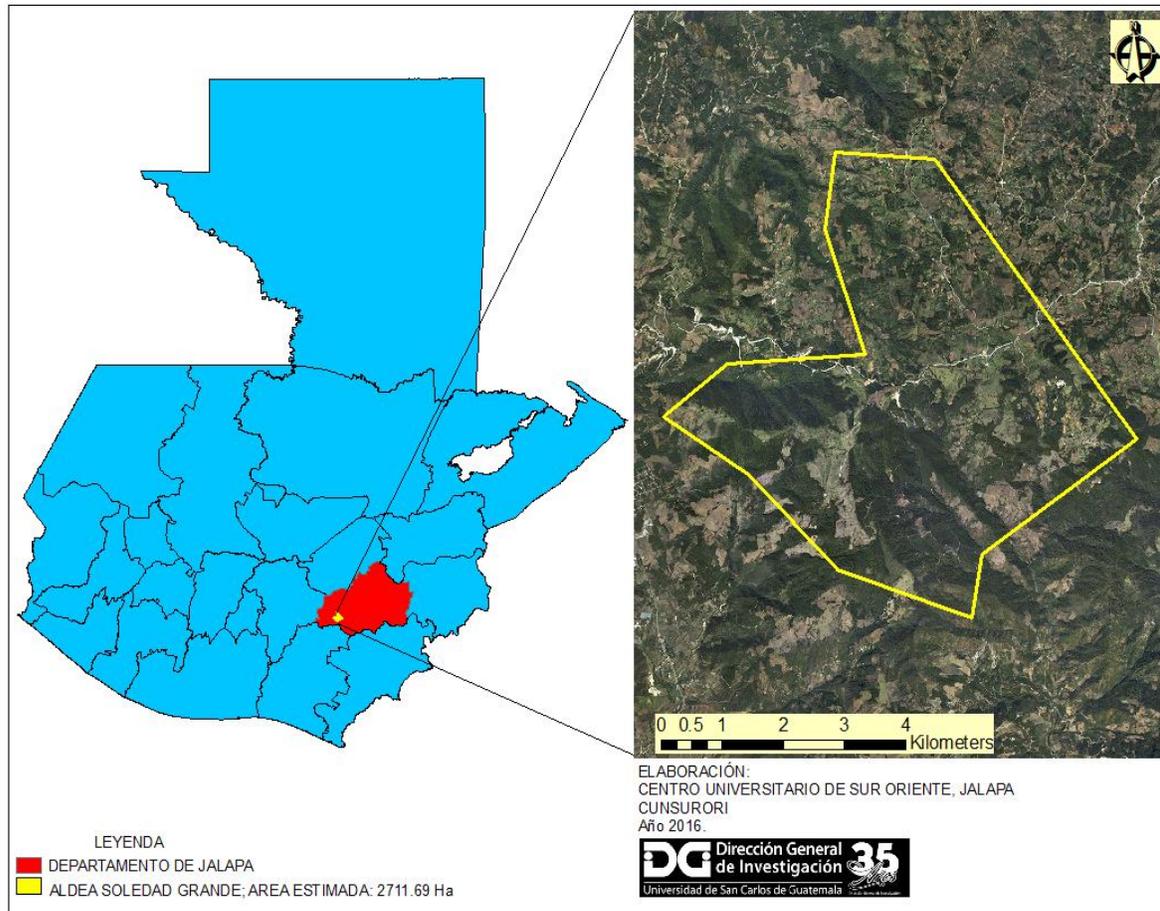


Figura 1 *Ubicación de la comunidad Soledad Grande en Guatemala*

6.2 Tipo de investigación

Basándonos en estudios de metodologías de la investigación (Sampieri 1996), podemos aseverar que se realizó una investigación mixta porque en los diferentes objetivos de la investigación se plantearon estudios tanto descriptivos como experimentales (cuantitativos). Describiendo el papel de algunas especies que influyen en el crecimiento y desarrollo de *Abies guatemalensis* Rehder, tales como arbustos que pueden ser de utilidad como plantas nodrizas, evaluando germinación de la especie con la ayuda de análisis estadísticos, así como también se describieron aspectos de la vegetación y condiciones del área.

6.3 Técnicas e instrumentos

6.3.1 Para el primer objetivo específico

Se recolectaron muestras de las potenciales especies que contribuyen al proceso de sucesión, tomando en cuenta factores físicos, tales como copa arbustiva, profundidad de raíz, cercanía de las especies al pinabete, indicando el buen desarrollo y crecimiento del mismo; así como también identificando las plantas nodrizas descritas en estudios anteriores en pinabete (Martínez 2013) que sirven como indicadores. Posterior a ello, se trasladaron a laboratorio para su identificación taxonómica.

6.3.2 Para el segundo objetivo específico

-Por medio de análisis de laboratorio y levantamiento de calicatas, se obtuvo una caracterización física y química de los suelos. Analizando elementos mayores, menores, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Porcentaje de Saturación de Bases (%SB), potencial de Hidrógeno (pH), contenido de Materia Orgánica (MO), identificando los diferentes horizontes dentro de cada perfil contenido en los suelos.

- Se llevó a cabo un muestreo según indicaciones de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (Uviger) de la Facultad de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC) para posterior análisis de laboratorio, determinando así la presencia de hongos micorrícicos en el área donde esté presente el *Abies guatemalensis* Rehder y poder establecer una posible simbiosis entre ambas especies.

- Identificación y estimación del valor de los servicios ecosistémicos actuales y potenciales de los bosques de *Abies guatemalensis* Rehder de Jalapa. Destacando algunos servicios, la estimación de infiltración en suelos de bosques con presencia de pinabete, a través de cilindros de infiltración.

- Recopilación de datos a través de una estación meteorológica adquirida, para determinar características climáticas propias del área en estudio. Dicha estación meteorológica consta de instrumentos tales como termómetro, pluviómetro, higrómetro, anemómetro, veleta, entre otros.

- Se identificaron e inventariaron lotes en siembras de *Abies guatemalensis* Rehder, de lo cual se realizó un análisis de producción para árboles de navidad, realizando entrevistas a los propietarios.

- Se contabilizó el área natural existente de pinabete, a través de la medición de rodales, con la ayuda de gps, software de soporte, entre otros.

6.3.3 Para el tercer objetivo específico

Analizando los diferentes aspectos de los objetivos anteriores, se plasmaron figuras de mapas dentro de los cuales se identifican las áreas que tienen potencial para restauración ecológica de pinabete, basándose en zonas de recarga hídrica, ubicación de plantas nodrizas, rangos altitudinales, entre otros. Con la ayuda de la literatura revisada, la cual especifica los criterios a seguir para recomendar una restauración de manera integral y con mayores posibilidades de éxito.

6.3.4 Para el cuarto objetivo específico

Se realizó un experimento completamente al azar; esto debido a la homogeneidad en factores incidentes en la germinación, tales como temperatura, exposición a la luz, humedad relativa, sustrato, altitud, entre otros. Posterior a la recopilación de resultados, se procedió a realizar un análisis de varianza en un programa de bases estadísticas llamado Infostat.

6.4 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

La unidad de análisis fue el área con *Abies guatemalensis* Rehder en Jalapa. En esta unidad de análisis se obtuvo una determinación de las especies de arbustos y árboles presentes, los cuales se identificaron taxonómicamente, para lo cual se contó con el apoyo del ingeniero agrónomo Mario Véliz del Herbario Biología de Guatemala (BIGU) de la Escuela de Biología-Facultad Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Con lo que respecta a las pruebas con inductores germinativos, la variable respuesta fue el *porcentaje de germinación*; en donde se realizó una prueba de germinación para cada tratamiento en cada una de las 4 réplicas de 100 semillas cada una y se llevó la secuencia de germinación hasta los 55 días observando el porcentaje de plantas germinadas. El área experimental fue un patio de 5m² ubicado en Aldea Soledad Grande, del municipio de Mataquescuintla, Jalapa. Para las unidades experimentales, se utilizaron 16 bandejas de 52.6 cm de largo por 26.2 cm de ancho. Con 100 alveolos cada una. Los tratamientos a evaluar fueron: tratamiento 1= Ácido Giberélico. Tratamiento 2= Ácido Sulfúrico Tratamiento 3= Biozyme (producto químico) Tratamiento 4= Testigo. Se tuvieron 4 repeticiones por tratamiento por lo que fue necesario contar con un total de 16 bandejas y un total de 1600 alveolos. La fórmula a utilizar o modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad \begin{cases} i = 1, 2 \dots t \\ j = 1, 2 \dots r \end{cases}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta medida en la ij-ésima unidad experimental

μ = Media general de la variable de respuesta

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (nivel de factor) en la variable dependiente

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental

Cada tratamiento se realizó con 4 repeticiones de 100 semillas cada una haciendo un total de 400 semillas por tratamiento y un total de 1,600 semillas para la investigación.

Se obtuvieron caracterizaciones del área en base a actividades como: determinación de las condiciones ambientales que se presentan en cuanto a extensión, plantaciones, altitudes y datos climáticos. Se efectuaron análisis de suelo determinando las condiciones químicas y físicas de acuerdo al método empleado por la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (Uviger) de la Facultad de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC), así como también se realizaron análisis de hongos micorrícicos presentes en bosques con presencia de pinabete.

7 Resultados

7.1 Resultados del primer objetivo específico

En la caracterización de las especies arbustivas potenciales plantas nodrizas que faciliten el crecimiento y desarrollo de pinabete se identificó a las siguientes:

7.1.1 (Saurauia sp)

Perteneciente a la familia de las Actinidiaceae. Comúnmente conocido como arrayán en Jalapa, caso contrario al mismo nombre que se le asigna a *Baccharis vaccinioides* en el occidente del país y en la ciudad capital se le conoce como mielero. De acá surge la importancia de asignarle nombre científico a los seres vivos, incluyendo las plantas, ya que de esta manera no hay confusión al referirnos a otros. Esta planta se caracteriza por crecer no más de los 50cms, teniendo sus hojas de dos tonos en el as a la vez, teniendo verde y finalizando con café. Su sistema radicular no es muy profundo, penetrando rara vez más de los 25cms el suelo.

7.1.2 (Acaena elongata)

Perteneciente a la familia de las Rosaceae. En algunas áreas se le conoce como mosote de montaña, es una planta leñosa y herbacea, se caracteriza por presentar hojas alternas raramente opuestas, con flores solitarias y a menudo dispuestas en inflorescencias, las mismas son poco vistosas, de textura espinosa cuando están maduras generalmente de color verde o café oscuro a rojo. Alcanza hasta una altura de 1 metro y se expanden en un radio no mayor de 2 metros cuadrados.

7.1.3 (Baccharis vaccinioides)

Perteneciente a la familia de las Asteraceae. El nombre común en algunos lugares es de escobío, aunque en el occidente del país lo conocen como arrayán, debido a que sus ramas en conjunto pueden usarse como escobas rústicas principalmente en áreas rurales. Es una planta arbustiva que es densamente ramificada, sus tallos son cortos y sus hojas son pequeñas y de consistencia dura, sus máximas alturas oscilan entre 5.5 y hasta 6 metros máximo, su copa es de forma ovalada con diámetros que van desde 1.5 hasta 2.5

metros sus flores se colocan en pequeños grupos al final de sus ramas y se puede utilizar con fines medicinales para el dolor de estómago y una buena digestión.

7.1.4 (*Elaphoglossum guatemalense* Klotzs)

Pertenece a la familia de las Lamariopsidaceae. Comúnmente se les conoce como lengua de venado; son helechos con hojas individuales de color verdes y gruesas en el centro, que se originan desde la base del tronco donde empiezan las raíces de manera espesa y bifurcadas, alcanza alturas hasta de 40cm.

7.1.5 (*Malaxis lepidota* (finet) ames)

Pertenece a la familia de las Orchidaceae o en términos coloquiales, de las orquídeas, son plantas vasculares, de color verde desde el tallo hasta las hojas, siendo estas opuestas y están ubicadas en pares, antecediéndole a las mismas un tallo delgado el cual posee en su parte posterior inflorescencias pequeñas de color rojizo y blanco, sus raíces son en forma de tubérculo de donde se desprenden muchas raíces absorbentes, su tamaño oscila entre 40 a 75 centímetros de largo y cubre radios de aproximados de 80 cms.

7.1.6 (*Eryngium guatemalense* Hems)

Pertenece a la familia de las Apiaceae. Comúnmente conocido como espino, son plantas perennes, robustas, erectas, el tallo solitario, folioso, con hojas con múltiples aristas puntiagudas con una raíz axonomorfa pequeña. Hojas 20-45 × 2-4 cm ancho y de 40 hasta 75 cms de largo, linear-lanceoladas, espadiformes, la base escasamente atenuada, los márgenes callosos, densamente espinosos, ascendentes a reflexasnales.

7.2 Resultados del segundo objetivo específico

7.2.1 Área existente de pinabete

El área existente de pinabete se compone de la siguiente manera:

- El área de bosque mixto con presencia de pinabete es de 43.40Ha.

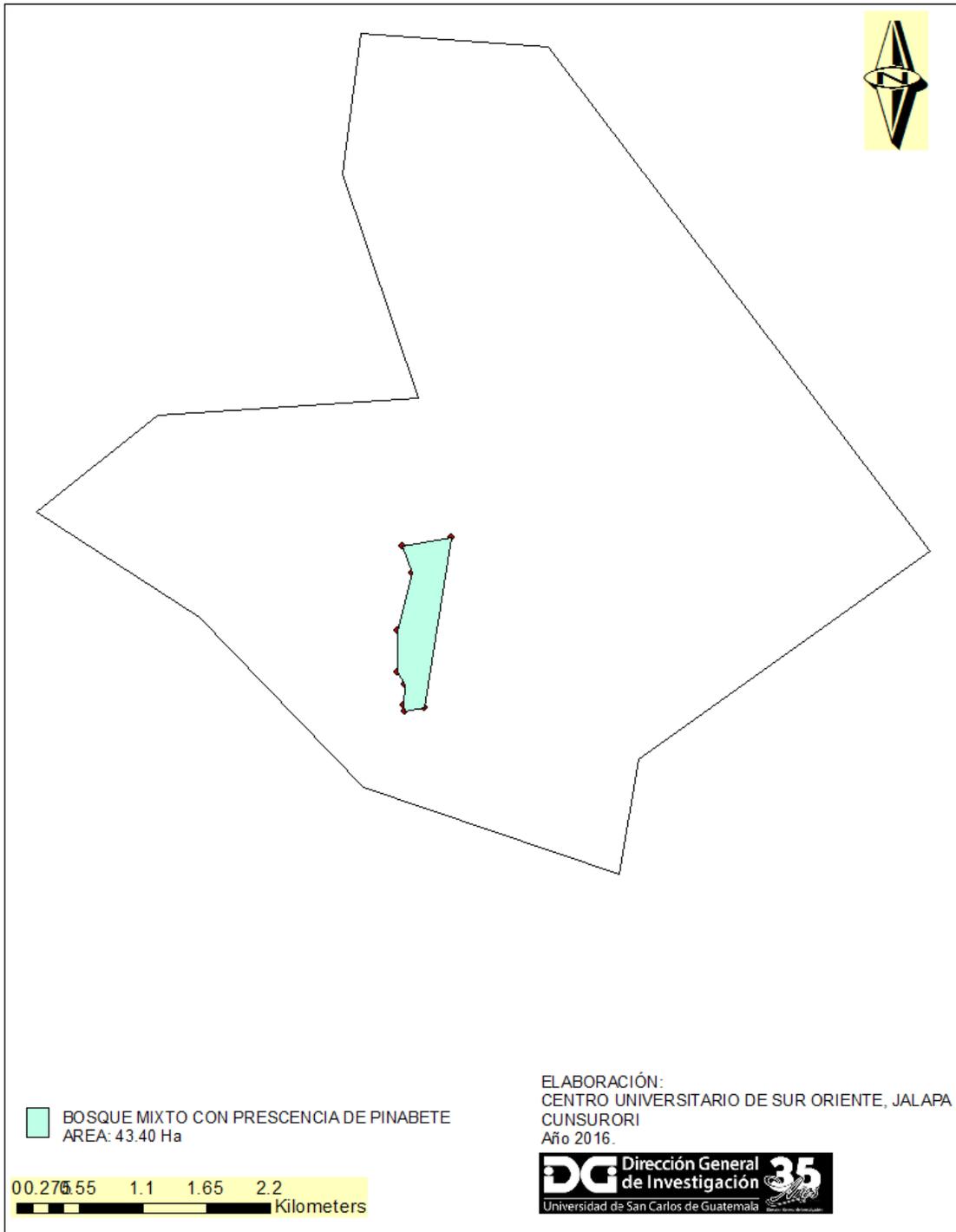


figura 2 Área de bosque mixto con presencia de pinabete

- El área con presencia de árboles de pinabete dispersos es de 231.38Ha.

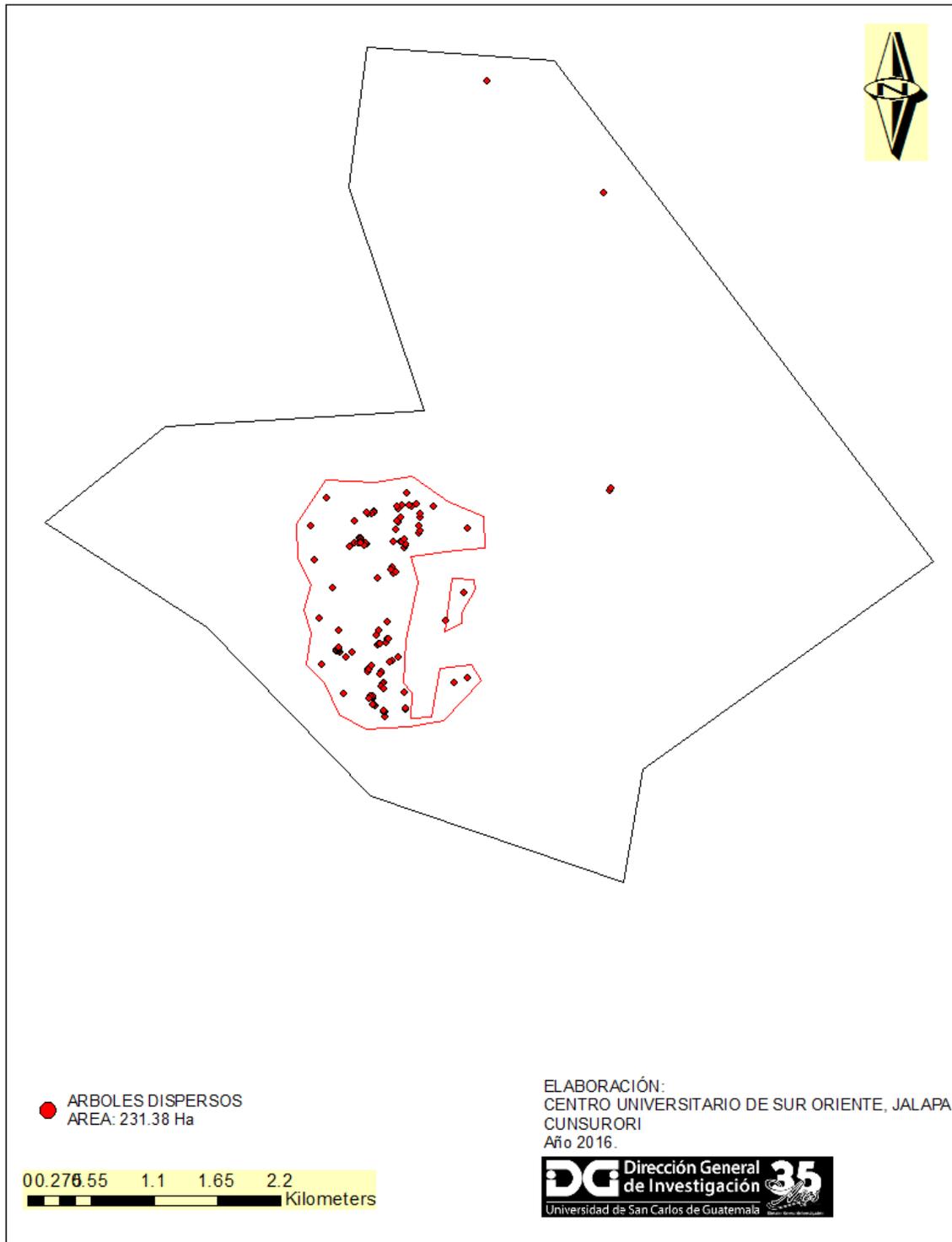


figura 3 Área con árboles de pinabete dispersos

- El área con plantaciones establecidas de pinabete es de 3.49ha.



figura 4 área con plantaciones de pinabete

- El total del área con presencia de pinabete es de 278.27ha.

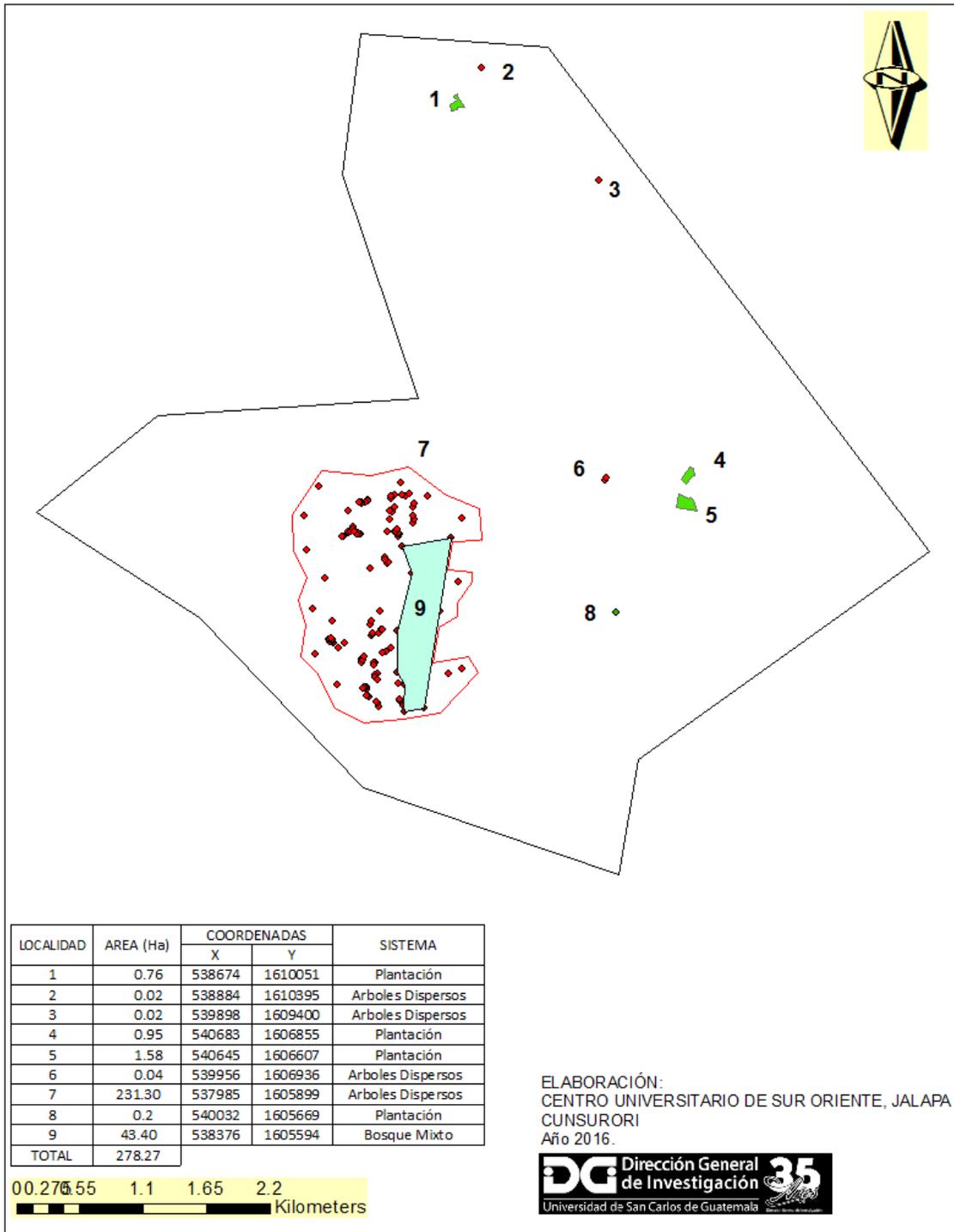


figura 5 área con presencia de pinabete en la aldea Soledad Grande, Jalapa

7.2.2 Análisis Micorrícico

Dentro de las áreas con presencia de pinabete se identificó la existencia de hongos micorrícicos en el sistema radicular del mismo, de lo cual se confirma que el pinabete por ser una especie perteneciente a la familia Pinaceae posee cierta dependencia de la simbiosis existente entre ambas especies para la fijación de ciertos nutrientes para su desarrollo. El porcentaje identificado asciende a un 84%. Vale la pena resaltar que éste análisis se realizó en el Centro de Diagnóstico Parasitológico de la FAUSAC.

7.2.3 Datos climáticos

Cabe mencionar que los datos climáticos generados fueron de los meses de noviembre y diciembre de 2016, ya que no se contaba con base de datos del área, de lo cual se gestionó la compra de una estación meteorológica, que por motivos de trámites para su compra se obtuvo en el mes de septiembre. Dentro de los datos climáticos que más destacan, enfocándonos a su importancia para el desarrollo del pinabete podemos mencionar: temperaturas promedio de 11°C, humedad relativa de 70%, velocidad del viento de 8km/h, proveniente del norte; siendo estos datos comparados a los descritos según Martínez-Arévalo (2015) en la región occidente de gran similitud y aceptación para el desarrollo y crecimiento de dicha especie.

7.2.4 Datos edáficos

Las características de los suelos que se estudiaron son las siguientes: físicas, químicas e identificación de los diferentes horizontes del suelo por medio del estudio de perfiles de los mismos.

7.2.4.1 Características físico-químicas:

En lo que respecta al análisis químico de laboratorio, se muestrearon 2 fincas (el Carmen y Melgar) que se encuentran con mayor presencia de pinabete, dentro de dichas fincas se tomaron 3 muestras en base a las diferencias topográficas observadas, en donde elementos como el fósforo, cobre, zinc, hierro, sodio y potasio se mantuvieron en los mismos rangos con diferentes resultados, al igual que el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el porcentaje de la saturación de bases y el porcentaje de materia orgánica (ver

tablas 1 y 3); mientras que los elementos como el manganeso, calcio y magnesio mostraron diferencias en más de algún sitio muestreado (tablas 1 y 3). Con lo que concierne al análisis físico, el resultado corresponde a una clase textural de un suelo franco arenoso (tablas 2 y 4), lo cual nos indica que posee buen drenaje y una ideal capacidad para dar sostenibilidad al sistema radicular que es el encargado del anclaje de las plantas, teniendo la característica de poder retener una cantidad de agua adecuada y aireación aceptable.

Tabla 1

Datos de laboratorio de análisis químico de finca el Carmen

Identificación	pH	ppm					meq/100g					%	
		P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O.
Rango Medio	6-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	---	0.27-0.38	75-90	4-5
Campo abierto	5.5	1.22	0.50	4.00	5.50	4.50	48.55	5.24	0.99	0.10	1.15	15.42	12.96
Sotobosque	5.1	0.98	0.10	4.50	5.00	21.50	48.55	11.98	2.75	0.15	2.15	35.09	12.52

Tabla 2

Datos de laboratorio de análisis físico de finca el Carmen

Identificación	%			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
Muestra 1	10.46	35.32	54.22	Franco Arenoso
Muestra 2	14.66	24.82	60.52	Franco Arenoso

Tabla 3

Datos de laboratorio de análisis químico de finca Melgar

Identificación	pH	ppm					meq/100g					%	
		P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O.
Rango Medio	6-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	---	0.27-0.38	75-90	4-5
Bosque Melgar	5.0	1.06	0.10	5.00	9.50	26.00	37.03	12.23	3.29	0.17	2.05	47.91	10.98

Tabla 4*Datos de laboratorio de análisis físico de finca Melgar*

Identificación	%			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
Bosque Melgar	18.85	26.92	54.22	Franco Arenoso

7.2.4.2 Identificación de perfiles:

En relación a los resultados del estudio geotécnico de suelos con presencia de pinabete en la aldea Soledad Grande, se llevó a cabo por medio del método directo, basándose en la metodología de Rossiter (2002) se estableció que son suelos profundos, ya que según Rossiter se le denominan de esta manera a los suelos en donde la roca madre se encuentra a profundidades mayores de 1.25m (ver tabla 5).

Tabla 5*Profundidad de suelos con presencia de pinabete*

CALICATA #	COORDENADAS	PROFUNDIDAD/ROCA MADRE
1	N 14° 31'04" W 90°08'20.2"	> 1.5m
2	N 14° 30'56.9" W 90°05'3"	> 1.5m
3	N 14° 31'00." W 90°08'43.2"	> 1.5m
4	N 14° 31'15." W 90°08'40"	> 1.5m
5	N 14° 34'20." W 90°07'39"	> 1.5m

7.2.5 Datos Hidrológicos

Se llevaron a cabo estudios hidrológicos de manera sectorizada, ya que la zona en estudio cuenta con una cantidad considerable de afluentes de agua, lo cual hizo imposible realizar dichos estudios en todos los afluentes, los datos obtenidos son de aforos e infiltración básica:

7.2.5.1 Aforo

A finales del mes de abril del año 2016 se acercó el dueño de una finca que posee diversos nacimientos de agua, los cuales algunos de ellos tienen como cabecera de cuenca el área en donde se realizaron estudios de pinabete; esta persona solicitó ayuda al Centro Universitario de Sur-Oriente de Jalapa (CUNSORORI), para realizar estudios de aforos, con el fin de establecer si son caudales suficientes y adecuados para suministrar agua a caseríos aledaños; ya que se tiene previsto una propuesta para donar dichos nacimientos para el consumo del vital líquido. Debido a lo anterior se coordinaron aforos de manera estratégica para establecer el caudal proveniente de los nacimientos mencionados. Este diagnóstico se llevó a cabo con estudiantes de la carrera de Agronomía del CUNSORORI del curso de hidrología y el equipo de investigación del presente proyecto.

Tabla 6

Datos del tiempo y volumen de 3 nacimientos por el método volumétrico

Aforo 1	Aforo 2	Aforo 3		
Tiempo	Tiempo	Tiempo	Volumen	
24.76 s	1.68 s	1.09 s	8 L	
24.33 s	1.63 s	1.43 s	8 L	
23.36 s	1.87 s	1.40 s	8 L	
25.11 s	1.71 s	1.42 s	8 L	
24.19 s	1.60 s	1.39 s	8 L	
	1.50 s	1.21 s	8 L	
	1.53 s	1.52 s	8 L	
	1.54 s	1.39 s	8 L	
		1.45 s	8 L	
Promedio:	24.35 s	1.63 s	1.37 s	8 L

Q (caudal) = volumen / tiempo

Aforo 1.

$$Q = 8 \text{ L} / 24.35 \text{ s} \quad Q = 0.33 \text{ L} / \text{s}$$

Aforo 2.

$$Q = 8 \text{ L} / 1.63 \text{ s} \quad Q = 4.912 \text{ L} / \text{s}$$

Aforo 3.

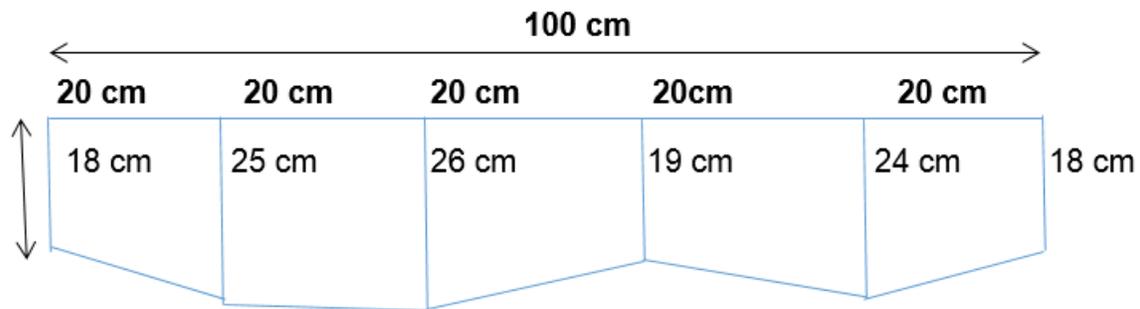
$$Q = 8 \text{ L} / 1.37 \text{ s} \quad Q = 5.84 \text{ L} / \text{s}$$

Tabla 7

Datos utilizando el método sección velocidad para aforar el cauce principal de los nacimientos.

Sección	Profundidad	Tiempo
1	18 cm	19.30 s
2	25 cm	16.86 s
3	26 cm	18.39 s
4	19 cm	18.73 s
5	24 cm	18.33 s
6	18 cm	17.52 s

Perfil de la corriente principal



Área del Rio

$$A \text{ total} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6$$

$$A1 = \frac{0.18+0.25}{2} * 0.20 = 0.043 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{0.25+0.26}{2} * 0.20 = 0.051 \text{ m}^2$$

$$A3 = \frac{0.26+0.19}{2} * 0.20 = 0.045 \text{ m}^2$$

$$A4 = \frac{0.19+0.24}{2} * 0.20 = 0.043 \text{ m}^2$$

$$A5 = \frac{0.24+0.18}{2} * 0.20 = 0.042 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 0.224 \text{ m}^2$$

Velocidad de desplazamiento

$$\text{Velocidad} = \text{Distancia} / \text{Tiempo}$$

$$\text{Velocidad} = \frac{5 \text{ metros}}{17.52 \text{ segundos}} = 0.285 \text{ m/s}$$

Caudal

$$Q = V \cdot A$$

$$Q = 0.285 \text{ m}^2 * 0.224 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.06384 \text{ m}^3/\text{s} \longrightarrow 63.84 \text{ Lps}$$

$$Q = 63.84 \text{ Litros por segundo}$$

7.2.5.2 Infiltración básica

Se realizaron pruebas de infiltración básica dentro del área con presencia de pinabete; identificando 2 áreas como punto de partida, las cuales son sotobosque y campo abierto. La primera como su nombre lo indica, es el área donde existe una densidad considerable de vegetación y la segunda, es un área con poca presencia de vegetación, que en su mayoría de espacio se encuentran algunos árboles dispersos, esto debido a que la infiltración posee una variación en ambientes de esta naturaleza.

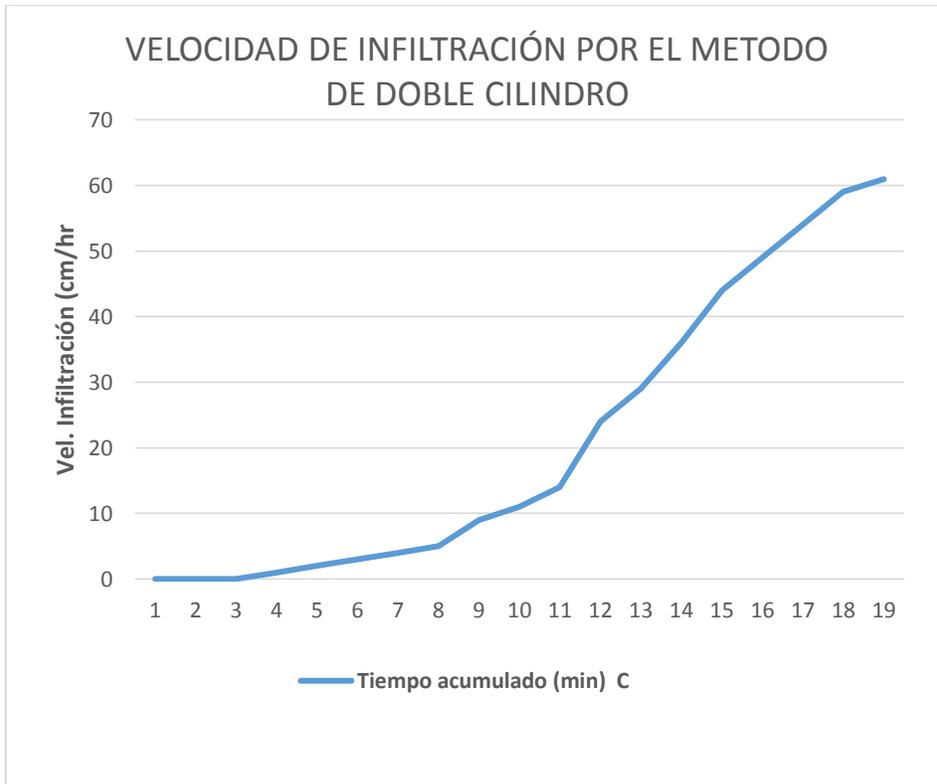


Figura 6 Velocidad de infiltración por el método de doble cilindro en campo abierto

La figura anterior muestra que la infiltración en campo abierto es pronunciada en la primera hora. Sin embargo, al llegar a capacidad de campo el suelo se satura y el proceso de infiltración se detiene debido a que no existe mayor cobertura vegetal.

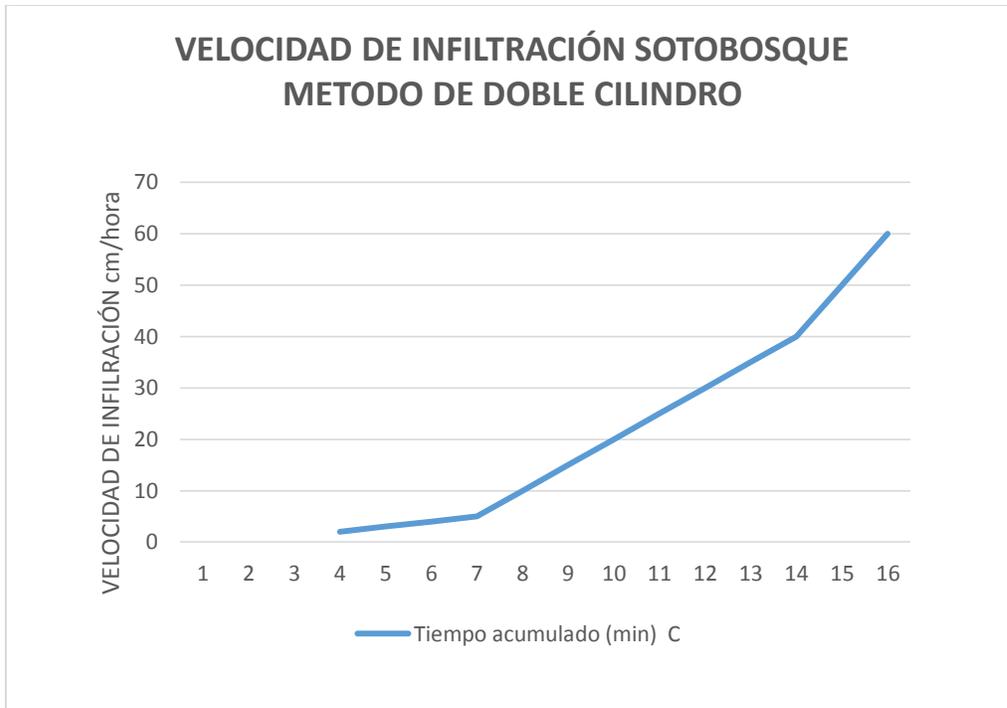


Figura 7 Velocidad de infiltración por el método de doble cilindro en sotobosque

Cuando existe vegetación en el suelo, la infiltración se da de manera uniforme y es constante después de una hora de tiempo, por lo que se puede inferir que en los bosques de pinabete el sotobosque juega un papel preponderante para la recarga hídrica.

7.3 Resultados del tercer objetivo específico

Para definir las áreas que están sujetas a restauración ecológica, se emplearon mapas con criterios que a continuación se describen:

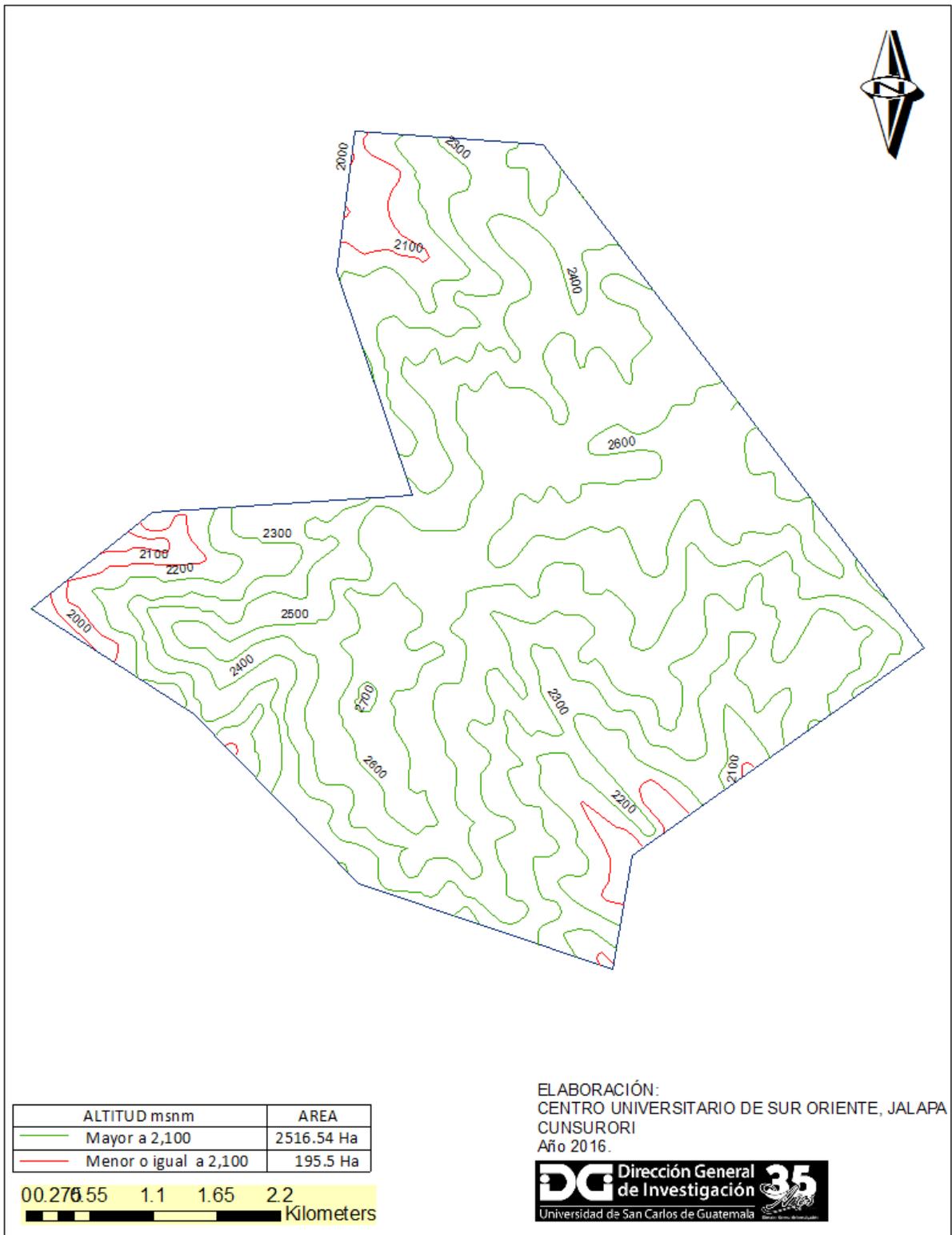


Figura 8 área sujeta a restauración según altitudes adecuadas para la aldea la Soledad Grande, Jalapa

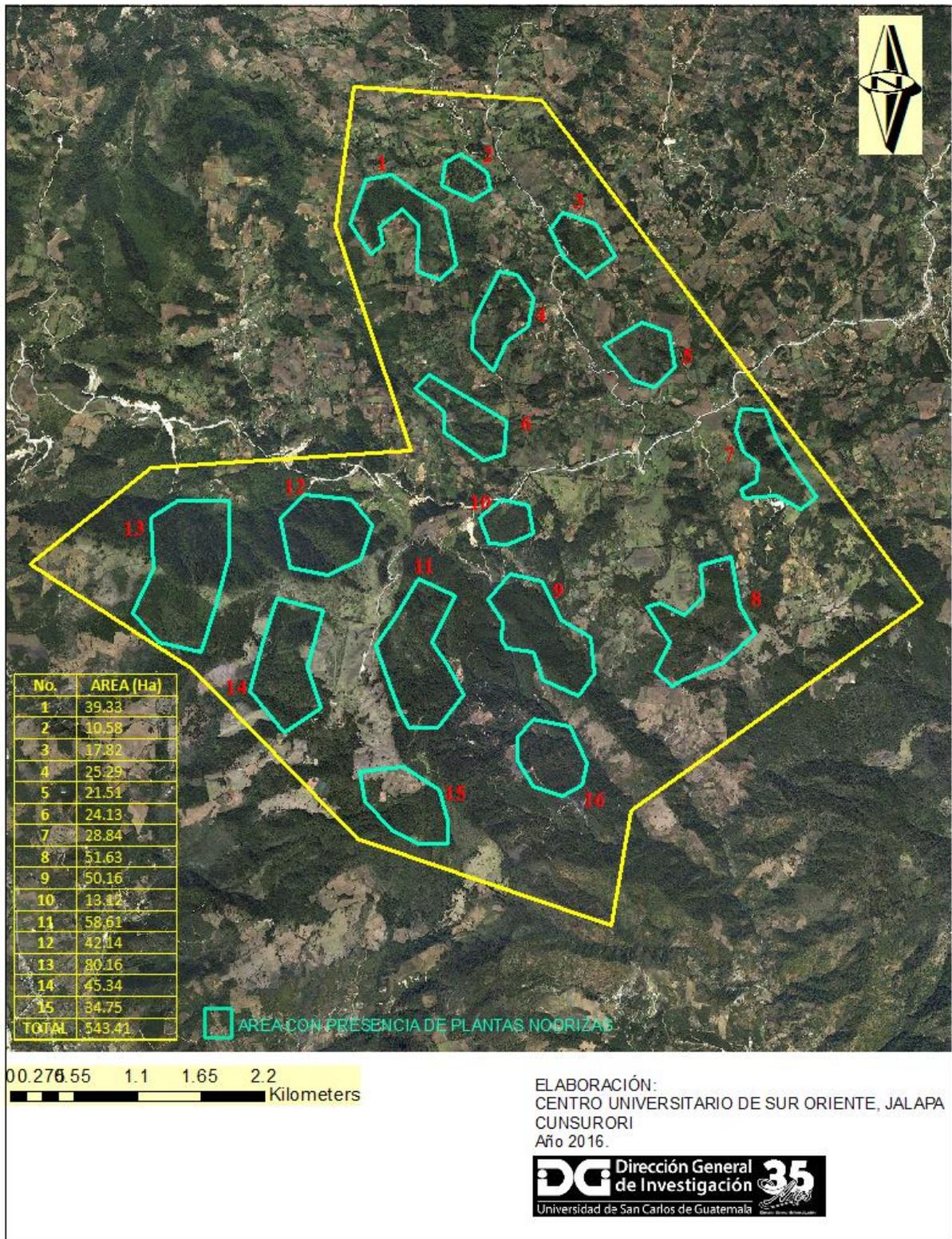


Figura 9 área con potencial a restauración basada en plantas nodrizas

Un aspecto muy importante a tomar en cuenta es que toda el área de la aldea Soledad Grande es la parte más alta del departamento de Jalapa, por consiguiente, es cabecera de cuenca de ríos, riachuelos, quebradas y diversos nacimientos (algunos se encuentran fuera de la aldea) que dependen de gran manera de la cobertura forestal, la cual sirve de gran ayuda para las zonas de recarga hídrica. Por consiguiente, basándonos en este aspecto, toda la zona es apta para restauración ecológica del pinabete.

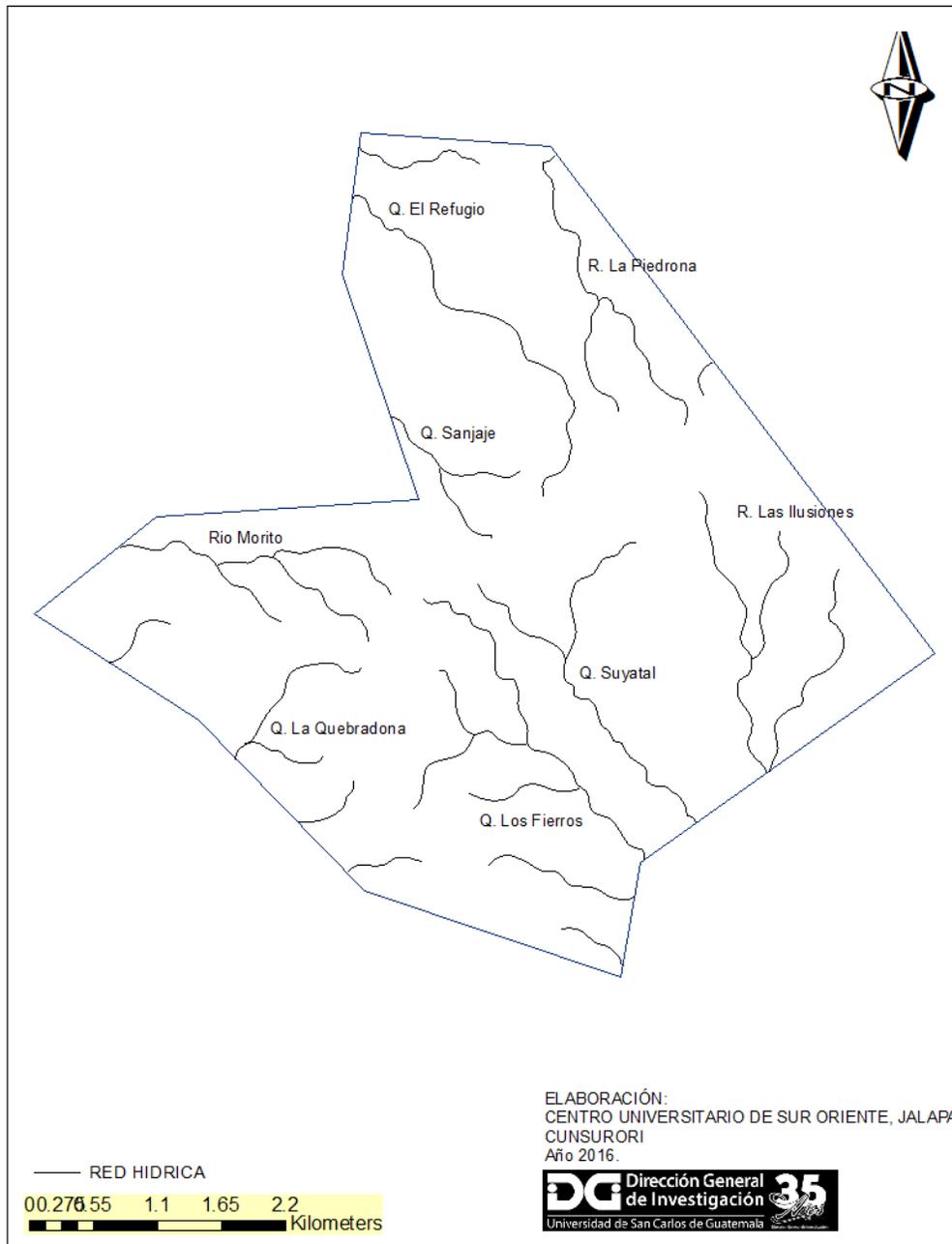


Figura 10 Figura 10: red hídrica de la aldea Soledad Grande, Jalapa

7.4 Resultados del cuarto objetivo específico

Se procedió a ejecutar un Análisis de Varianza con los resultados del Diseño Completamente al Azar (DCA) en un programa de bases estadísticas llamado Infostat, los resultados se presentan en la tabla 11.

Tabla 8

Resultados de análisis de varianza de la variable porcentaje de germinación con ácido giberélico, ácido sulfúrico, producto químico biozyme y el testigo.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-Valor
Modelo.	1483.5	3	494.5	11.81	0.0007
Tratamiento	1483.5	3	494.5	11.81	0.0007
Error	502.5	12	41.88		
Total	1986	15			

El análisis de varianza se estimó con un valor de F de 11.81 y la F tabulada a nivel de 5%. Por lo tanto, si existen diferencias significativas entre tratamientos. Con estos resultados se decidió hacer una prueba de comparación de medias de Tukey; de lo cual, para los tratamientos en los que se utilizó ácido Giberélico se encontró que el mejor tratamiento reportó en promedio una germinación de 41.75% utilizando 300 ppm, siguiéndole el tratamiento con el producto Biozyme en el que se observó un porcentaje de germinación del 29%. El tratamiento con ácido sulfúrico reportó un porcentaje de germinación de 16.5% y el testigo tuvo un 20.75% de germinación (tabla 9).

Tabla 9

Resultados de la comparación de medias por Tukey al 5% de significancia

Error: 41.8750 gl: 12

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
T1	41.75	4	3.24	A
T3	29	4	3.24	A B
T4	20.75	4	3.24	B
T2	16.5	4	3.24	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

7.5 Matriz de Resultados

Tabla 10

Matriz de resultados

Objetivo Específico	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
1	Base de datos con la vegetación arbustiva y arbórea que servirá para identificar plantas nodrizas.	Identificación y descripción de las especies encontradas.
2	Obtención del área total de pinabete, datos climáticos, edáficos, hidrológicos y micorrícicos.	Caracterización del área con pinabete.
3	Manual técnico que contenga la información para el plan de restauración ecológica en áreas de pinabete de Jalapa.	Colección de mapas indicadores de las áreas con mayor potencialidad para restauración del pinabete.
4	La obtención del mejor inductor germinativo (de los estudiados) en semilla de pinabete.	El mejor producto germinativo fue ácido Giberélico

7.6 Impacto esperado

Con la presente investigación, los beneficiados serán los propietarios de tierra con bosque de *Abies guatemalensis* Rehder; las personas que intervengan en la comercialización y elaboración de productos obtenidos con dicha especie; los habitantes de la aldea Soledad Grande; el medio ambiente con la captación de dióxido de carbono, aumento de recarga hídrica; entre otros.

Se aumentará el tamaño actual de los bosques bajo intervención, con lo cual se tendrá un mayor activo para la aldea Soledad Grande, Mataquescuintla y aldeas vecinas. A lo cual hay que agregar que parte del objetivo es aumentar la calidad de la funcionalidad del ecosistema, principalmente en cuanto a diversidad biológica, producción de agua y servicios ecoturísticos.

Se pretende proteger el ecosistema del *Abies guatemalensis* Rehder dando soluciones a los problemas de erosión, pérdida de una especie endémica, caracterización de plantas nodrizas y aumentar una zona de recarga de hídrica. Con este proyecto se está dando respuesta a necesidades sentidas por la comunidad y a evitar desastres naturales como inundaciones por el mal manejo de nuestros bosques en especial las partes altas de la cuenca. Es un proyecto de corto plazo pero con impacto en el mismo a una proyección de 10 años que beneficiarán a toda la población jalapaneca por un buen manejo de los recursos naturales.

Este proyecto no solo pretende la restauración ecológica sino también el aprovechamiento del árbol en época navideña lo cual genera ingresos a las comunidades vecinas. El planteamiento de este trabajo es que parte de lo que se esté sembrando para restauración ecológica sea utilizado para su aprovechamiento. Como referencia se tiene la información de una plantación indicada por Osorio *et al.* (2011) que muestra que para el establecimiento de una hectárea durante 10 años el costo es de 206,827 quetzales, en donde la inversión más alta es en el primer año. Pero luego a partir del 8vo año se

empieza a obtener beneficio de la venta de árboles y coronas, cuya rentabilidad es cercana al 40% y en los siguientes años va en forma ascendente.

8 Análisis y discusión de resultados

El número de plantas que se identificaron como potenciales nodrizas son 6; esto debido a que se hicieron comparaciones con las descritas por Martínez-Arévalo (2015) en el estudio realizado sobre conocimiento de seis especies arbustivas utilizadas como plantas nodrizas en el occidente de Guatemala. Encontrando similitudes entre las que él describe, con algunas encontradas en el área con cobertura de pinabete.

El área existente de pinabete es pequeña 278.27ha. En comparación con las más de 25,000ha que se encuentran en occidente (Martínez 20013), no por ello se debe menospreciar o dejar de atender la recuperación y ampliación del pinabete en Jalapa, ya que los servicios y beneficios que se obtendrían serían de suma importancia para el departamento. La reducción del pinabete se ha debido a diversos factores, el primero de ellos es que en occidente se cuenta con mayores áreas disponibles en relación las altitudes encontradas, que es el factor principal a tomar en cuenta para establecer el pinabete. El segundo factor es el avance de la frontera agrícola y silvopastoril que durante años se realizó sin conciencia alguna del daño que se le ocasionó al pinabete; este fenómeno está cambiando, ya que muchos de los dueños de fincas con grandes extensiones, pretenden recuperar gran parte del área que estuvo cubierta con pinabete. De igual forma el estado ha creado incentivos que poco a poco han motivado a los propietarios a extender las áreas con pinabete; lo cual tuvo mayor eco con la presencia del equipo de investigación que hizo conciencia de los beneficios que se obtienen a nivel económico y ambiental. Otro factor a tomar en cuenta dentro de los bosques de pinabete que ha mermado la prosperidad de la especie, es el poco ingreso de luz al área, lo cual limita el proceso de fotosíntesis en plantas de menor tamaño y hace que no pueda subsistir dichas plantas.

En relación al alto contenido de micorrizas encontrado en los sistemas radiculares del pinabete, tiene relación directa con un bajo contenido de fósforo encontrado en los

estudios de suelos realizados; ya que la baja disponibilidad de dicho elemento obliga depender de las micorrizas para poder aprovecharlo. Esto según Álvarez-Sánchez et al (2013) son factores que coinciden en la mayoría de los casos.

El contenido de Materia Orgánica (MO) encontrado en las 3 muestras es elevado (tablas 1 y 3), siendo mayor al rango promedio sugerido por Uviger; según Pinochet (1991) esto se debe a que son suelos forestales con alta presencia de coníferas, característico de ellos. Algo muy favorable para que se conserven y protejan dichos bosques; éste proceso de descomposición es importante que no se detenga, ya que aumenta las condiciones favorables para un mejor proceso de restauración del pinabete. Su alto contenido de materia orgánica se debe en gran parte a la lenta incorporación y descomposición de residuos orgánicos que en su mayoría pertenecen a la vegetación existente; el cual es uno atributo característico de los bosques mixtos con presencia de abetos (Bello & López-Mata 2001).

Según tablas presentadas por Bernier (2014) en su revista sobre recuperación de suelos degradados y comparando con los resultados en esta investigación se tiene el fósforo (P) como “Muy bajo”, para el calcio (Ca) un rango “adecuado”, el Magnesio (Mg) se presenta en rango “alto”, así también se determinó un rango “alto” para el Potasio (K) y “muy bajo” para el sodio (Na); el pH del suelo en el bosque donde crece pinabete en la aldea que es campo de estudio se domina el rango “fuertemente ácido”. Siendo este un proceso de acidificación en el suelo que se ha dado a través de los años, que a su vez incide en la mayoría de los casos de manera directa en un porcentaje bajo en la Saturación de las Bases (SB), esto según Morón & La Estanzuela, S. S. I. (2000) en tablas donde compara de manera directa el pH versus la Saturación de las Bases y, confirmado por Arévalo (2016) en su caracterización de suelo en bosques de *A. guatemalensis*.

Por eso, condiciones como las encontradas para el fósforo, son las que obligaron a realizar aplicaciones de enraizadores al momento en que se estableció un experimento con plántulas de pinabete en el occidente de Guatemala (Martínez-Arévalo 2015).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) obtenida en los 3 análisis se encuentra por encima del rango medio sugerido por Uviger (tablas 1 y 3), esto establece que posee una alta capacidad de retener cationes tales como Calcio, Magnesio Potasio y Sodio, presentes en el suelo. debido a que hay un alto contenido de sustancias húmicas dentro de la materia orgánica existente en el suelo (Herrán, Torres & Rojo 2008; Otero, Ortega & Morales 1998). Lo cual aseveran León, González, & Gallardo (2011) que son factores muy favorables para el crecimiento y desarrollo de plántulas de coníferas. Patrones mostrados en los presentes resultados de análisis químico de suelo tales como un contenido alto de materia orgánica, una baja saturación de las bases y un nivel de pH bajo son característicos de un proceso de sucesión vegetal que se presenta a lo largo de más de un siglo (Martínez Arévalo 2013).

En relación al análisis físico del suelo hecho por parte de Uviger, se determinó que las 3 muestras tomadas dieron como resultado ser un suelo Franco Arenoso, lo cual coincide de manera directa con el mismo tipo de clase textural obtenida por Arévalo (2016); según Lorenz (1995) este tipo de textura ayuda para que se dé un mejor desarrollo de las plantas, ya que permite al pinabete tener mayor anclaje y penetrabilidad radicular, buena aireación y una alta capacidad para retención de agua. La roca madre, que es una limitante del desarrollo radicular al momento de encontrarse a distancias no muy profundas, se encontró a distancias mayores de 1.5m de la superficie del mismo; de lo cual nos indica que los suelos en términos de profundidad son excelentes para el desarrollo del pinabete.

Los datos climáticos que se recopilaron fueron un poco escuetos, debido a lo difícil que fue la obtención de la estación meteorológica para su monitoreo; pero los 2 meses que se lograron recopilar indican que son climas ideales para el crecimiento y desarrollo de la especie en las partes altas de la aldea Soledad Grande. La hidrografía de área en estudio se determinó que es fundamental la cobertura forestal y los bosques de pinabete y su sotobosque juegan un papel preponderante en la recarga hídrica de la cuenca.

En base a la generación de los mapas temáticos orientados a las áreas potenciales para restaurar, podemos indicar que según las altitudes encontradas en las hojas cartográficas de la aldea Soledad Grande (figura 8), el área total a restaurar es de 2516.54ha, descartando un área de 195.5ha, debido a que son áreas en donde las altitudes no son apropiadas para el desarrollo y crecimiento del pinabete. En lo que respecta al mapa de plantas nodrizas (figura 9), se detectaron 543.41 hectáreas con presencia de las mismas, por lo tanto, esa área es la adecuada para su restauración; ya que en ella se facilita el proceso de sucesión del pinabete. El mapa de red hídrica nos indica que es una zona de recarga hídrica; lo cual indica que se necesita de especies arbóreas como el pinabete para que contribuyan a dicha actividad. Dando soporte a la iniciativa de continuar con la reproducción del pinabete. Siendo más concretos y objetivos, podemos indicar que al momento de sobreponer los mapas de altitudes, de plantas nodrizas y de áreas con presencia de pinabete, el área con mayor potencial para la restauración de pinabete en la aldea Soledad Grande, Mataquescuintla, Jalapa se estima que es de 543.41 hectáreas, esto debido a que son áreas donde convergen la mayoría de las condiciones necesarias para que se desarrolle dicha especie. Tomando en cuenta factores indispensables tales como altitud, profundidad de los suelos, existencia de plantas nodrizas, microclima ideal, zonas de recarga hídrica.

9 Conclusiones

Las potenciales plantas nodrizas que se identificaron, se deben analizar para su posterior inclusión en el nodrizaje. Siendo objeto de estudio los beneficios que se suponen están brindando al pinabete. De tal manera que si no contribuyen al proceso de sucesión deberán ser excluidas. Siendo este estudio un proceso a considerar, el cual conlleva un tiempo prudente y es de gran importancia para el crecimiento y desarrollo del pinabete, ya que sin la presencia de plantas nodrizas, se tiene comprobado (Martínez-Arévalo, 2015) que es muy baja la subsistencia del pinabete.

El área encontrada con presencia de pinabete es de 278.27ha, de lo cual es muy importante que se realicen labores de restauración para la recuperación de tan importante

especie. Identificándose la presencia superior al 80% de hongos micorrícicos, suelos profundos con alto contenido de materia orgánica y con la mayoría de nutrientes a cantidades ideales; y datos climáticos de los meses de noviembre y diciembre del año 2016.

Las áreas sujetas a restauración se encuentran en un estimado de 543.41 hectáreas, quedando esta cantidad sujeta a aumentar tomando en cuenta la cobertura del área vista en ortofotos.

La germinación del pinabete ha sido un tema de mucha importancia dentro de las personas que se dedican a su estudio, ya que el porcentaje de éxito es muy bajo, por ende es una limitante que se debe combatir con el estudio de diversas técnicas y el uso de precursores germinativos que mejoren la viabilidad y porcentaje de germinación en la semilla del pinabete.

10 Referencias

- Álvarez-Sánchez, M. E., Hernández-Acosta, E., Maldonado-Torres, R., & Rivera-González, M. (2013). Encalado y micorriza para corregir deficiencia de fósforo en un Andisol cultivado con *Pinus halepensis*. *Madera y bosques*, 19(1), 7-16.
- Apfelbaum, S. & Haney, A. (2010). *Restoring ecological health to your land*. USA. Island Press. 240 p.
- Arévalo, J. V. M. (2016). Los bosques de *Abies guatemalensis* Rehder de San Marcos, Guatemala: una oportunidad para su restauración ecológica. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(1), 27-46.
- Bello, C. H. Á., & López-Mata, L. (2001). Distribución y análisis estructural de *Abies hickelii* (flous & gaussen) en México. *Interciencia*, 26(6), 244-251.
- Bernier, R. (2014). Capacitación para operadores de programa de recuperación de suelos degradados. Técnicas de muestreo de suelo para análisis de fertilidad, INDAP. Chile. 116p.
- Cairns Jr, J., & Heckman, J. R. (1996). Restoration ecology: the state of an emerging field. *Annual Review of Energy and the Environment*, 21(1), 167-189.

- Choi, Y. *et al.* (2008). Ecological restoration for future sustainability in a changing environment. *Ecoscience*, 15(1), 53-64.
- Clewell, A.F. y Aronson, J. (2007). *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Washington, USA, Island Press. pp 75-85.
- Cardona, N. (2005). *Consideraciones socioeconómicas en el diseño proyectos sustentables de restauración ecológica*. En Sánchez, O., *et al.* (Eds.). Temas sobre restauración ecológica. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología. pp. 45-56.
- Davis, M. A., & Slobodkin, L. B. (2004). The science and values of restoration ecology. *Restoration Ecology*, 12(1), 1-3.
- Herrán, J. A. F., Torres, R. R. S., & Rojo, G. E. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4(1), 57-67.
- León, J. D., González, M. I., & Gallardo, J. F. (2011). Ciclos biogeoquímicos en bosques naturales y plantaciones de coníferas en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(4), 1883-1894.
- Lorenz, G. (1995). Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo bosque en el Chaco Semiárido, Argentina. *Quebracho*, 3, 13-23.
- Martínez Arévalo, J. V. (2013). Sucesión ecológica secundaria alrededor de parches de bosque con pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) en San Marcos, Guatemala.
- Martínez-Arévalo, J. V. (2015). Conocimiento de seis especies arbustivas utilizadas como plantas nodrizas en el occidente de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 2(2), 15-27.
- Morón, A., & La Estanzuela, S. S. I. (2000). Alfalfa: Fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay. *Informaciones Agronómicas del cono sur*, 8, 1-6.
- Otero, L., Ortega, F., & Morales, M. (1998). Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de vertisoles de la provincia Granma. *Terra*, 16(3), 16.
- Palmer, M. A., Ambrose, R. F., & Poff, N. L. (1997). Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration ecology*, 5(4), 291-300.
- Pinochet, F. (1991). Los suelos forestales de la Región del Maule. *Universum*, 6. Recuperado de http://universum.utralca.cl/contenido/index-91/Fernando_Pinochet.html

Rossiter, D. G., & ROJAS, R. V. (2002). Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. *Traducido al español por Ronald Vargas*.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (1996). Metodología de la investigación. *Edición McGraw-Hill*.

SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration.

Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y Conservación. *Acta biol. Colomb.* 16(2): 221-246.

Winterhalder, K., Clewell, A. F., & Aronson, J. (2004). Values and science in ecological restoration—a response to Davis and Slobodkin. *Restoration Ecology*, 12(1), 4-7.

11 Apéndice



Figura 11 Instalación de estación meteorológica.



Figura 12 recopilación de potenciales plantas nodrizas para su identificación.



Figura 13 recopilación de potenciales plantas nodrizas para su identificación en diferentes localidades.



Figura 14 visita a campo por parte de directivos de DIGI



Figura 15 plantaciones de pinabete en la aldea Soledad Grande, Jalapa.



Figura 16 árbol de pinabete con más de 100 años de edad.



Figura 17 visita a plantaciones de pinabete en el departamento de San Marcos, Guatemala.



Figura 18 y Figura 19 Siembra de pilones de pinabete.

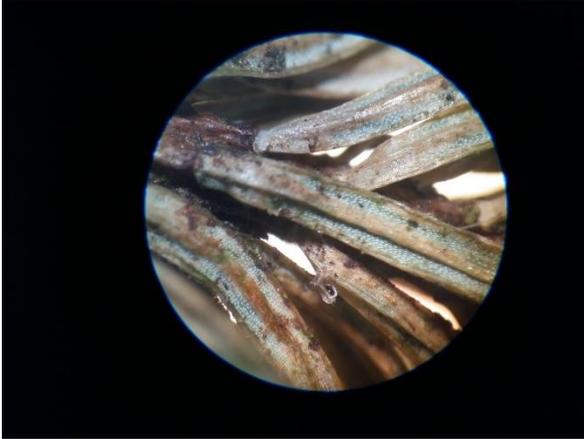


Figura 20 y Figura 21 análisis patológico de laboratorio en muestras enfermas de pinabete.



Figura 22 y Figura 23 Realización de aforo utilizando el método volumétrico.



Figura 24 y Figura 25 Procedimiento de aforo utilizando el método sección-velocidad.



Figura 26 elaboración de calicatas.



Figura 27 y Figura 28 estudios de infiltración básica.



Figura 29 paisaje de la aldea Soledad Grande.

RESPONSABLE: USAC/CUNSORORI
 RESPONSABLE: LIGIA CASTILLO
 PROCEDENCIA: FCA EL CARMEN, SOLEDAD GRANDE, JALAPA
 FECHA DE INGRESO: 7/6/2016

ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION	pH	ppm							Mecq/100 gr					%	
		P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB.	M.O.		
RANGO MEDIO	6-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	-----	0.27-0.38	75-90	4-5		
M-1 CAMPO ABIERTO	5.5	1.22	0.50	4.00	5.50	4.50	48.55	5.24	0.99	0.10	1.15	15.42	12.96		
M-2 SOTO BOSQUE	5.1	0.98	0.10	4.50	5.00	21.50	48.55	11.98	2.75	0.15	2.15	35.09	12.52		

ANALISIS FISICO DE SUELOS

IDENTIFICACION	%			CLASE TEXTURAL
	Arcilla	Limo	Arena	
M-1 CAMPO ABIERTO	10.46	35.32	54.22	FRANCO ARENOSO
M-2 SOTO BOSQUE	14.66	24.82	60.52	FRANCO ARENOSO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 DE SUELO AGUA Y PLANTA
 A. J. CASTILLO GONZALEZ

Figura 30 resultados de análisis químico y físico en laboratorio de suelos con presencia de pinabete.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO



INFORME DE RESULTADOS

CORRELATIVO 292-2016	FECHA DE INGRESO 18/11/2016	FECHA DE EMISION 18/11/2016	ANALISIS REALIZADO Fitopatológico
MUESTRA Pinabete	PROCEDENCIA Soledad Grande, Jalapa	EMPRESA USAC- cunsurori	SOLICITANTE Ligia Castillo

Muestra analizada	Raíz/Fitopatológico
Agente Detectado	Presencia de Micorrizas %M= 84%

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

TECNICOS DE LABORATORIO

- Br. Natalia Rosamaria Quixtan
- Br. Karla Chinchilla Padilla
- Br. Evelyn Morales
- Br. María Leticia Pablo

RESPONSABLE DE LABORATORIO




Ing. Agr. Gustavo Adolfo Álvarez

Figura 31 resultados de laboratorio de hongos micorrícicos.

12 Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Para vincular y divulgar los resultados de esta investigación se procedió a realizar un taller comunitario en la Aldea Soledad Grande para dar a conocer la importancia ecológica y económica que tiene el pinabete para su protección y aprovechamiento.

Por su parte, se está realizando una serie de conferencias con los estudiantes del Centro Universitario de Sur Oriente, con funcionarios del INAB, MAGA y Municipalidad de Jalapa para divulgar la importancia que tiene el pinabete en la región.

Listado de todos los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores	
Gesly_Aníbal_Bonilla_Landaverry	Coordinador del proyecto

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Firma	Pago	
				SI	NO
Oscar Alfredo Sánchez Barrientos	Investigador	20160060		X	
Ligia Marisol Castillo López	Auxiliar II	20160621		X	

Dr. Gesly Aníbal Bonilla Landaverry

Nombre y firma Coordinador(a) proyecto de investigación

Ing. Agr. Saúl Guerra

Nombre y firma Coordinador Programa Universitario de Investigación.

Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar

Nombre y firma Vo. Bo. Coordinador General de Programas.