

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS**



**MODELO CARTOGRÁFICO DIGITAL PARA EL REGISTRO, UBICACIÓN Y CONSULTA DE ÁREAS APROPIADAS PARA EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PINABETE (*Abies guatemalensis* Rehder), EN EL DEPARTAMENTO DE TONICAPÁN, GUATEMALA.**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**FRANCIS ERNESTO MOSCOSO CELADA**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN RECURSOS NATURALE RENOVABLES**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

**GUATEMALA, ABRIL DE 2,002.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR**  
**Ing Agr. EFRAÍN MEDINA GUERRA**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Agr. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA</b>
<b>VOCAL I</b>	<b>Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO</b>
<b>VOCAL II</b>	<b>Ing. Agr. MANUEL DE JESÚS MARTÍNEZ OVALLE</b>
<b>VOCAL IV</b>	<b>Profesor: ABELARDO CAAL ICH</b>
<b>VOCAL V</b>	<b>Bachiller AXEL AURELIANO HERRERA PÉREZ</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Agr. EDIL RENÉ RODRÍGUEZ QUEZADA</b>

Guatemala, Abril de 2,002

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

Señores representantes:

De conformidad con las normas establecidas en la LEY ORGÁNICA de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

**MODELO CARTOGRÁFICO DIGITAL PARA EL REGISTRO, UBICACIÓN Y CONSULTA DE ÁREAS APROPIADAS PARA EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PINABETE (*Abies guatemalensis* Rehder), EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN, GUATEMALA.**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando merezca su aprobación, me suscribo de ustedes,

ATENTAMENTE,

  
Francis Ernesto Moscoso Celada

## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

### **DIOS**

**Mi Padre Celestial, fuente de toda sabiduría y cuya bendición, luz y fuerza me han guiado para alcanzar ésta meta.**

### **MIS PADRES**

**Roberto y María Jeanette, por haberme dado la vida, todo su amor y apoyo a lo largo de mi existencia fortaleciéndome con su fe en todos los momentos difíciles. He aquí una pequeña recompensa a todos sus sacrificios.**

### **MI ESPOSA**

**Claudia Paola, quien siempre ha sabido ser mi amiga y compañera, por brindarse entera para poder alcanzar ésta meta.**

### **MIS HIJOS**

**Alarick Ernesto y Jennifer Andrea Fernanda, porque con su existencia se han convertido en la fuerza que me motiva a superarme cada día.**

### **MIS HERMANOS**

**Claudia Jeanette, Roberto Fabricio y Eliseo Ricardo, por el amor fraterno que nos mantiene siempre unidos y como un ejemplo, porque nunca es demasiado pronto ni demasiado tarde cuando se trata de aprender.**

### **MIS AMIGOS**

**Luis Rodolfo Montes, José Alfredo Suárez, Pablo Sigüenza, José Antonio López, José Arturo Santos, Camilo Medina, Juan Pablo Marín, Rafael Anleu, Jorge Mario Monzón, Rodrigo Arriaga y Oscar Avalos, por su amistad y camaradería,**

## TESIS QUE DEDIDO

A:

Mi patria Guatemala, país bendecido por Dios con sus recursos naturales, los que como profesionales de la agronomía debemos utilizar en forma racional para entregarles una nación más grande a las futuras generaciones.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, por forjarme con espíritu de superación en la filosofía de la honestidad, la lealtad, servicio y trabajo.

La Facultad de Agronomía, por que me ha permitido culminar una carrera profesional y haberme formado como persona dedicada a cuidar, respetar y amar la sabiduría del Dios hecha naturaleza.

Todas aquellas personas a quienes por cualquier motivo se les veda del derecho a una educación y a aquellos privados de la libre expresión del pensamiento.

## AGRADECIMIENTOS

A:

### Mis asesores

Ing. Agr. Guillermo Santos e ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes, por todas sus contribuciones técnicas y científicas al presente trabajo de investigación.

### Mi Amigo

Ing. Armando Orellana Flores, por todo el apoyo logístico recibido para llevar a cabo la presente investigación.

### Mis Tios

Gustavo Adolfo Celada y Juan Ernesto Celada, quienes con su amplia experiencia en las ciencias agronómicas supieron orientarme para realizar un mejor trabajo.

### Mi Catedrático

Ing. Agr. Hugo Antonio Tobías, por su colaboración en la determinación de las variables a utilizar en el proyecto y cuyo apoyo fue fundamental en la interpretación de resultados.

### La familia Cashaj López

Por su apoyo, comprensión y cariño a lo largo de toda mi carrera universitaria

## INDICE GENERAL

- ÍNDICE DE CUADROS..... iii
- ÍNDICE DE FIGURAS.....iv
- RESUMEN.....vi
- I. INTRODUCCIÓN..... 1
- II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... 2
- III. MARCO TEÓRICO
  - 3.1 Marco Conceptual
    - 3.1.1 Sistemas de Información Geográfica – SIG..... 3
    - 3.1.2 Componentes de un SIG..... 3
    - 3.1.3 Formatos de datos geográficos en un SIG..... 4
    - 3.1.4 Diferentes Sistemas de Información Geográfica..... 5
    - 3.1.5 Herramientas de un SIG..... 5
    - 3.1.6 Aplicaciones de los SIG..... 7
    - 3.1.7 Productos comerciales..... 7
    - 3.1.8 Terminología utilizada en el desarrollo de bases de datos tabulares..... 8
    - 3.1.9 Descripción de *Abies guatemalensis* Rehder (pinabete)..... 9
      - A. Familia..... 9
      - B. Sinónimos..... 9
      - C. Nombre común..... 9
      - D. Características..... 9
      - E. Generalidades..... 10
      - F. Distribución de los abetos..... 11
      - G. El pinabete en Guatemala..... 11
      - H. Asociaciones vegetales de la especie..... 14
  - 3.2 Marco Referencial
    - 3.2.1 Descripción general del departamento de Totonicapán..... 12
      - A. Ubicación geográfica..... 13
      - B. División política y superficies..... 14
      - C. Fisiografía..... 14
      - D. Hidrografía..... 15
      - E. Clima..... 15
      - F. Socioeconomía..... 16
- IV. OBJETIVOS
  - 4.1 Objetivo general.....21
  - 4.2 Objetivos específicos..... 21
- V. METODOLOGÍA
  - 5.1 Recopilación de información..... 22
  - 5.2 Digitalización de la información..... 22
  - 5.3 Edición de mapas..... 23
  - 5.4 Impresión de mapas.....23
  - 5.5 Desarrollo de la base de datos alfanumérica..... 24
  - 5.6 Desarrollo del modelo.....24

<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
6.1 Base de datos de condiciones climáticas por estación.....	28
6.2 Base de datos de los sitios de muestreo de pinabete.....	28
6.3 Condiciones climáticas apropiadas para pinabete.....	30
6.3.1 Precipitación pluvial.....	30
6.3.2 Temperatura.....	31
6.3.3 Humedad Relativa.....	31
6.4 Condiciones geofísicas apropiadas para pinabete.....	36
6.4.1 Hipsometría.....	36
6.4.2 Zona de vida.....	36
6.4.3 Capacidad de Uso de la Tierra.....	36
6.5 Áreas totales apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete.....	42
6.6 Modelo cartográfico digital.....	49
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>X. APÉNDICE.....</b>	<b>57</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Ventajas y desventajas de los formatos raster y vector.....	5
2 Municipios de Totonicapán y las superficies territoriales que ocupan en áreas y porcentaje.....	14
3 Alturas en msnm., a que se encuentran las cabeceras municipales del departamento de Totonicapán.....	15
4 Clasificación de la tierra por tipo de finca en el departamento de Totonicapán.....	17
5 Formas de tenencia de la tierra en Totonicapán, en número de fincas y superficies (en hectáreas).....	17
6 Mapas de información general ingresados al modelo.....	23
7 Mapas de información climática y geofísica ingresados al modelo.....	23
8 Mapas necesarios dentro del proyecto y su contenido temático.....	25
9 Bases de datos ingresadas al proyecto y su contenido temático.....	25
10 Contenido de la base de datos "DBESTACION".....	25
11 Variables y su rango o valor específico para el desarrollo del modelo.....	26
12 Base de datos de las estaciones climatológicas.....	28
13 Base de datos de los sitios de muestreo.....	29

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Ubicación geográfica del departamento de Totonicapán, en la república de Guatemala.....	13
2 Proceso para la obtención de áreas apropiadas.....	27
3 Mapa del área donde la precipitación pluvial media anual es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	32
4 Mapa del área donde la temperatura media anual es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala .....	33
5 Mapa del área donde la humedad relativa media anual es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	34
6 Mapa del área donde las condiciones climáticas analizadas son apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	35
7 Mapa del área donde la hipsometría es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	38
8 Mapa del área donde la Zona de Vida es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	39
9 Mapa de las áreas donde la Capacidad de Uso de la Tierra es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	40
10 Mapa de las áreas donde las condiciones geofísicas analizadas son apropiadas para el crecimiento y desarrollo de ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	41
11 Mapa de las áreas totales con condiciones climáticas y geofísicas apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	44
12 Mapa de Áreas Apropiadas Utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala..	45
13 Mapa de cuencas y áreas utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	46
14 Mapa de grandes paisajes fisiográficos y áreas utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete ( <i>Abies guatemalensis</i> Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....	47

15 Mapa de áreas protegidas y áreas utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala..... 48

16 Diagrama de Flujo del Modelo Cartográfico Digital, para el registro, ubicación y consulta de áreas apropiadas para el crecimiento y desarrollo de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala..... 50

17 Mapa de las cabeceras municipales y vías de acceso, del departamento de Totonicapán, Guatemala.....58

18 Mapa de municipios, estaciones meteorológicas y sitios de muestreo de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), del departamento de Totonicapán, Guatemala..... 59

19 Mapa de Precipitación Pluvial media anual, en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....60

20 Mapa de Temperatura media anual, en el departamento de Totonicapán, Guatemala ..... 61

21 Mapa de Humedad Relativa media anual, en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....62

22 Mapa hipsométrico del departamento de Totonicapán, Guatemala..... 63

23 Mapa de Zona de Vida en el departamento de Totonicapán, Guatemala..... 64

24 Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra en el departamento de Totonicapán, Guatemala.... 65

25 Mapa de la Clasificación taxonómica de suelos a nivel de Suborden, en el departamento de Totonicapán, Guatemala..... 66

26 Mapa de Cobertura Forestal para el año de 1,999 en el departamento de Totonicapán, Guatemala.....67

MODELO CARTOGRÁFICO DIGITAL PARA EL REGISTRO, UBICACIÓN Y CONSULTA DE ÁREAS APROPIADAS PARA EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PINABETE (*Abies guatemalensis* Rehder), EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN, GUATEMALA

DIGITAL CARTOGRAPHICAL MODEL FOR THE RECORD, LOCATION AND ACCESS OF APPROPRIATED AREAS FOR GROWING PINABETE (*ABIES GUATEMALENSIS* REHDER), IN THE PROVINCE OF TOTONICAPÁN, GUATEMALA

**RESUMEN**

En los bosques comunales del departamento de Totonicapán, actualmente se encuentran pequeños rodales o árboles aislados de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), especie a la que, como un efecto del avance de la frontera agrícola, se amenaza su hábitat natural, incrementando la erosión genética y el alto riesgo de extinción en el que se encuentra. Aunado a ello, hasta ahora no ha sido generada la información necesaria para determinar las áreas del departamento que poseen las condiciones climáticas y geofísicas apropiadas para el crecimiento y desarrollo de la especie, la cual pueda usarse como punto de partida para definir planes, programas o proyectos de reforestación que ofrezcan mayor cobertura y mejor impacto.

Es por ello, que se ha desarrollado un modelo cartográfico digital, para el registro, ubicación y consulta de las áreas apropiadas para el establecimiento de pinabete en este departamento, utilizando las herramientas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica, para crear las bases de datos cartográfica y alfanumérica con las condiciones climáticas de precipitación, temperatura y humedad relativa medias anuales de la zona, así como de las condiciones geofísicas de hipsometría, zona de vida y capacidad de uso de la tierra.

Para generar el modelo y tomando en cuenta los requerimientos de la especie, las imágenes de las condiciones climáticas fueron reclasificadas para dejar los valores apropiados para la precipitación pluvial en el rango de 1,000 y 2,600 milímetros; temperatura entre 15.5 y 17.5 grados centígrados y humedad relativa igual o mayor al 80%. Para las condiciones geofísicas, las imágenes también fueron reclasificadas dejando los valores apropiados para la hipsometría entre 2,400 y 3,400 metros sobre el nivel del mar, la zona de vida del "Bosque muy húmedo montano bajo" y la capacidad de uso de la tierra redefinida como forestal permanente, manejo forestal y zonas de recuperación.

Siguiendo el orden secuencial de la metodología utilizada, se puede resumir de la siguiente manera:

- a) Recopilación de información cartográfica y alfanumérica actualizada tanto del departamento de Totonicapán, como del pinabete (*A. guatemalensis*)
- b) Actualización de la base de datos biofísicos del departamento, por medio de la digitalización de mapas en formato vector para su posterior análisis.
- c) Desarrollo de la base de datos no espacial (alfanumérica), para la especie en estudio, con información acerca de su localización, la zona de vida, altitud y clima apropiado.
- d) Concatenación de las bases de datos cartográfica y alfanumérica para su análisis y consulta.
- e) Localización y digitalización de los sitios de muestreo de pinabete en Totonicapán.
- f) Desarrollo del modelo cartográfico.

Con el traslape final de las condiciones climáticas y geofísicas apropiadas, hecho a través del álgebra de mapas del programa "ArcView 3.1", fue posible determinar las áreas en donde pueden establecerse plantaciones de pinabete, de las cuales 3,907.35 hectáreas se localizan en tierras sin cobertura forestal, 3,467.77 hectáreas en zonas con asociación de cultivos y bosque de coníferas y 6,483.76 hectáreas en lugares con asociación de cultivos y bosque mixto.

La información generada con el modelo, permitió determinar que una buena parte de las áreas apropiadas utilizables se encuentran en terrenos que actualmente son utilizados para agricultura intensiva y que se localizan en la parte alta de las cuencas hidrográficas las que se consideran importantes en la recarga hídrica. Este escenario puede tomarse como punto de partida para generar una propuesta de ordenamiento territorial en el departamento así como, para definir estrategias de conservación "in situ" del pinabete, ya que incluso dentro de las Áreas Protegidas definidas por la CONAP, se encuentran áreas apropiadas para esta especie sin cobertura forestal lo que indica el alto riesgo de extinción en que se encuentra.

Al finalizar el modelo, se pudo verificar la gran utilidad que éstos proporcionan en la toma de decisiones para el uso sostenible de los recursos naturales renovables, ya que pueden reclasificarse los datos de las variables propuestas o agregar nuevas para diferentes especies vegetales, toda vez las bases de datos cartográfica y alfanumérica, sean actualizadas periódicamente, para garantizar con ello, la validez de la información en el momento de su utilización.

## I. INTRODUCCION

Totonicapán, es el departamento de Guatemala que posee el bosque comunitario de coníferas más extenso del país; sin embargo, no cuenta o no ha sido generada la información relativa a la identificación de todas aquellas áreas que reúnen las condiciones apropiadas para el crecimiento y desarrollo de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder). Aunado a esto, debe considerarse el hecho de que ésta especie se encuentra en alto riesgo de extinción haciendo prioritario determinar y cuantificar las áreas con condiciones climáticas y geofísicas apropiadas para el establecimiento de plantaciones que permitan su recuperación.

Con este objetivo, se ha desarrollado un modelo cartográfico digital que permite el registro, la ubicación y consulta de las áreas apropiadas para el crecimiento y desarrollo de esta especie en dicho departamento, utilizando el apoyo que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica – SIG, los que, como tecnología moderna, facilitan el procesamiento de la información cartográfica y tabular necesaria para la creación de este tipo de modelos. Con el uso de los SIG, se disminuyen tiempo y costos en el análisis de la información, por lo que se les considera como una valiosa herramienta en la planificación del uso de los recursos naturales renovables.

Junto al modelo cartográfico digital se desarrolló también una base de datos alfanuméricos, información que facilita una descripción más detallada de las áreas que reúnen las condiciones climáticas y geofísicas apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete en el departamento de Totonicapán, así como su cuantificación, ofreciendo un soporte para el establecimiento de plantaciones de pinabete que permitan la recuperación de la cobertura forestal en la zona y al mismo tiempo, una disminución de la erosión genética de esta especie.

Con la aplicación de éste modelo, es posible mejorar las experiencias de reforestación en el departamento, las cuales en el pasado, han dado resultados poco satisfactorios ya que fue posible verificar la existencia de sitios carentes de cobertura forestal o donde el bosque se encuentra asociado a algunos cultivos dentro de las Áreas Protegidas establecidas por la CONAP

Al realizar pequeños ajustes en los datos ingresados al modelo, o con la incorporación de nuevas variables al mismo, se podrá generar la información necesaria para diferentes especies forestales, apoyando con ello una estrategia nacional de reforestación. Sin embargo, para que los datos obtenidos sea válidos para cualquier época, se tendrá que proporcionar un mantenimiento adecuado a las bases de datos tanto cartográfica como alfanumérica y actualizar periódicamente la tecnología que se utilice.

## II. DEFINICION DEL PROBLEMA

El departamento de Totonicapán, no cuenta con información actualizada sobre aquellas áreas que reúnen las condiciones climáticas y geofísicas apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), reduciendo con ello, el impacto que pueden alcanzar los diferentes planes, programas o proyectos de reforestación, que se pretendan implementar en dicho departamento. Esto produce que siga latente el alto riesgo de extinción de ésta especie endémica para Guatemala, la cual no solo se ve afectada por sus bajos índices de germinación e incremento medio anual, sino también, por la problemática coyuntural establecida por la agricultura migratoria, la ganadería extensiva, las talas ilícitas, el consumo de leña, el desramado durante la época navideña, los incendios forestales, las plagas y las enfermedades, lo cual reduce cada vez más, todas aquellas áreas con bosque natural, no solo de este departamento, sino también del el resto del país.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1 Sistemas de Información Geográfica - SIG

Según Burrough, puede conceptualizarse un Sistema de Información Geográfica, como la tecnología moderna por medio de la cual los usuarios hacen consultas y encuentran respuestas de una fuente de datos espacial y tabular (5).

Un sistema de SIG o "GIS" (por sus siglas en inglés), es un sistema computarizado de adquisición, almacenamiento, análisis y despliegue de datos geográficos. En estos sistemas especiales de información, la base de datos consiste en observaciones de características espacialmente distribuidas así como actividades y/o eventos, los cuales pueden ser definidos por puntos, líneas o polígonos (áreas). Estos datos geográficos, puede ser recolectados, archivados, recuperados, analizados y desplegados por medio de la interacción hardware y software (6).

De una forma realista, los datos de un SIG, ya sea que éstos se encuentren codificados en una pieza de papel o en un formato digital, deben ser concebidos como representaciones de modelos del mundo real, ya que estos datos pueden ser accesados, transformados y manipulados interactivamente dentro del SIG, los mismos pueden servir como un campo de pruebas para el estudio de procesos ambientales, para el análisis de tendencias o para anticiparse a los posibles resultados de una determinada decisión. Es posible que los planificadores puedan tomar decisiones en un rango de posibles escenarios y obtener una idea de las consecuencias de una determinada acción antes de que los errores hayan sido irreversiblemente cometidos en el terreno mismo (7, 10).

La diferencia que posee un SIG de un MAC o DAC (mapeo auxiliado por computadoras), es que éstos últimos son herramientas utilizadas para los campos de arquitectura, ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica y cartografía, y la forma en que representan y manejan los datos geográficos, así como el énfasis relativo que le dan a varias operaciones (14).

##### 3.1.2 Componentes de un SIG

Los SIG tienen cuatro componentes importantes: Equipo computarizado (hardware), programas generalmente en forma de módulos (software), datos geográficos y/o alfanuméricos y un contexto organizacional.

Los módulos pueden conceptualizarse como de despliegue, base de datos espacial, sistemas de digitalización, sistema de manejo de base de datos, sistema de análisis geográfico, sistema de proceso de imágenes y análisis estadístico (14).

### 3.1.3 Formatos de datos geográficos en un SIG

La diferencia fundamental entre los distintos programas de SIG que hay en el mercado (Cuadro 1), es la forma como se representan los datos geográficos y/o alfanuméricos, dentro de un mapa en formato digital (13).

#### **Formato Vectorial**

En la representación tipo vector, las fronteras de cualquier característica del mapa, están definidas por una serie de puntos que cuando se unen por medio de líneas rectas, forman la representación gráfica de la característica. Los puntos mismos están codificados como un par de números que corresponden a las coordenadas geográficas del mismo. Sus características y atributos son almacenados en bases de datos compatibles al formato utilizado por Dbase y FoxPro, los cuales son utilitarios para manejar grandes volúmenes de información de este tipo y que fueron desarrollados en lenguaje C.

La estructura de los archivos vectoriales varían dependiendo de lo que se necesita representar y los programas que serán utilizados, sin embargo, la mayoría usa líneas, puntos y polígonos. Las líneas pueden representar ríos, carreteras, caminos de terracería, curvas a nivel, etc. Los puntos representan, por ejemplo, sitios de colecta, estaciones meteorológicas, casas, pozos, escuelas, etc. Finalmente, los polígonos pueden representar usos de la tierra, cuencas, tipos de suelo, geología, divisiones políticas, etc. (14).

#### **Formato Raster**

Conocido también como formato de cuadrícula, es el formato en el cual la representación gráfica de las características y sus atributos están unidos en un solo archivo de datos, es más, en este tipo de formato, no se definen características del todo. El área de estudio es definida por la cuadrícula fina o "pixel" del monitor la cual se le conoce también como celda. Cada celda en un mapa tiene un atributo que representa alguna característica cualitativa o cuantitativa (14).

El sistema de cuadrícula posee una mayor capacidad de análisis para la generación de modelos idealizados, por lo tanto, son muy útiles para el estudio de características espaciales o geográficas como el uso de la tierra, geología, cuencas, poblados y otras (13).

**Cuadro 1. Ventajas y desventajas de los formatos raster y vector.**

<b>Formato</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Raster	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son más adecuados en el análisis de información espacial.</li> <li>- Estructura simple</li> <li>- Rápida superposición de distintas capas de información</li> <li>- Es necesario este formato para el realce de imágenes satelares.</li> <li>- Se pueden elaborar modelos matemáticos o hacer cálculos con ecuaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocupan mucho espacio en el disco duro de las computadoras.</li> <li>- Es difícil establecer relaciones topológicas.</li> <li>- Las salidas gráficas son de baja calidad.</li> <li>- La disminución en la escala (zoom in) distorsiona la imagen y se pueden llegar a observar los pixel del monitor.</li> </ul>
Vector	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La topología queda perfectamente definida.</li> <li>- La estructura de datos es más compacta y ocupa menos espacio de disco duro.</li> <li>- Las salidas gráficas son de alta calidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La estructura es compleja.</li> <li>- Las operaciones de sobre posición son más complejas.</li> <li>- No es posible el realce de una imagen, solamente su corrección manual o automática.</li> </ul>

### 3.1.4 Diferentes Sistemas de Información Geográfica

Cada empresa distribidora de SIG, sostiene que el suyo es el mejor, sin embargo, todos los programas desarrollados para el análisis de información espacial y/o tabular resultan ser la herramienta apropiada para una o varias aplicaciones concretas lo que imposibilita una comparación objetiva entre ellos. En la elección de un SIG, debe tomarse en cuenta, las necesidades que motivan su adquisición, el costo, los formatos que maneja así como su compatibilidad con otros Sistemas, así como la facilidad de manejo por parte de operadores con poca experiencia (11). Existen algunos sistemas de diseño gráfico o de mapeo auxiliado por computadora (CAD - CAM), como el SICAD y MAPINFO, los que sin ser verdaderos SIG, permiten realizar algunas operaciones, aunque muy limitadas y sin información asociada a los dato geográficos (12). Otros programas, son utilitarios más o menos complejos en el tratamiento de imágenes de satélite y realizan muchas funciones propias de los SIG, entre los cuales están ILWIS y MICROSTATION.

Hay Sistemas de Información Geográfica que corren en computadoras personales pero se ven limitados en el cálculo y manejo de altos volúmenes de información. No obstante, resultan suficientes para la gestión de proyectos cuya envergadura no es excesiva o bien, en aquellos de baja resolución. Los SIG que se encuentran en el mercado generalmente pueden trabajar con los formatos raster y vector aunque algunos son más específicos y solamente permiten el uso de uno de los dos formatos.

### 3.1.5 Herramientas de un SIG

Cada uno de los mapas o información digital genera lo que se conoce como capa y se organiza de esta manera para tener un rápido acceso a los elementos de datos requeridos, analizar geográficamente la información y poder realizar modelos digitales de la misma. En ese sentido, la verdadera razón de ser

de un SIG, es la de proveer un medio de análisis geográfico (14), utilizando para ello los siguientes grupos de herramientas.

**Consulta de las bases de datos:** Este es el grupo de herramienta o utilidades que permite la comunicación entre el usuario y las bases de datos almacenadas en formatos tabular y/o espacial. Con esto puede establecerse entre otras cosas: Tipos de uso de la tierra existentes en un área determinada, sitios en los cuales se encuentra la mayor concentración de pesticidas, localización de las zonas donde exista una determinada especie animal o vegetal, etc. Para poder realizar este tipo de consultas, es necesario hacer una reclasificación de imágenes o bien, realizar operaciones lógicas de intersección y/o unión de mapas, bases de datos, etc. (14).

**Álgebra de mapas:** Este es el segundo grupo de herramientas de un SIG y es el que nos permite combinar capas de mapas de manera matemática. Esto resulta muy útil cuando se pretenden realizar modelos digitales ya que para ello se precisa de relaciones matemáticas tanto de mapas como de bases de datos; por ejemplo, a partir de un modelo de elevación digital, es decir, la hipsometría de una cuenca cualquiera, se puede calcular las isoyetas o isotermas utilizando una ecuación que tenga implícita la relación entre altura y precipitación o bien la temperatura según sea el caso (14).

**Operadores de distancia:** El tercer grupo de herramientas proveídas por un SIG consiste en los operadores de distancia, los cuales, como su nombre sugiere, son un grupo de técnicas donde la distancia entre un punto y otro o un área y otra, juegan un papel importante en el análisis de la información. Por ejemplo, provee la herramienta para construir zonas de amortiguamiento a una determinada distancia, áreas ubicadas a una distancia específica de otras, efectos de fricción y barreras en los cálculos de este parámetro a través de un análisis de tipo costo - distancia.

**Operadores de contexto:** Finalmente, el cuarto grupo provee una variedad de operadores conocidos también como "operadores de vecindad" u "operadores locales". Estos crean nuevos mapas basados en la información existente en un mapa preliminar y generan el contexto en el cual se encuentra cada característica requerida. Uno de los ejemplos más sencillos es el análisis de superficie en donde se toma un modelo de elevación digital y se produce un mapa de elevaciones por medio del examen de las alturas de las localidades en comparación con las alturas de los sitios vecinos (14).

Entre los sistemas de información geográfica, no todos son concebidos para poder llevar a cabo operaciones matemáticas con la información. Entre los SIG más conocidos, que realizan estas operaciones están: ARCINFO e IDRISI. Este último, posee aproximadamente 160 módulos de trabajo con diferentes aplicaciones que van desde despliegue de información, análisis, edición, hasta impresión. Los módulos de IDRISI, por medio de los cuales se realizan álgebra de mapas, están combinados en

tres: OVERLAY, TRANSFORM y SCALAR. El primero realiza operaciones entre dos mapas, mientras que el segundo y tercer módulo operan sobre el mismo mapa. SCALAR, también se utiliza para multiplicar cada pixel (unidad mínima de la cuadrícula digital que representa un área en el mapa a un escala determinada) o cambiar el mapa de metros a pies. TRANSFORM, es usado además, para modificar cada pixel en una imagen (14).

También en IDRISI, y con la combinación de los módulos SCALAR, CROSSTAB Y OVERLAY, se pueden desarrollar mapas que, por ejemplo, representen las Zonas Agroclimáticas para un distrito determinado. Un mapa agroclimático es un medio para determinar la adaptabilidad climática a varias alternativas de cultivos. Para poder llevar a cabo este tipo de ejercicios, es necesario reconocer aspectos que puedan afectar el crecimiento y desarrollo de las especies de interés para lo cual se precisan los mapas que los representen, tales como: precipitación media anual, temperatura, hipsometría, relieve, alturas de estaciones climáticas previamente seleccionadas, etc. (14).

### 3.1.6 Aplicaciones de los SIG

Los usos que puede darse a los SIG, en los distintos componentes que involucra el manejo de recursos naturales, comprende un amplio rango de aplicaciones tanto en los procesos de planificación y ejecución, como en los de evaluación y monitoreo de los mismos (9). Los componentes de un SIG pueden servir de apoyo en sectores públicos, privados, semigubernamentales y organismos internacionales (14). Entre los ejemplos de aplicaciones podemos citar los siguientes:

- a) Determinación de zonas agroclimáticas
- b) Planificación física del uso de la tierra
- c) Adjudicación o concesión de tierras para desarrollo de proyectos
- d) Caracterización y cuantificación de recursos naturales
- e) Manejo forestal
- f) Manejo de áreas protegidas y biodiversidad
- g) Monitoreo y evaluación de planes, programas y/o proyectos
- h) Prevención de desastres
- i) Planeamiento urbano y rural
- j) Inteligencia militar y otros.

### 3.1.7 Productos comerciales

Existen muchas casas y productos comerciales en cuanto a los SIG, siendo los mayor popularidad los siguientes:

**IDRISI:** Desarrollado por la Universidad de Clark, en Estados Unidos en el año 1987. Permite la compatibilidad con los formatos de ARCINFO, ARCVIEW, ERDAS, DXF, DLG, ASCII y bases de datos de tipo DBF. Tiene aproximadamente 160 comandos y permite el trabajo en formatos vectoriales y tipo raster. Posee buena capacidad de análisis de información espacial y tabular (13).

**ARCINFO y PC - ARCINFO:** Originado en el año de 1982 en Estados Unidos. Posee una conexión con varios tipos de formatos estándar como los de IDRISI. Tiene aproximadamente 3000 comandos que permiten trabajar en formatos vectorial y raster. Posee una alta capacidad de análisis dinámico, es decir, puede recibir información de satelital (13).

**ILWIS:** Este software es un sistema especializado para el tratamiento de imágenes de satélite y sus siglas significan "Integrated Land and Watershed Information". Se elaboró en Holanda en el año 1988 y posee conexión con numerosos formatos (13).

**ERDAS IMAGINE:** Básicamente se trata de un sistema de tratamiento de imágenes de satélite. Se elaboró en Estados Unidos en 1992 y posee compatibilidad con varios formatos estándar (13).

**GENAMAP:** Este es un sistema vectorial que permite trabajar con bases de datos importables de otros SIG pero no posee la capacidad para el análisis de imágenes en formato raster. Se originó en el Reino Unido en 1986 (13).

**TERRASOFT:** Este programa permite trabajar con formatos raster y vector, así como con bases de datos importables de Dbase y Oracle. Se desarrolló en Estados Unidos en 1984 (13).

**MAPMAKER:** Sistema que permite trabajar con imágenes en formatos raster y vector, así como con bases de datos importables desde Dbase. Fue elaborado en el Reino Unido por Erick Dudley en 1992 y permite el análisis de bases de datos en menor escala. Puede instalarse en la mayoría de computadoras personales ya que no requiere de equipo de alta capacidad. No posee herramientas para realizar álgebra de mapas. (13).

**SOFTMAP:** El software permite el manejo de formatos raster y vector y bases de datos de Dbase a mediana escala y sin capacidad de realizar álgebra de mapas. Se elaboró en Canadá en 1991 (13).

### 3.1.8 Terminología utilizada en el desarrollo de bases de datos tabulares

**Coordenadas de localización:** Hace referencia al sitio geográfico exacto donde se localiza un punto o área en estudio, se compone de dos valores que son la latitud y la longitud.

**Lugar geográfico:** Se refiere a la información sobre el lugar donde se encuentran áreas con una determinada especie, es decir la ubicación política de la misma.

**Altitud:** Es necesario establecer a cuantos metros sobre el nivel del mar se encuentran localizadas las áreas con una determinada especie, para poder definir los rangos altitudinales de distribución de la misma.

**Zona de vida:** Es importante establecer la zona de vida en la cual se localiza una especie para poder familiarizarse con las características biológicas que le son necesarias.

**Nombre común:** Este dato es importante para aquellas personas que no están familiarizadas con el uso de nombres científicos para especies vegetales.

**Género y especie:** Este dato permite que aquellas personas que manejan los nombres científicos puedan identificar sin problemas de que especie se trata y al mismo tiempo, familiarizar a todos los usuarios con esta terminología.

**Código de identificación:** Este código, se hace indispensable para la concatenación de la información tabular con la información espacial cuando se sobreponen mapas temáticos.

### 3.1.9 Descripción de *Abies guatemalensis* Rehder (Pinabete) (1)

**A. Familia:** Pinaceae

**B. Sinónimos :** *Abies tacanensis* Lundell

*Abies guatemalensis* variedad *tacanensis* (Lundell, Martínez)

**C. Nombre común:** Pinabete, Tzin'chaj (Quiché), Pachac (Mam), Pashaque.

**D. Características:** Conífera de hoja perenne con el tronco generalmente fuerte y recto que alcanza una altura de 45 metros. La copa es piramidal, en los ejemplares jóvenes de manera regular, y mas aplanada en los ejemplares adultos. Es una especie monoica.

- a) **Ramas:** Las ramas principales están dispuestas casi horizontalmente. En los ejemplares que crecen libremente el tronco esta ramificado desde la base. En la copa las ramas se mantienen erguidas. Ramitas jóvenes peludas y brotes algo brillantes.

- b) **Corteza:** La corteza oscura es lisa, de color gris, adquiriendo con la edad algunas grietas con vejigas resinosas.
- c) **Hojas:** Aciculares, de hasta 3 ó 4 cm de longitud y 2 mm de ancho, ramas en la punta, con un eje transversal y una línea de color claro en el envés, de color verde oscuro por la cara superior, flexibles, ubicadas sobre numerosos puntos y dispuestas en dos hileras.
- d) **Conos:** De color azulado, ovalados y resinosos. Los conos masculinos tienen hojas escumiformes en su parte interior. Los femeninos generalmente de unos diez cm, erguidos, cilíndricos, insertados en el eje. Orientados hacia lo alto cuando están a punto de ser polinizados, en un principio de color azulado, mas tarde de color pardo rojizo y, maduros, de color pardo mas claro.
- e) **Semillas:** De 8 a 10 milímetros de color castaño claro provistas de un ala membranosa de hasta 15 mm. de largo. Fructifica en octubre. Se pueden recoger entre diciembre y enero.
- f) **Flores:** Unisexuales, la femenina de color rojo o púrpura las cuales aparecen en los meses de Abril y mayo.
- g) **Hábitat:** Especie que suele crecer asociada a *Pinus ayacahuite*, *Cupressus lusitanica* y *Quercus* spp. También en rodales solos. Vegetación acompañante del reino holártico típica de bosques templados. Formando a menudo extensiones en altitudes comprendidas entre los 2,400 y 3,400 m., sobre suelos frescos y de mediana profundidad. En el piso altitudinal subalpino, con temperaturas muy bajas de noche y altas de día. Exposición al norte y noroeste.
- h) **Distribución:** En las montañas del Altiplano guatemalteco y en algunas montañas de México. Se ha reportado pero sin evidencias en Honduras y El Salvador

**E. Generalidades:** El pinabete puede alcanzar edades de más de doscientos años y grandes tamaños. En Guatemala ha estado amenazado por el pastoreo, por el desramado en Navidad y por el cambio de uso del suelo. Tradicionalmente algunas comunidades indígenas lo han utilizado para hacer el tejado de sus casas, la tejamanil, apreciada por su resistencia a las condiciones climáticas a la intemperie. En el siglo XVIII, Fray Francisco Ximenez ya hablaba de las condiciones *incorruptibles* de la madera de pinabete. Muy apreciado por su olor balsámico y agradable, las comunidades indígenas usan las ramas de pino y pinabete en sus fiestas tradicionales, para adornar el suelo de las casas e iglesias.

## F. Distribución de los abetos

El género *Abies* se desarrolla en la zona templada del Hemisferio Norte, en la franja climática situada entre el bosque boreal hasta los bosques de montaña de los trópicos, la cual se caracteriza por ser una zona de heladas frecuentes.

Comparte muchos rasgos morfológicos con *Picea* spp., aunque *Abies* es menos tolerante al mal drenaje y a los incendios y más a climas cálidos y secos, por lo que se presentan en rangos montañosos menos húmedos.

Los géneros de abeto más meridionales en su distribución mundial son *Abies guatemalensis* (Guatemala), *A. Religiosa* (México), *A. pinsapo* (sur de España), *A. cephalonica* (Grecia), *A. numidica* (África del N), *A. cilicea* (Asia Menor), *A. pindrow* (Norte de Indochina) y *A. Coreana* (Corea). Junto con los cipreses, pinos y juníperos es la especie más importante de los bosques de coníferas de la zona templada de la tierra.

Los lugares donde crece el pinabete han sufrido los efectos de una explotación humana abusiva: talas, corte de ramas y árboles, incendios, pastoreo y destrucción del hábitat para usos agrícolas que han hecho disminuir sus antiguos dominios y deteriorado los restos existentes. Esta acción destructora ha sido especialmente grave por la reducida extensión de su área, limitada a las montañas más húmedas, hasta el punto de haber colocado a la especie y a las comunidades a las que preside en peligro de extinción desde hace menos de medio siglo.

## G. El pinabete en Guatemala

Los pinabetes son árboles de gran tamaño, de forma piramidal, conos erguidos y hojas estrechas y aciculares, que crean bosques densos y bien estructurados. El *Abies guatemalensis* es una especie de amplia distribución por las montañas guatemaltecas, poco exigente en calor, resistente al frío y exigente en humedad. Se sitúa en el piso subalpino, preferentemente en su parte superior, formando asociaciones con *Pinus ayacahuite* y *Cupressus lusitanica* y, en su límite inferior, con *Quercus* spp. En las áreas más lluviosas y con mayores fríos se suele imponer a estas especies, y las rebasa en altura formando bosques puros.

El pinabete es endémico de las montañas del sur de México y de Guatemala. Pertenece al grupo de los abetos meridionales de las montañas del trópico norte, que mantienen condiciones de clima templado, con una época seca marcada por la retirada de los vientos alisios. En las áreas que ocupa, las precipitaciones no suelen ser inferiores a 1,000 mm. anuales. Esta exigencia de humedad podría ser un

factor que limita la extensión del pinabete en otros lugares altos, aunque menos lluviosos. Se localiza preferentemente en las vertientes septentrionales y en las umbrías y los valles húmedos. En Guatemala prospera entre los 2,400 msnm. y los 3,400 msnm., en el límite superior de las nieblas mas abundantes pues, a diferencia de los bosques nubosos, es sensible al encharcamiento. Cabe preguntarse si el pinabete podría alcanzar un límite altitudinal mayor. Indudablemente las cumbres pueden recibir precipitaciones suficientes, pero el viento puede ejercer un efecto inhibitor - efecto de cumbre - sobre el crecimiento de los árboles por su poder desecante, que es especialmente marcado en la época seca. Es posible que la temperatura no suponga una limitante tan marcada como el viento para que la especie se distribuya a mayor altura, pues en otras latitudes los abetos crecen con temperaturas medias de 5° C., mientras que en Guatemala la media se sitúa entre 11° C y 15° C.

#### **H. Asociaciones vegetales de la especie**

A pesar de la limitada extensión en que se desarrolla el *Abies guatemalensis* en Guatemala, muestra una notable capacidad de adaptación a situaciones diversas, en las que el substrato y la sombra varían considerablemente. En los lugares en los que la humedad es menor, la vegetación acompañante suele ser de especies propias del bosque latifoliado, mientras que en las mas húmedas y frescas son mas abundantes en su vegetación epífita, de musgos y líquenes. Cuando la densidad del estrato arbóreo proporciona una intensa sombra, la humedad favorece el desarrollo de los musgos, que pueden llegar a cubrir casi completamente el suelo. El estrato arbustivo suele estar poco desarrollado en los bosques mas densos, pero en los claros y formaciones menos sombrías son frecuentes los *Sambucus mexicana*, *Baccharis vaccinioides*, *Cestrum guatemalense*, *Rubus trilobus*, *Salvia cinnabarina*, *Arbutus xalapensis* y *Litsea glaucescens*, dependiendo del tipo de suelo y la humedad del terreno. Sin embargo, en los casos en los que los ecosistemas han sido fuertemente alterados, es normal que se encuentre una abundante representación de las diversas etapas de la sucesión ecológica, como matorrales heliófilos.

### **3.2 MARCO REFERENCIAL**

#### **3.2.1 Descripción general del departamento de Totonicapán (16)**

El departamento de Totonicapán está localizado en la parte occidental de la república de Guatemala, su cabecera departamental está a la altura de los 14°54' de latitud norte y los 91°21' de longitud oeste; cuenta con una extensión superficial aproximada de 1,061 kilómetros cuadrados (0.97% del territorio nacional). Limita al norte con el departamento de Huehuetenango; al este con El Quiché, al sur con Sololá y al oeste con Quetzaltenango. La cabecera departamental es la ciudad de Totonicapán y en términos político - administrativos, el departamento se divide en 8 municipios.

La mayor parte de cabeceras municipales se localizan en pequeños valles rodeados de montañas cuyas alturas oscilan entre los 1,800 msnm. en Santa Lucía La Reforma y los 2,600 msnm. en San Francisco El Alto. La orografía es montañosa, con formaciones de valles pequeños. Entre los principales accidentes fisiográficos están los cerros De Oro, Cuxniquel, Campanabaj, Tunabaj, Caxtúm, Panamutz, Chimumus, Najbijuyup y Chuipar.

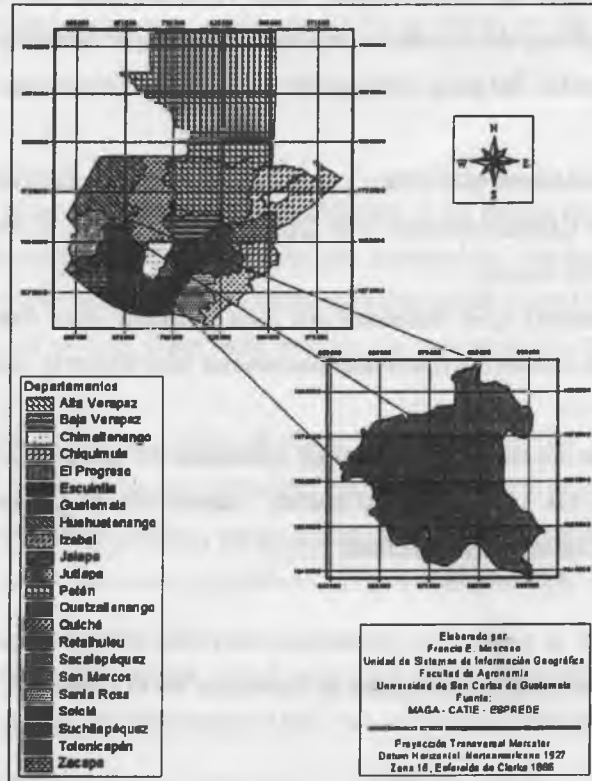
El sistema hidrográfico pertenece a las vertientes del Pacífico y del Golfo de México, comprendiendo parcial o totalmente las cuencas Usumacinta y Samalá. Debido a la diferencia de altitudes, la temperatura media anual, oscila entre los 13 y los 17 °C; la precipitación pluvial es bastante uniforme, en aproximadamente 1,000 milímetros anuales.

### A. Ubicación geográfica

Por el sistema de Coordenadas geográficas, el departamento de Totonicapán se encuentra localizado en las latitudes y longitudes siguientes:

Latitud norte: Entre los 14°49' y los 15°08'

Longitud oeste: Entre los 91°10' y los 91°34'



**Figura 1. Ubicación geográfica del departamento de Totonicapán, en la República de Guatemala.**

## B. División política y superficies

El departamento de Totonicapán tiene una superficie total de 1,061 kilómetros cuadrados, equivalentes al 0.97% del territorio nacional, dividida en 8 municipios, de los cuales en el cuadro 2 se anota el nombre, su extensión en km<sup>2</sup> y el porcentaje que ocupa dentro del territorio departamental.

**Cuadro 2. Municipios de Totonicapán y las superficies territoriales que ocupan, en área y porcentaje.**

No.	Municipio	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
1.	Totonicapán	328	30.9
2.	San Cristóbal Totonicapán	36	3.4
3.	San Francisco El Alto	132	12.5
4.	San Andrés Xecul	17	1.6
5.	Momostenango	305 *	28.8
6.	Santa María Chiquimula	80	7.5
7.	Santa Lucía La Reforma	136	12.3
8.	San Bartolo	27 *	2.5
<b>Totales</b>		<b>1,061</b>	<b>100.0</b>

\* Ambos municipios tienen litigio por asuntos de límites, por lo que no se sabe con exactitud su superficie afectando incluso el área total del departamento.

FUENTE: Diagnóstico del departamento de Totonicapán, SEGEPLAN, 1985.

## C. Fisiografía

La fisiografía del departamento de Totonicapán, está representada por el sistema montañoso de la Sierra Madre, el cual lo atraviesa de noreste a sudeste, y el departamento en su totalidad pertenece al denominado Altiplano Occidental del país. Fisiográficamente, se presentan dos divisiones:

- a) Las montañas volcánicas que están constituidas por una cordillera que se extiende hacia los departamentos de Chimaltenango y el Quiché y en la cual la mayoría de los lugares están a una altura de 2,400 msnm.
- b) La altiplanicie central que consiste en una llanura con fuertes ondulaciones y que se caracteriza porque existen numerosas barrancas fuertemente escarpadas.

La mayor parte de sus cabeceras municipales están ubicadas en pequeños valles rodeados de montañas y cuyas alturas oscilan entre los 1,800 y 2,600 msnm., siendo Santa Lucía La Reforma la cabecera más baja y San Francisco El Alto, la de mayor altitud.

En general, los municipios de la parte sur, presentan mayores altitudes que los de la parte norte, estos datos de alturas para las cabeceras municipales se aprecian en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Alturas en msnm., a que se encuentran las cabeceras municipales del departamento de Totonicapán.**

Municipio (Cabeceras Municipales)	Alturas en msnm.
Totonicapán	2,495
San Cristóbal Totonicapán	2,330
San Francisco El Alto	2,630
San Andrés Xecul	2,435
Momostenango	2,204
Santa María Chiquimula	2,130
Santa Lucía La Reforma	1,890
San Bartolo Aguas Calientes	2,125

FUENTE: Diagnóstico del departamento de Totonicapán, SEGEPLAN, 1985.

#### **D. Hidrografía**

De acuerdo al mapa base de cuencas y ríos de la República de Guatemala, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional en 1,976, el sistema hidrográfico del Departamento está comprendido entre dos vertientes: La del Pacífico y la del Golfo de México.

Los Ríos de la parte norte, drenan hacia la cuenca del Río Usumacinta y los de la parte sur hacia la cuenca del Río Samalá, pasando el parteaguas al norte de las cabeceras municipales de San Francisco El Alto y Totonicapán, y al sur de Momostenango y Santa María Chiquimula.

Los principales altiventes en la cuenca del Río Usumacinta, son los ríos Cajulá, Momosteco, Saquicola y Pacaranat, que nacen en el Departamento y drenan hacia el norte, donde se unen al Río Negro.

#### **E. Clima**

Aunque no se cuenta con buenos registros climatológicos y de datos de estaciones cercanas, se puede inferir que al sur del Departamento en donde se presentan las mayores altitudes, ocurren las temperaturas menores; al norte los valores de temperatura media anual oscilan entre los 13 y los 17 °C. En la cabecera departamental se han observado valores de temperatura mínima de hasta -7.7 °C.

La precipitación es bastante uniforme, observándose valores de media anual que oscilan alrededor de los 1,000 mm.; el número de días de precipitación en la época de húmeda (Mayo - Octubre), es de 97 días y en la época seca (Noviembre - Abril), es de cerca de 8 días. Totonicapán es el departamento de la región occidental donde se observan precipitaciones menos abundantes.

Los valores de humedad relativa oscilan entre los 70 y 91%, medida en la estación ubicada en la cabecera departamental, y única en este registro en todo el Departamento.

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite, en el departamento, únicamente se encuentra la categoría: BsB'b', equivalente a húmedo, con déficit moderado en el verano, mesotérmico, con invierno benigno.

En general el clima del departamento ofrece condiciones para el desarrollo de cultivos de clima frío, contándose con una pequeña área donde es factible la explotación de cultivos de clima templado, no existen problemas de sequía en ningún área del departamento.

Problemas de índole climática se observa con cierta periodicidad en las zonas altas, causado por granizadas con efectos dañinos para las plantas.

## **F. Socioeconomía**

**Formas de tenencia de la tierra:** Las formas de tenencia de la tierra se clasifican en simples y mixtas, las primeras incluyen las categorías de tierras propias y arrendadas; y las segundas las comunales y tierras en colonato.

El fraccionamiento de la propiedad de la tierra en el Departamento, alcanzó en 1979, niveles superiores al promedio nacional. Las explotaciones con extensión inferior a 10 manzanas (95.0% del total de fincas) abarcó el 56.1% de la superficie, siendo el tamaño promedio de las fincas de esta categoría de 0.80 Mz., mientras que el promedio nacional fue de 1.3 Mz., en el mismo año.

La concentración de la tierra, por el contrario, es sustancialmente menor al promedio nacional en este Departamento. En el grupo de las explotaciones multifamiliares medianas y grandes (mayores de una caballería), el 0.1% de las unidades agrícolas concentró un 4.7% de la superficie, por lo que el tamaño promedio de las fincas en este grupo, alcanzó 104.6 Mz., en comparación al promedio nacional de 281.0 Mz.

Con relación a las formas de tenencia de la tierra (ver Cuadros 4 y 5), se observa que el 98.1% del número de fincas con una superficie de 98.6% son de propiedad privada, mientras el 0.8% de las fincas con una superficie del 0.2% están en poder de arrendatarios, comuneros y ocupantes. El 1.1% restante de las fincas es de propiedad mixta.

**Cuadro 4. Clasificación de la tierra por tipo de finca en el Departamento de Totonicapán**

Tipo de Finca	Fincas			
	Número	%	Superficie	%
Microfincas	20,728	70.6	5,522.3	19.6
Subfamiliares	7,182	24.4	10,251.5	36.5
Familiares	1,439	4.9	11,013.8	39.2
Multifamiliares medianas	18	0.1	1,318.1	4.7
Multifamiliares grandes	0	0.0	0.0	0.0
Totales	29,367	100.0	28,105.7	100.0

FUENTE: Dirección General de Estadística (DGE). Censo Agropecuario, 1979. (Cifras Preliminares).

**Cuadro 5. Formas de tenencia de la tierra en Totonicapán, en número de fincas y superficies (en hectáreas)**

Descripción de la Tenencia de la Tierra	Fincas			
	Número	%	Superficie	%
1. Formas Simples				
- Propias	28,757	98.1	27,720.0	98.6
- Arrendadas	42	0.1	16.8	0.1
- Colonato	0	0.0	0.0	0.0
- Ocupantes	9	0.0	1.4	0.0
- Comuneros	220	0.7	23.1	0.1
- Otras	12	0.0	2.8	0.0
2. Formas Mixtas	3	1.1	342.3	1.2
Totales	29,367	100.0	28,106.4	100.0

FUENTE: Dirección General de Estadística (DGE). Censo Agropecuario, 1979. (Cifras Preliminares).

De los datos de la tabla anterior, se infiere que el minifundio se presenta como un problema acentuado en el departamento, llegando la subdivisión de la tierra a tal extremo que el tamaño promedio de las microfincas es de 0.41 Mz., (0.287 ha), y el de las fincas subfamiliares de 2.58 Mz., (1.806 ha).

**La Parcialidad:** Una forma de tenencia de la tierra, muy particular del área de Totonicapán, la constituye la forma denominada "Parcialidad", de la cual se plantea la descripción siguiente: Al arribar al territorio que ocupan el Quiché, Quetzaltenango, Totonicapán, parte de Sololá, San Marcos, Retalhuleu y Suchitepéquez, los ancestros de los quichés se organizaron en grupos que más tarde los españoles identificarían como clanes y linajes con unidades territoriales bien delimitadas. A ellos les llamaron parcialidades.

Denominados "chinamit" en idioma quiché, estos grupos contaban con organización interna propia así como normas sociales específicas entre ellas la descendencia patrilineal y los matrimonios exógamos.

Debido a que la parcialidad no fue reconocida como unidad administrativa por las autoridades españolas de la colonia, ésta no fue objeto de intervención directa, convirtiéndose entonces en el

mecanismo por medio del cual muchos de los pueblos indígenas lograron conservar sus tierras y sus instituciones comunitarias.

En el chinamit la tierra se trabajaba por derecho de uso colectivo y no en propiedad como se reconoce en el derecho jurídico de las sociedades "occidentales". A partir de este concepto se deducen los siguientes aspectos:

- a) Actualmente este derecho de uso se fundamenta en el sentido de patrimonio comunitario, y por tanto igualitario, con respecto al bosque, base de la parcialidad.
- b) Entendida de esta manera, la parcialidad encierra un potencial único para impulsar el desarrollo comunitario.
- c) Con la parcialidad puede hablarse efectivamente de propiedad (si se prefiere este uso), de los medios de producción en manos de todos sus miembros/asociados, o sea colectivamente.
- d) De modo similar, al tratarse de un grupo donde las decisiones son – generalmente – colectivas, el poder es horizontal, o sea de todos. Sin embargo, es importante señalar que cada parcialidad posee su propia directiva, con un orden jerárquico.
- e) Al congregarse a gran parte de la comunidad, la parcialidad cuenta con un gran potencial de fuerza de trabajo.
- f) Finalmente, al ser tarea de todos los miembros de la parcialidad el cuidado y preservación de los bosques se entiende porque los recursos forestales son considerados como patrimonio colectivo comunal; prueba de ello es el hecho de que los bosques de Tonicapán son los mejores conservados del altiplano occidental.

Aunque ha experimentado cambios, hoy en día la parcialidad es un grupo social que no ha desaparecido en aquellas comunidades del municipio de Tonicapán que poseen bosque (generalmente en terreno montañoso). A diferencia del pasado, cuando eran los lazos de parentesco los que otorgaban derecho de ingreso a la parcialidad, actualmente en casi todas las parcialidades se acepta a todos los habitantes del lugar donde se ésta se encuentre.

**Uso de la Tierra:** El departamento de Tonicapán tiene una superficie total de 106,103.69 hectáreas, que representan el 0.9% del total del país; de acuerdo al III Censo Agropecuario Nacional, realizado en 1979, el área registrada en unidades agropecuarias fue de 28,827.75 has., equivalentes al 27.17% de la superficie total del Departamento; dicha superficie se somete a diferentes usos silvo – agropecuarios.

Al respecto, el documento denominado "Plan de Desarrollo Nacional" para el departamento de Totonicapán de 1984, hace mención a los datos siguientes: Los cultivos básicos predominantes en el Departamento utilizan 32,500 hectáreas (30.6% de la superficie total), especialmente para maíz y trigo; 1,000 hectáreas (0.9%) para maíz y frijol en bosque abierto; los cultivos industriales o de agroexportación no son explotados en el Departamento. De los datos anteriores se deduce que el maíz, trigo y frijol son los cultivos básicos más importantes.

La crianza de ganado que comprende especialmente ganado bovino y ovino, cuenta con 400 hectáreas (0.4%) de pastos cultivados; 500 hectáreas (0.5%) de pastos naturales y 600 hectáreas (0.6%) de pastos. La explotación forestal cuenta con 24,300 hectáreas de bosque denso (22.9%) y 42,500 hectáreas (40.1%) de bosque abierto y cultivos indiferenciados.

**Producción Forestal:** Totonicapán es uno de los Departamentos de la República que aún cuenta con abundante recurso forestal, sin embargo, a la fecha, el mismo no es objeto de ningún tipo de manejo.

Tradicionalmente los habitantes del lugar han empleado los recursos forestales para cubrir sus necesidades de combustible, construcción y carpintería. La leña constituye el máspreciado recurso del bosque, debido a que para más del 90% de la población es la principal fuente de energía. Aquellos individuos que no poseen terreno con bosque, se ven en la necesidad de adquirir leña y madera por medio de aserradores (que explotan los bosques municipales) o a través de proveedores llegados fuera de la región.

En resumen, la actividad silvícola en Totonicapán se circunscribe a obtener productos del bosque, sin manejar el mismo.

**Uso de productos forestales:** La madera extraída de los bosques, especialmente la del denominado pino blanco, se emplea para la fabricación artesanal de sillas, amueblados, mesas, aparadores, roperos, etc., Del pino colorado se extrae ocote, el cual es un combustible muy apreciado y de consumo familiar.

El Departamento de Totonicapán, al igual que El Progreso, Quetzaltenango, San Marcos, Huehuetenango, Jalapa, Jutiapa, Santa Rosa, Zacapa, Chiquimula y Baja Verapaz, presentan los mayores porcentajes en cuanto al consumo de leña.

En estos Departamentos, es reducida el área cubierta por bosque denso y poseen al mismo tiempo, altas tasas de incremento poblacional, por lo que es de esperarse que el abastecimiento de leña sea potencialmente crítico.

Totonicapán, en cuanto a consumo de leña, reporta para su población urbana un porcentaje del orden de 13.8 ya para la población rural del 84.4, lo que hace que el 92% de los hogares en Totonicapán, utilicen leña para como combustible para cocinar, y las especies más comercializadas son el *Quercus* spp (encino) y pino colorado.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo cartográfico digital que permita el registro, ubicación y consulta de las zonas con condiciones apropiadas para el crecimiento y desarrollo de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) en el departamento de Totonicapán, Guatemala, utilizando para ello, las herramientas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica - SIG.

### 4.2 Objetivos específicos

- 4.2.1 Elaborar una base de datos cartográfica digital, con información climática y geofísica que sirva de soporte a la localización de áreas apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*A. guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.
- 4.2.2 Organizar una base de datos tabular que facilite la identificación de las áreas óptimas para el crecimiento y desarrollo del pinabete.
- 4.2.3 Elaborar los mapas temáticos que presenten las características climáticas y geofísicas generales más importantes del departamento de Totonicapán.

## V. METODOLGÍA

### 5.1 Recopilación de información

Para alimentar las bases de datos climática y geofísica, necesarias para el desarrollo del modelo cartográfico, se recopiló información espacial y alfanumérica, la que fue ingresada al sistema, de la siguiente manera:

- a) Información geofísica actualizada del departamento de Totonicapán a escala 1:50,000 así como los datos de los sitios de muestreo de pinabete, todo debidamente georeferenciado. Esta información fue proporcionada por el proyecto PRODETOTO / Ala 25-84 y obtenida por los chequeos de campo en este orden.
- b) Información climática de las siguientes estaciones meteorológicas: "Aguacatán", en Huehuetenango; "Jocopilas" en El Quiché; "Santiago Atitlán" y "El Tablón" en Sololá; "Labor Ovalle" en Quetzaltenango; "Santa Lucía", "Xeabaj", "Xequemayá", Xebé" y "Juchanep" en Totonicapán. Esta información fue proporcionada por el Instituto de Sismología, Vulcanología e Hidrología - INSIVUMEH, la cual se interpoló para generar las condiciones de precipitación, temperatura y humedad relativa medias anual, para el departamento de Totonicapán.
- c) Asimismo, se revisó y compiló información relativa a las características anatómicas, morfológicas y socioeconómicas del pinabete (*A. guatemalensis* Rehder), en el herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, así con en los Centros de Información de la Comisión Nacional de Áreas Protegidas - CONAP.

### 5.2 Digitalización de la información

La información geográfica para el análisis, se digitalizó utilizando el programa "Raster to Vector (R2V)" previa georeferenciación, generando una base de datos cartográfica en formato vectorial, los cuales se convirtieron posteriormente al formato raster para realizar la sobre posición de mapas. En el cuadro 6 se observa los mapas de información general ingresados al modelo, mientras que en el cuadro 7, se observan los mapas de información climática y geofísica ingresados.

**Cuadro 6. Mapas de información general ingresados al modelo**

Mapa	Fuente	Digitalización
Municipios	PRODETOTO	PRODETOTO
Vías de acceso	PRODETOTO	PRODETOTO
Cabeceras municipales	PRODETOTO	PRODETOTO
Cuencas	IGN	CATIE - ESPREDE
Fisiografía	IGN	CATIE - ESPREDE
Cobertura forestal	INAB	INAB

**Nota: Nombre de las fuentes de los mapas ingresados al modelo.**

PRODETOTO = Proyecto de desarrollo de Tonicapán ALA 25/84

IGN = Instituto Geográfico Nacional

CATIE = Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

ESPREDE = Estudios de Prevención y Reducción de Desastres

INAB = Instituto Nacional de Bosques

**Cuadro 7. Mapas de información climática y geofísica ingresados al modelo**

Mapa	Fuente	Digitalización
Isohigra	INSIVUMEH	FM - FAUSAC
Isoterma	INSIVUMEH	FM - FAUSAC
Isopleta	INSIVUMEH	FM - FAUSAC
Hipsometría	PRODETOTO	PRODETOTO
Zonas de vida	IGN	CATIE - ESPREDE
Capacidad de uso del suelo	PRODETOTO	PRODETOTO

**Nota: Nombre de las fuentes de los mapas ingresados al modelo.**

INSIVUMEH = Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología

FM = Francis E. Moscoso

FAUSAC = Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

PRODETOTO = Proyecto de desarrollo de Tonicapán ALA 25/84

IGN = Instituto Geográfico Nacional

CATIE = Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

ESPREDE = Estudios de Prevención y Reducción de Desastres

En cuanto a la información relativa a los sitios de muestreo, es decir, todos aquellos puntos accesibles donde actualmente se localizan pequeños rodales mixtos con pinabete, se procedió a tomar sus coordenadas geográficas utilizando un sistema de geoposición global - GPS (por sus siglas en inglés), las cuales se trasladaron a una base de datos alfanumérica generada en Microsoft Excel y convertida a formato DBF, para su análisis en los diferentes SIG disponibles.

### 5.3 Edición de mapas

Los mapas ingresados al sistema, o los que se obtuvieron luego del análisis y conversión de la información alfanumérica fueron editados utilizando para el ello el Sistema de Información Geográfica ArcView v3.1. En este procedimiento se corrigieron errores geoposicionales y se agregó todos los atributos inherentes a los mapas así como la respectiva leyenda.

### 5.4 Impresión de mapas

Los mapas se imprimieron utilizando el formato 8.5 x 11 pulgadas para la publicación de resultados, así como el intercambio y socialización de la información obtenida a través del modelo, cumpliendo así con los compromisos adquiridos con el proyecto PRODETOTO / ALA 25-84.

### 5.5 Desarrollo de la base de datos alfanumérica

Esta fue creada en formatos de Dbase (DBF) y Microsoft Excel (xls), correspondiendo a toda la información obtenida para el pinabete (*A. guatemalensis* Rehder), entre la que destaca:

- a) **Coordenadas de localización:** Las coordenadas de localización se obtuvieron en latitud y longitud (Lat. – Long.) y posteriormente se convirtieron a las coordenadas “Universal Transvers Mercator” (UTM)
- b) **Lugar geográfico (localización política):** Con la sobreposición de los puntos (formados a partir de las coordenadas cartográficas UTM de cada sitio de muestreo), se obtuvo la información sobre el lugar donde se encontró la especie o su localización política municipal, dentro del departamento de Totonicapán.
- c) **Altitud:** Utilizando los datos que proporcionó el Sistema Global de Geoposición (GPS por sus siglas en inglés), se obtuvo la altitud para cada sitio de observación, la cual se encuentra expresada en metros sobre el nivel del mar. Este dato es el que permite identificar la distribución altitudinal de la especie en la zona de estudio.
- d) **Zona de vida:** Se colocó la zona de vida en la cual se localizó la especie, para familiarizarse con las características climatológicas en las cuales se desarrolla la misma.
- e) **Región fisiográfica:** Este dato, detallado hasta el nivel de gran paisaje, permite establecer algunas condiciones geofísicas en las cuales se desarrolla el pinabete.

### 5.6 Desarrollo del modelo

Cubiertos todos los pasos anteriores, se procedió al desarrollo del modelo, utilizando las siguientes herramientas y especificaciones.

- a) **Paso 1, Apertura del proyecto:** El proyecto de ArcView, denominado “tesis.apr” representa al modelo dentro del Sistema de Información Geográfica, y para poder utilizarlo, es necesario contar dentro del “software”, con las siguientes extensiones o aplicaciones, las que deberán estar activadas en el menú principal: 3D, Spatial Analyst, Geoprocessing, Cad Reader y DB Themes.
- b) **Paso 2, Revisión digital de la información:** Todos los mapas a utilizar en el sistema, así como cada base de datos alfanuméricos necesarios para la generación de imágenes climáticas fueron

cargados en el programa ArcView y posteriormente editados y confirmados como puede observarse en los cuadros 8 y 9.

**Cuadro 8. Mapas necesarios dentro del proyecto y su contenido temático**

Nombre del Mapa	Formato	Contenido temático
Municipios	Vector	División política por municipios en el departamento de Totonicapán
Cuencas	Vector	División por cuencas en el departamento de Totonicapán
Hipsometría	Vector	La altitud en msnm
Zonas de vida	Vector	Las zonas de vida en el departamento de Totonicapán
Cobertura forestal	Vector	Las áreas con cobertura forestal en el departamento de Totonicapán
Cabeceras municipales	Vector	Las cabeceras municipales del departamento de Totonicapán
Fisiografía	Vector	Las zonas fisiográficas a nivel de Gran Paisaje en el departamento de Totonicapán

**Cuadro 9. Bases de datos ingresadas al proyecto y su contenido temático**

Nombre de la base de datos	Extensión	Contenido
PTSTOTAL	DBF	Las coordenadas de los sitios de muestreo de pinabete en el departamento de Totonicapán
DBESTACION	XLS	La información de precipitación pluvial, temperatura en grados centígrados y la humedad relativa para las estaciones meteorológicas en el departamento de Totonicapán, sur de Huehuetenango, occidente de El Quiché, norte de Sololá y oriente de Quetzaltenango.

- c) **Paso 3, Extrapolación de datos climáticos:** Para poder generar los mapas en formato raster que representan las condiciones de precipitación pluvial temperatura, y humedad relativa media anual, para el departamento de Totonicapán, fue necesario interpolar la información contenida en la base de datos que se detalla en el cuadro 10.

**Cuadro 10. Contenido de la base de datos "DBESTACION"**

Variable	Contenido
ESTACION	El nombre de la estación meteorológica
MUNICIPIO	El nombre del municipio al que pertenece
DEPTO	El nombre del departamento al que pertenece
PP	La precipitación pluvial media anual en mm.
HR	El % de humedad relativa media anual
T_GC	La temperatura en ° C media anual
ALTITUD	La altitud en msnm a la que está la estación

- d) **Paso 4, Selección de condiciones apropiadas:** Con todos los datos cargados en el proyecto "tesis", el cual obedece a la siguiente sintaxis ArcView Project, se procedió a la reclasificación de las condiciones necesarias para el adecuado crecimiento y desarrollo del pinabete, utilizando para ello la herramienta "Map Query". La selección de variables con sus respectivos parámetros se muestran en el cuadro 11.

**Cuadro 11. Variables y su rango o valor específico para el desarrollo del modelo**

<b>Mapa temático</b>	<b>Rango o valor específico</b>
Isohigra	De 1,000 a 2,600 mm.
Isoterma	De 15.5 a 17.5 °C
Isopleta	Mayor o igual a 80%
Hipsometría	De 2,400 a 3,400 msnm.
Zona de vida	Bosque muy húmedo montano bajo
Capacidad de uso del suelo	Agroforestería, forestal permanente, manejo forestal y recuperación

- e) **Paso 5, Selección de áreas en formato Raster:** Establecidos cada uno de los rangos o valores específicos anteriores, cada selección fue convirtiéndose a formato raster generando con ello una imagen de tipo lógico o “booleana”, la cual adoptó para el rango seleccionado el valor de uno (1) y cero (0) para los datos fuera de dicha selección. Este paso es importante ya que solamente con este tipo de imagen, puede aplicarse el álgebra cartográfica.
- f) **Paso 6, Multiplicación de mapas:** Utilizando la herramienta “Map calculator” del programa ArcView, se procedió a multiplicar las imágenes “booleanas” correspondientes a las características geofísicas apropiadas para pinabete, de esa cuenta, se multiplicó la hipsometría, la zona de vida y la capacidad de uso del suelo, generando una nueva imagen booleana llamada “traslape geofísico”. Posteriormente, las variables climáticas bajo análisis, se multiplicaron obteniendo así la imagen booleana “traslape climático”. Ambas imágenes, siempre en formato raster, se multiplicaron entre si, obteniendo con ello nuestro producto final, al cual se le llamó “AREA\_OPT” y que representa las áreas con las condiciones geofísicas y climáticas apropiadas para el crecimiento y desarrollo del la especie en estudio.

Gráficamente, los pasos 5 y 6 se pueden observar en la figura 2.

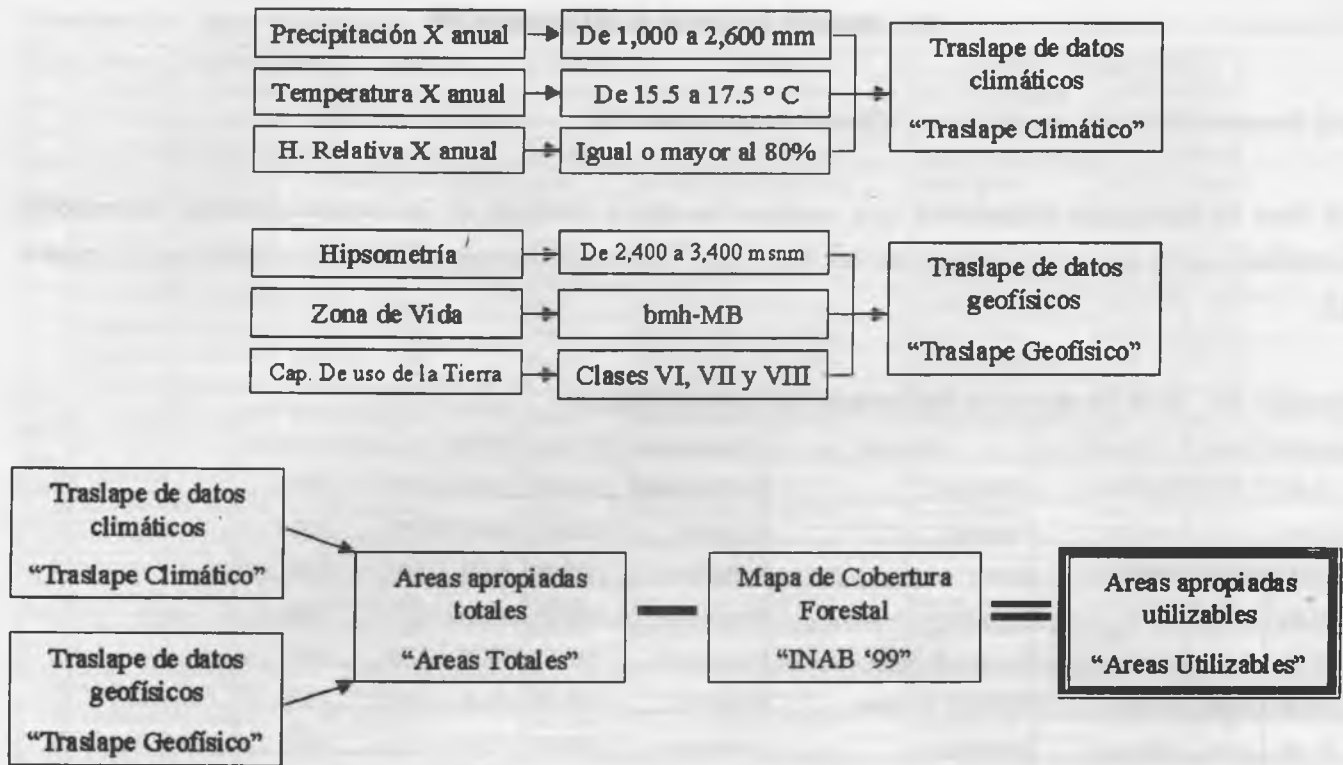


Figura 2. Proceso para la obtención de áreas apropiadas.

- g) **Paso 7, Reconversión de formatos:** Cada una de las características analizadas y reclasificadas, fue convertida posteriormente del formato raster al formato vector para poder hacer una cuantificación de dichos resultados.
- h) **Paso 8, Edición de mapas:** Los mapas reconvertidos a formato vector, fueron cargados uno a uno en una "vista" independiente del proyecto, para poder generar las salidas o "layouts", a los cuales se les agregó las leyendas e identificaciones respectivas para su impresión final.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Base de datos de condiciones climáticas por estación

La base de datos que se generó y que contiene los datos producto de la extrapolación de información climática media anual procedente de las diferentes estaciones meteorológicas, se muestra en el cuadro 12.

**Cuadro 12. Base de datos de las estaciones climatológicas**

Longitud	Latitud	Estación	Municipio	Departamento	PP (mm)	HR (%)	T ° C	Altitud (msnm)
-91.32	15.33	Aguacatán	Aguacatán	Huehuetenango	1434.80	80.54	26.07	1690
-90.87	15.35	Uspantán	Uspantán	El Quiché	1263.64	84.62	22.46	1870
-91.03	15.33	Cunen	Cunén	El Quiche	1575.20	84.73	17.07	1880
-91.35	15.99	Xebé	Santa María Chiquimula	Totonicapán	1550.54	85.44	17.57	1940
-91.53	15.08	Xeabaj	San Bartolo Aguas Calientes	Totonicapán	959.80	88.50	17.06	2200
-91.15	15.09	Jocopilas	San Pedro Jocopilas	El Quiche	1371.50	87.32	17.26	2100
-91.38	14.93	Juchanep	Totonicapán	Totonicapán	1266.90	91.85	16.50	2490
-91.35	15.09	Kequemeyá	Momostenango	Totonicapán	1405.30	87.79	17.18	2140
-91.24	15.13	Santa Lucia	Sta Lucia La Reforma	Totonicapán	2837.70	84.27	17.76	1840
-91.08	14.38	El Tablón	Sn Lucas Toliman	Sololá	1575.30	81.00	18.30	1562
-91.13	14.37	Santiago Atitlán	Santiago Atitlán	Sololá	1429.80	84.00	18.50	1580
-91.01	15.02	Chinique	El Quiché	El Quiché	1848.60	84.73	19.04	1880
-91.05	15.17	Chuitinamit	San Bartolomé Jocotenango	El Quiché	1053.50	82.00	23.50	1180
-91.30	14.52	Labor Ovalle	Quetzaltenango	Quetzaltenango	832.40	71.00	14.40	2380

Fuente: Base de datos generada en la Unidad de Sistemas de Información Geográfica, Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con datos proporcionados por el INSIVUMEH.

### 6.2 Base de datos de los sitios de muestreo de pinabete

Para cada uno de los sitios de muestreo, junto a su ubicación geográfica, se generó una base de datos en la cual, se hizo especial énfasis a las características geofísicas del sitio donde se localizan, así como las condiciones de precipitación, temperatura y humedad relativa del lugar. Los datos que se obtuvieron de éste análisis, se presentan en el cuadro 13.

**Cuadro 13. Base de datos de los sitios de muestreo**

ldr_id	latitud	longitud	altitud	municipio	cuenca	paisaje	capauso	pp	t_gc	hr
1	14.8968658	-91.2985916	3211	Santa Lucía La Reforma	Nahualate	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1383	16.66	87.87
2	15.1399021	-91.2063751	2010	Santa Lucía La Reforma	Chillí	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	2584	17.66	84.64
3	15.0176888	-91.5466537	2771	Momostenango	Samalá	Montañas altas de occidente	Agricultura con manejo	1176	16.52	84.89
4	15.0235186	-91.3172073	2105	Santa María Chiquimula	Cacá	Montañas altas de occidente	Manejo forestal	1551	17.33	86.26
5	14.9032555	-91.2874832	3211	Totonicapán	Cacá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1411	16.72	87.58
6	14.9569387	-91.4022217	2962	Totonicapán	Samalá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1280	16.51	90.56
7	14.9538898	-91.4147186	2755	San Francisco El Alto	Samalá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1278	16.49	89.75
8	14.9638910	-91.3905563	2848	Totonicapán	Cacá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1289	16.55	90.5
9	14.9600000	-91.3963928	2927	Totonicapán	Samalá	Montañas altas de occidente	Manejo forestal	1283	16.52	91.71
10	14.9363899	-91.3719406	2623	Totonicapán	Samalá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1269	16.5	91.69
11	14.9486103	-91.3769379	2876	Totonicapán	Samalá	Montañas altas de occidente	Manejo especial	1272	16.51	91.52
12	14.9433308	-91.3786087	2694	Totonicapán	Samalá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1262	16.5	91.73
13	14.9469404	-91.3341675	2601	Totonicapán	Cacá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1340	16.63	89.6
14	14.9280596	-91.3427811	2800	Totonicapán	Cacá	Montañas altas de occidente	Manejo forestal	1305	16.56	90.21
15	14.9163904	-91.3469391	2718	Totonicapán	Samalá	Montañas altas de occidente	Manejo forestal	1295	16.53	90.38
16	14.9127808	-91.3172226	3097	Totonicapán	Cacá	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1355	16.63	88.7
17	14.8508310	-91.2752838	2941	Totonicapán	Nahualate	Montañas altas de occidente	Agricultura	1398	16.63	86.53
18	14.8502789	-91.2569427	2816	Totonicapán	Quiscab	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1422	16.67	86.37
19	14.8636103	-91.2566681	3201	Totonicapán	Quiscab	Montañas altas de occidente	Manejo forestal	1431	16.7	86.56
20	14.8652802	-91.2513885	3018	Totonicapán	Quiscab	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1441	16.73	86.53
21	14.9094410	-91.2277832	2614	Totonicapán	Xalbaquej	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1523	16.91	86.52
22	14.8844404	-91.2200012	3118	Totonicapán	Xalbaquej	Montañas altas de occidente	Manejo forestal	1532	16.85	86.35
23	14.8986101	-91.2252808	2519	Totonicapán	Xalbaquej	Montañas altas de occidente	Recuperación	1514	16.87	86.46
24	14.8952799	-91.2083282	2663	Totonicapán	Xalbaquej	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1533	16.89	86.3
25	14.8724995	-91.2277832	3193	Totonicapán	Quiscab	Montañas altas de occidente	Manejo forestal	1481	16.79	86.36
26	14.8697205	-91.2319412	3099	Totonicapán	Quiscab	Montañas altas de occidente	Forestal permanente	1474	16.78	86.37
27	15.0649996	-91.5611115	3077	Momostenango	Las Palmeras	Montañas altas de occidente	Manejo especial	1144	16.8	86.49
28	15.0511112	-91.5602798	3197	Momostenango	Samalá	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Exclusión	1160	16.74	86.16
29	15.0519400	-91.5416718	2893	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Recuperación	1145	16.79	86.49
30	15.0661097	-91.5374985	2931	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Manejo especial	1118	16.89	87.12
31	15.0633297	-91.5372162	2883	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Manejo especial	1122	16.88	87.03
32	15.0600004	-91.5583267	2997	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Manejo especial	1149	16.8	86.46
33	15.0613909	-91.5608292	3037	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Manejo especial	1148	16.79	86.39
34	15.0633307	-91.5608292	3058	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Manejo especial	1146	16.8	86.49
35	15.0544395	-91.5611115	3170	Momostenango	Samalá	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Recuperación	1156	16.75	86.2
36	15.0758314	-91.5619431	2931	Momostenango	Xochol	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Recuperación	1137	16.85	86.81
37	15.0569401	-91.5400009	2880	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Recuperación	1134	16.84	86.77
38	15.0544386	-91.5394363	3003	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Manejo especial	1141	16.82	86.66
39	15.0647192	-91.5644836	3100	Momostenango	Las Palmeras	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Recuperación	1148	16.79	86.42
40	15.0960302	-91.5417480	2869	Momostenango	Pucal	Macizo intrusivo del cerro Xachuitz	Manejo especial	1079	16.96	87.59
41	14.9331398	-91.5004120	2670	San Andrés Xecul	Samalá	Planicies onduladas	Forestal permanente	1069	15.52	79.25

**Nota:** La información climática media anual cada sitio de muestreo, se obtuvo a partir de la información procedente de las estaciones climatológicas que se detallaron en el cuadro 12. A continuación el significado de las variables utilizadas para identificar cada campo:

ldr\_id = Número correlativo de cada registro

Latitud = La latitud a la cual se localiza en sitio

Longitud = La longitud a la cual se localiza en sitio

Altitud = La altitud a la cual se encuentra el sitio, en msnm.

Municipio = El municipio del departamento de Totonicapán, donde se localiza el sitio

Cuenca = La cuenca en la cual se localiza el sitio de muestreo

Paisaje = La fisiografía a nivel de Gran Paisaje donde en la cual se encuentra el sitio de muestreo

Capauso = El uso actual del suelo en el sitio de muestreo

Pp = La precipitación pluvial media anual en el sitio de muestreo expresada, en mm.

T\_gc = La temperatura media anual en el sitio de muestreo, expresada en ° C

Hr = La humedad relativa media anual en el sitio de muestreo, expresada en %

Con relación a la clasificación taxonómica de suelos en los cuales se localizan cada uno de los sitios de muestreo, se determinó que el 94% de éstos (38 sitios) se localizan en el suborden de los "UDANDS" del Orden de los "Andisoles" el que, entre otras características posee propiedades ándicas, un régimen de humedad Udico, un potencial de fertilidad que varía entre regular y alto, una humedad del suelo adecuada, de buenas características físicas, con saturación de bases y contenido de materia orgánica entre regular y alta, aunque también posee como limitantes una saturación de fosfatos y tendencia a la erodación.

El 4% de los sitios de muestreo, se encuentra dentro del suborden de los "ORTHENTS", el que corresponde al orden de los "Entisoles", los cuales solamente poseen un epipedón, bajo potencial de fertilidad, una variable humedad en el suelo, con malas características físicas lo que también incide en una variable saturación de bases y bajo contenido de materia orgánica. Otra característica de éstos suelos es su poca profundidad y alta pedregocidad.

Finalmente tenemos que solamente el 2% de los sitios de muestreo, lo encontramos localizado en el suborden de los "USTALFS", del orden de los "Alfisoles" , el cual posee un horizonte Argílico, una saturación de bases superior al 35%, un régimen de humedad Ústico, potencial de fertilidad entre regular y alto; aunque posee buenas características físicas y un contenido de materia orgánica entre regular a bajo, tiene deficiencias en cuanto a su contenido de humedad.

### **6.3 Condiciones climáticas apropiadas para pinabete**

Tomando como base los datos establecidos en cada uno de los sitios de muestreo, se pudo determinar que las condiciones climáticas medias anuales apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete son las siguientes.

#### **6.3.1 Precipitación pluvial**

La cantidad de lluvia que requiere ésta especie, de acuerdo al estudio realizado por la Unidad de Sistemas de Información Geográfica USIG de la Facultad de Agronomía en la Universidad de San Carlos, se encuentra en el rango de los 800 a los 3,000 milímetros anuales. Particularizando para el departamento de Totonicapán, se obtuvieron datos que van de los 1,000 a los 2,600 milímetros anuales lo que sitúa a ésta variable entre el rango promedio. Sin embargo, éste factor resultó no ser determinante en el establecimiento de las áreas con condiciones apropiadas, ya que es adecuado en el 94.54% del área total del departamento, como puede observarse en la figura 3.

### 6.3.2 Temperatura

Al igual que con la precipitación, Totonicapán, posee en casi el 89 % de toda su extensión territorial, las temperaturas adecuadas para el pinabete, como puede observarse en la figura 4; sin embargo, y con el análisis de los datos obtenidos en los sitios de muestreo, se determinó que este factor se encuentra en el rango de los 15.5 a los 17.5 grados centígrados, como promedio anual. Debe tomarse en cuenta, que para la región y en determinadas épocas del año (noviembre a febrero), se observan heladas que hacen descender la temperatura hasta los -7 y -8 grados centígrados, incidiendo con ello en una reducción del incremento medio anual de la especie.

### 6.3.3 Humedad relativa

El pinabete es una especie que requiere de elevada humedad relativa, es por ello que, con el análisis de la información climática obtenida, pudo establecerse que ésta variable es superior al 80% anual, en el 97.08% del territorio del departamento, como se observa en la figura 5, por lo que se le considera apropiado para el establecimiento de plantaciones de la especie bajo análisis. Parte de esta elevada humedad relativa, obedece a lo que conocemos como "lluvia horizontal", es decir, los bancos de neblina que se depositan en las zonas montañosas de la región y que contribuyen en un 35% aproximadamente en la recarga hídrica tanto superficial como la subterránea.

Los mapas de las tres variables climáticas, es decir, precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa medias anual, se multiplicaron entre sí, obteniendo el mapa de "traslape climático", (figura 6) en el cual se puede observar toda la zona donde convergen éstos factores y que por lo tanto, puede considerarse como apropiada "climáticamente" para el establecimiento de plantaciones de pinabete. Del total del área de Totonicapán, el 86.55%, que son 102,506.84 hectáreas reúnen éstas condiciones a pesar de los cambios atmosféricos que han afectado al globo terrestre durante la última década.

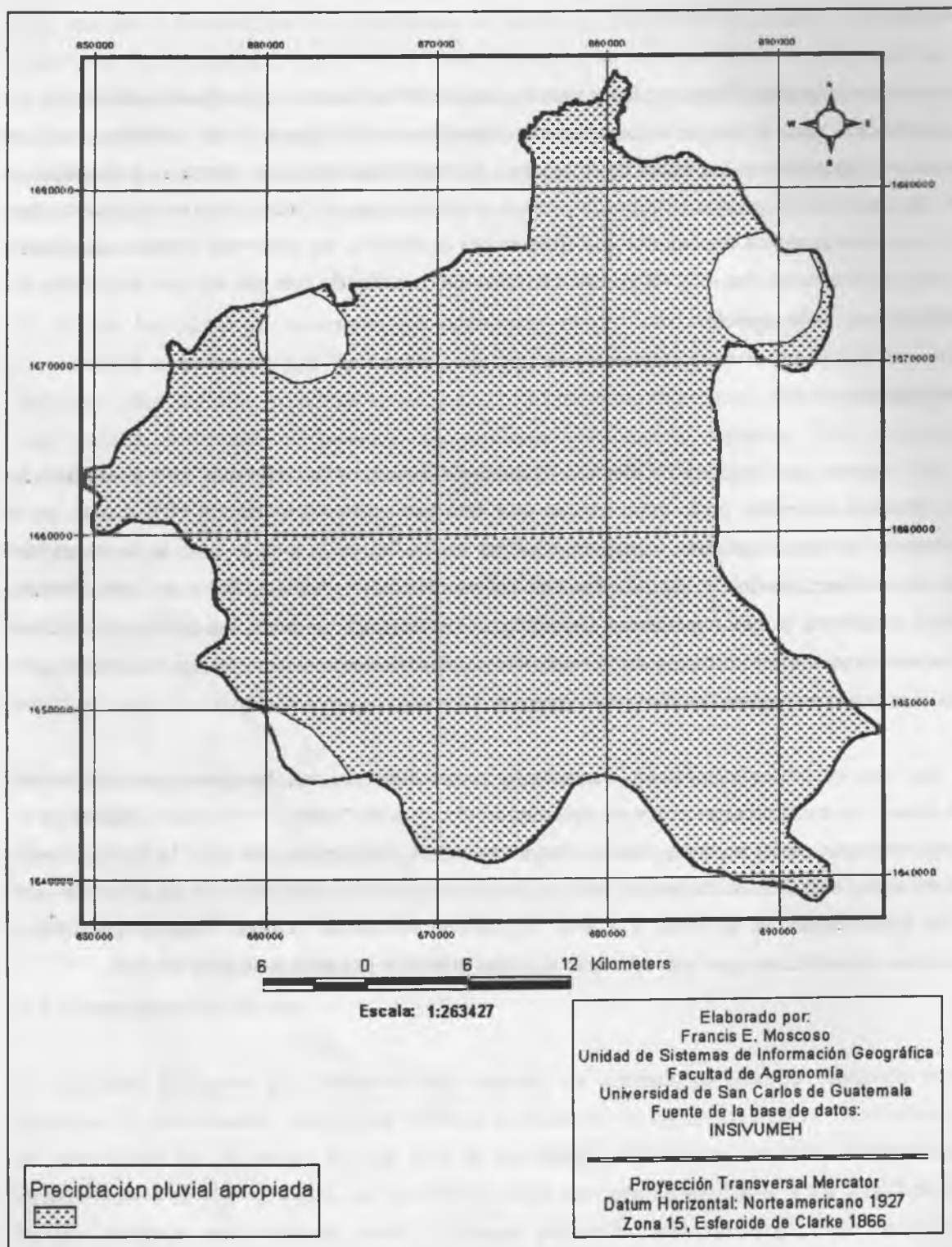
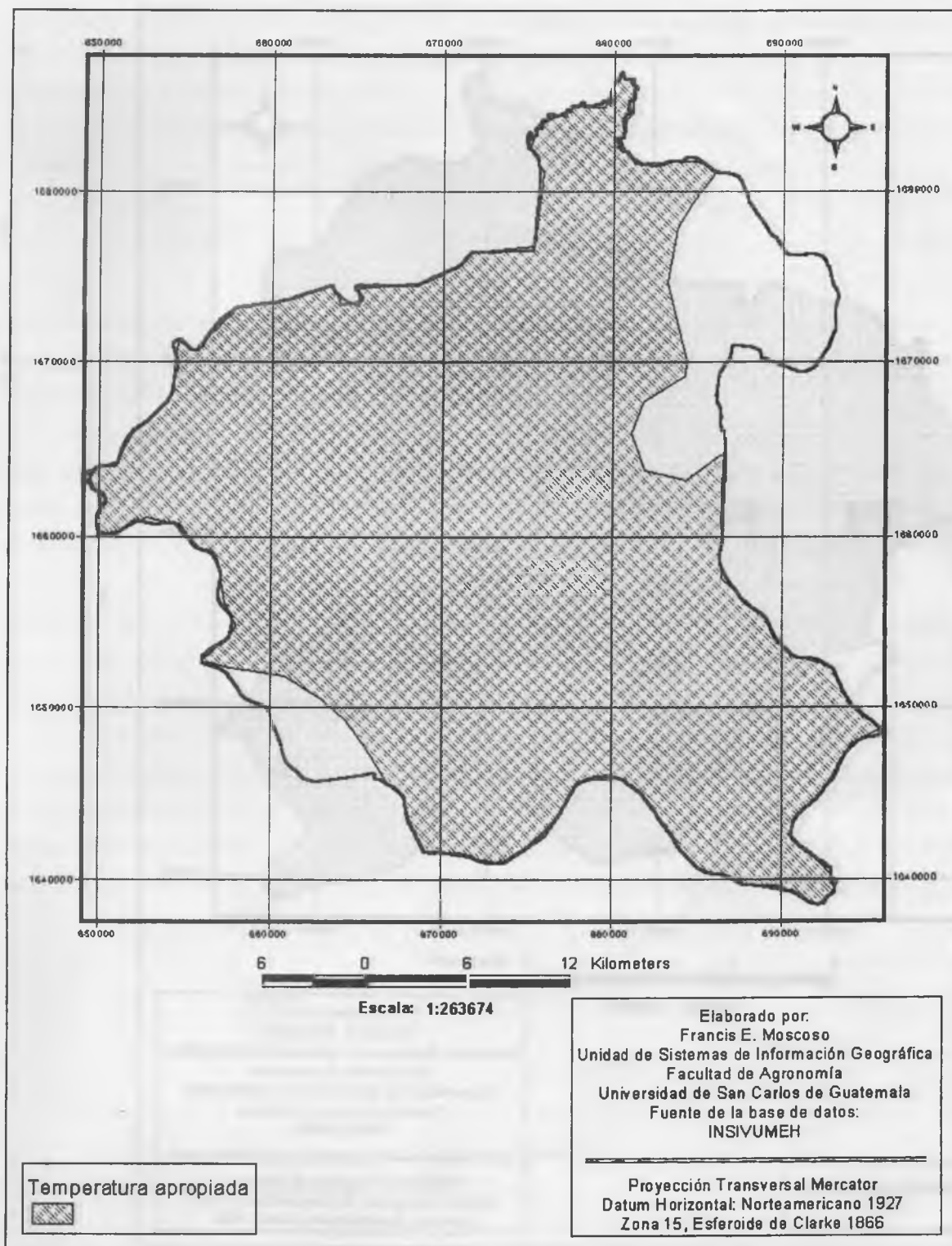
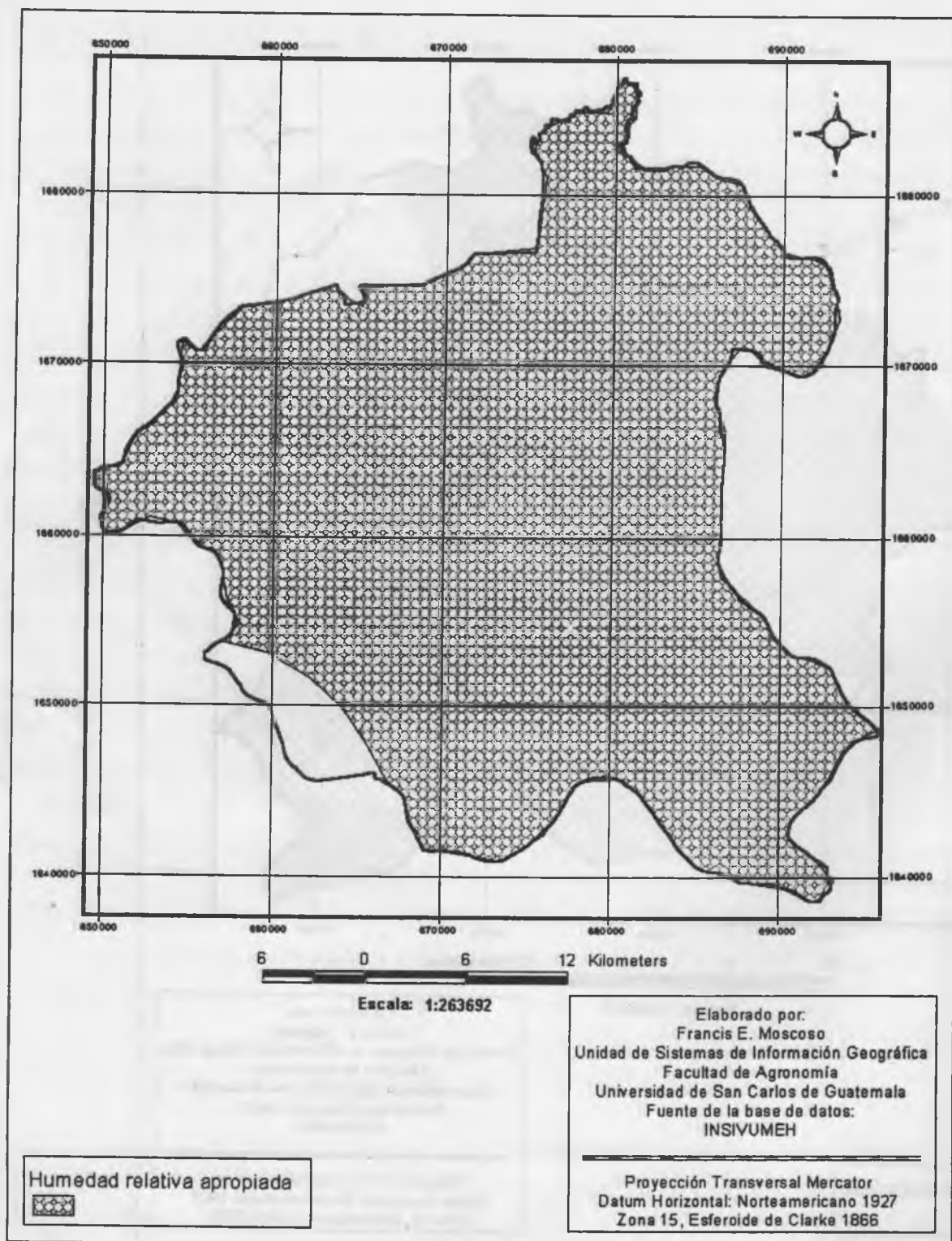


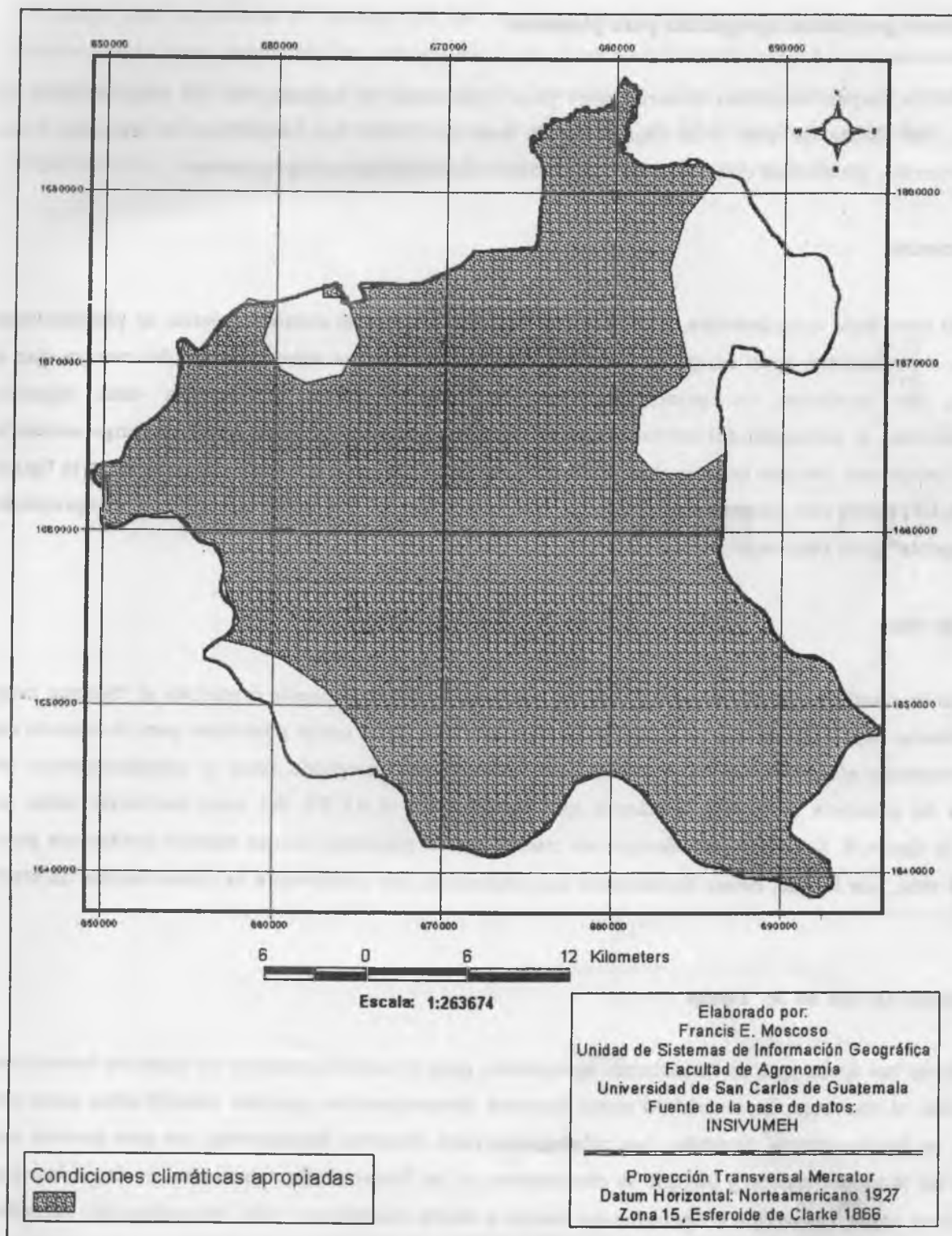
Figura 3. Mapa del área donde la precipitación pluvial media anual es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.



**Figura 4. Mapa del área donde la temperatura media anual es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**



**Figura 5. Mapa del área donde la humedad relativa media anual es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**



**Figura 6. Mapa del área donde las condiciones climáticas analizadas son apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**

#### **6.4 Condiciones geofísicas apropiadas para pinabete**

Cada uno de los mapas temáticos desarrollados para representar la hipsometría del departamento de Totonicapán, las Zonas de Vida y la Capacidad de Uso del Suelo, fue seccionado de acuerdo a los siguientes criterios, generando con ello, el mapa de condiciones geofísicas apropiadas.

##### **6.4.1 Hipsometría**

Se determinó para ésta característica, que la altitud apropiada para el establecimiento de plantaciones de pinabete, se encuentra en el rango de los 2,400 a los 3,400 metros sobre el nivel del mar ya que a ésta altura, se localizan los principales bosques mixtos donde se localiza ésta especie. Cuantitativamente, la extensión del territorio de Totonicapán, que se encuentra en dicho rango asciende a 63,909.63 hectáreas, las que representan al 53.96% del área total como puede observarse en la figura 7. Esta reclasificación nos permite considerar a más de la mitad del departamento como apropiado "altitudinalmente" para ésta especie.

##### **6.4.2 Zona de vida**

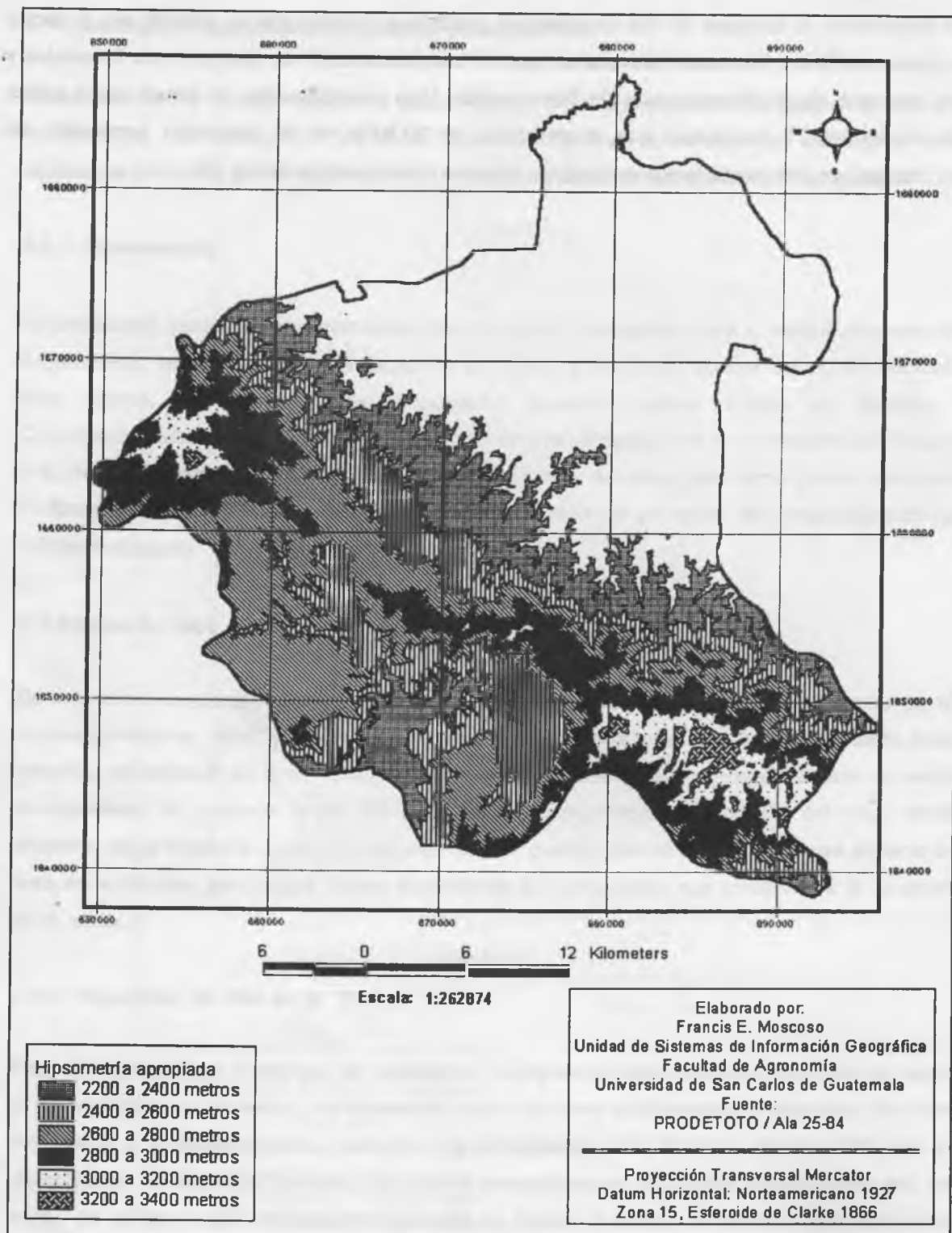
De acuerdo a la clasificación de zonas de vida, el pinabete solamente puede crecer en el "bosque muy húmedo montano bajo", por lo que se consideró solamente esta área como adecuada para la especie en estudio, reduciendo el área total del territorio de Totonicapán apropiada para el establecimiento de plantaciones de pinabete a 48,793 hectáreas que representan el 41.2% del total territorial como se muestra en la figura 8. Debe tenerse siempre en cuenta que el pinabete es una especie indicadora para ésta zona de vida, por lo que, deben fomentarse los programas que conlleven a la conservación "in situ" de la misma.

##### **6.4.3 Capacidad de Uso de la Tierra**

Para seleccionar las áreas que se consideran apropiadas para el establecimiento de especies forestales, y en particular el pinabete, se consideró como factores determinantes aquellas identificadas para ser dedicadas a la Agroforestería, también, las catalogadas para Forestal Permanente, las que pueden ser sometidas a un Manejo Forestal y las que se encuentran en las Zonas de Recuperación, es decir, las que están en suelos sobre utilizados o agotados en macro y micro nutrientes; ésta reclasificación permitió determinar en términos generales, que el 34.9% del territorio de Totonicapán posee una vocación para el establecimiento de plantaciones de pinabete, como se observa en la figura 9.

El mapa que representa el traslape de las condiciones geofísicas apropiadas se resultó ser el factor determinante para establecer las zonas adecuadas para el establecimiento de plantaciones forestales y en especial de pinabete en el departamento de Tonicapán. Una cuantificación de éstas zonas indica que un total de 24,640.71 hectáreas que representan al 20.81% de la extensión territorial del departamento, poseen las tres condiciones evaluadas, como se observa en la figura 10.





**Figura 7. Mapa de las áreas donde la Hipsometría es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Tonicapán, Guatemala.**

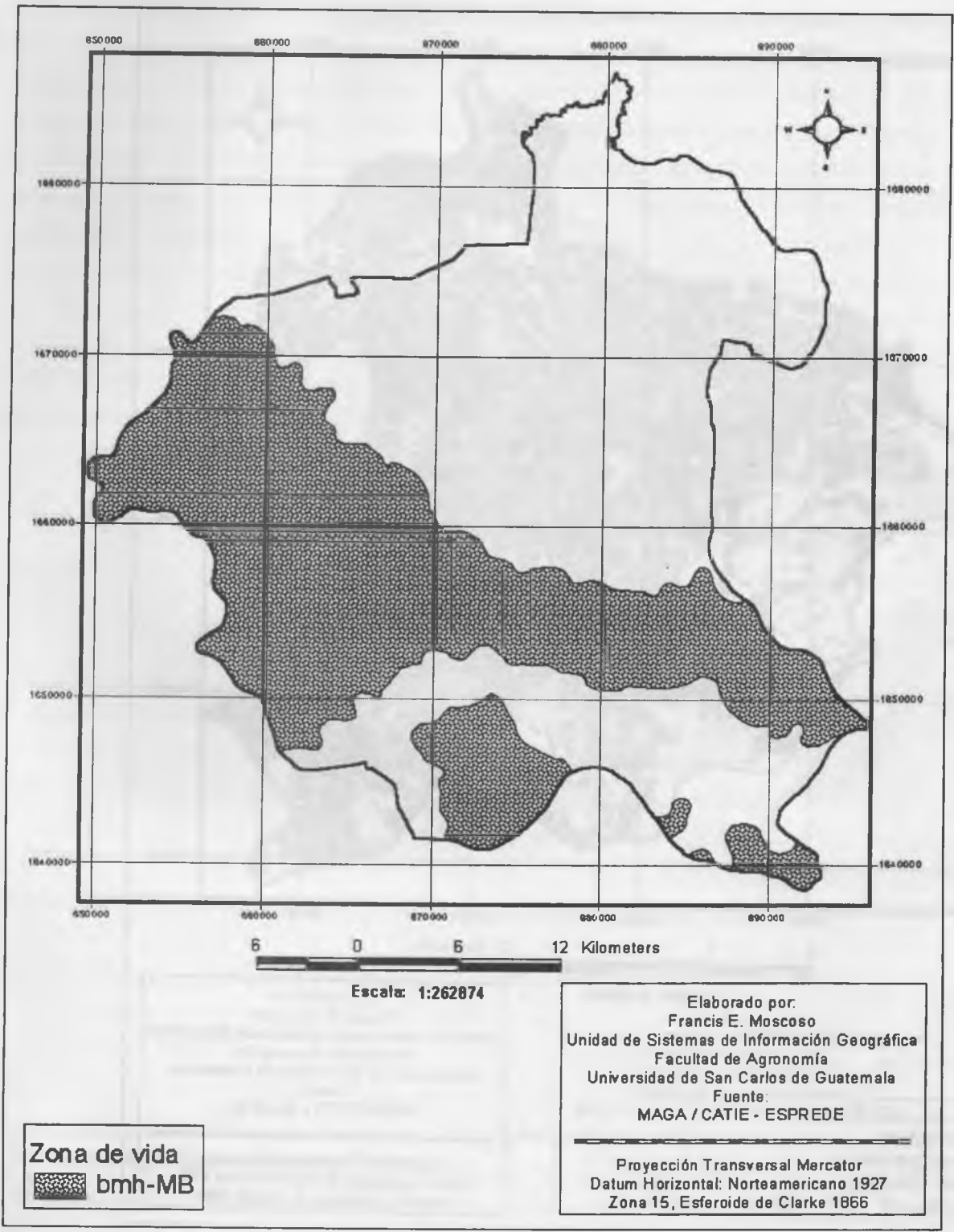
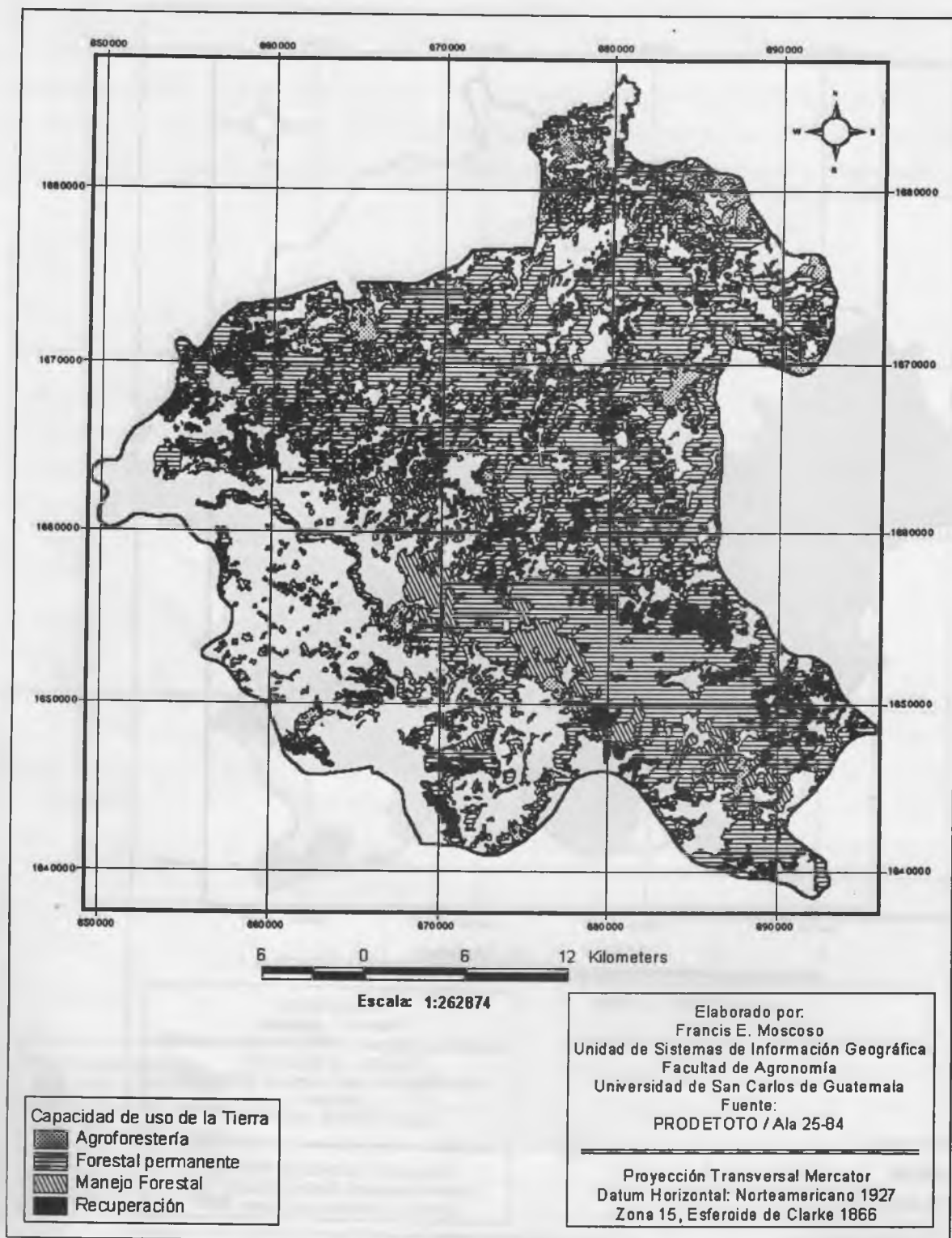
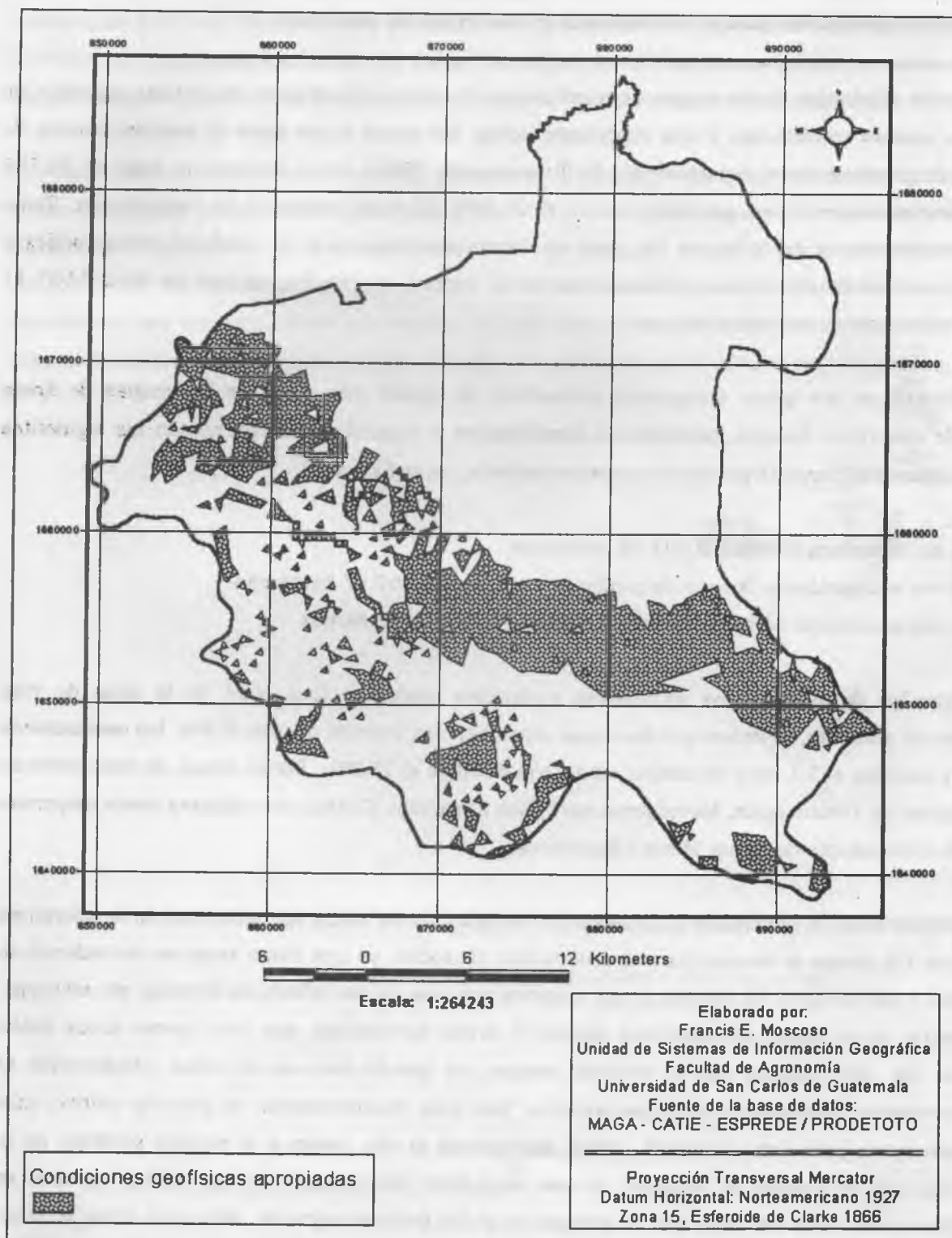


Figura 8. Mapa del área donde la Zona de Vida es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.



**Figura 9.** Mapa de las áreas donde la Capacidad de Uso de la Tierra es apropiada para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.



**Figura 10. Mapa de las áreas donde las condiciones geofísicas analizadas son apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**

### 6.5 Áreas totales apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete

La multiplicación algebraica de los mapas de condiciones climáticas y geofísicas apropiadas generó el de las áreas con ambas condiciones y que representa todas las zonas aptas para el establecimiento de plantaciones de pinabete en el departamento de Totonicapán. Estas áreas ocupan un total de 23,786 hectáreas aproximadamente, las que representan al 20.08% del total territorial de Totonicapán. Estas áreas, pueden observarse en la figura 11, pero no deben considerarse a su totalidad como viables o utilizables para el establecimiento de plantaciones de la especie en estudio, ya que un total 9,927.11 hectáreas ya cuentan con cobertura forestal.

Para poder identificar las zonas apropiadas utilizables, se realizó una resta de los mapas de áreas totales y el de cobertura forestal, permitiendo identificarles y cuantificarles obteniendo los siguientes resultados los que gráficamente pueden observarse también, en la figura 12:

Áreas sin cobertura forestal: 3,907.35 hectáreas

Áreas con asociación de bosque de coníferas y cultivos: 3,467.77 hectáreas

Áreas con asociación de bosque mixto y cultivos: 6,483.76 hectáreas

Si comparamos los datos de áreas apropiadas utilizables contra el área total de la zona de vida apropiada para el pinabete, tenemos que las zonas sin cobertura forestal ocupan el 8%, las asociaciones de coníferas y cultivos el 7.11% y el bosque mixto con cultivos el 13.3%. Estas zonas, se concentraron en los municipios de Totonicapán, Momostenango y San Francisco El Alto, con algunas áreas dispersas localizadas en el municipio de Santa María Chiquimula.

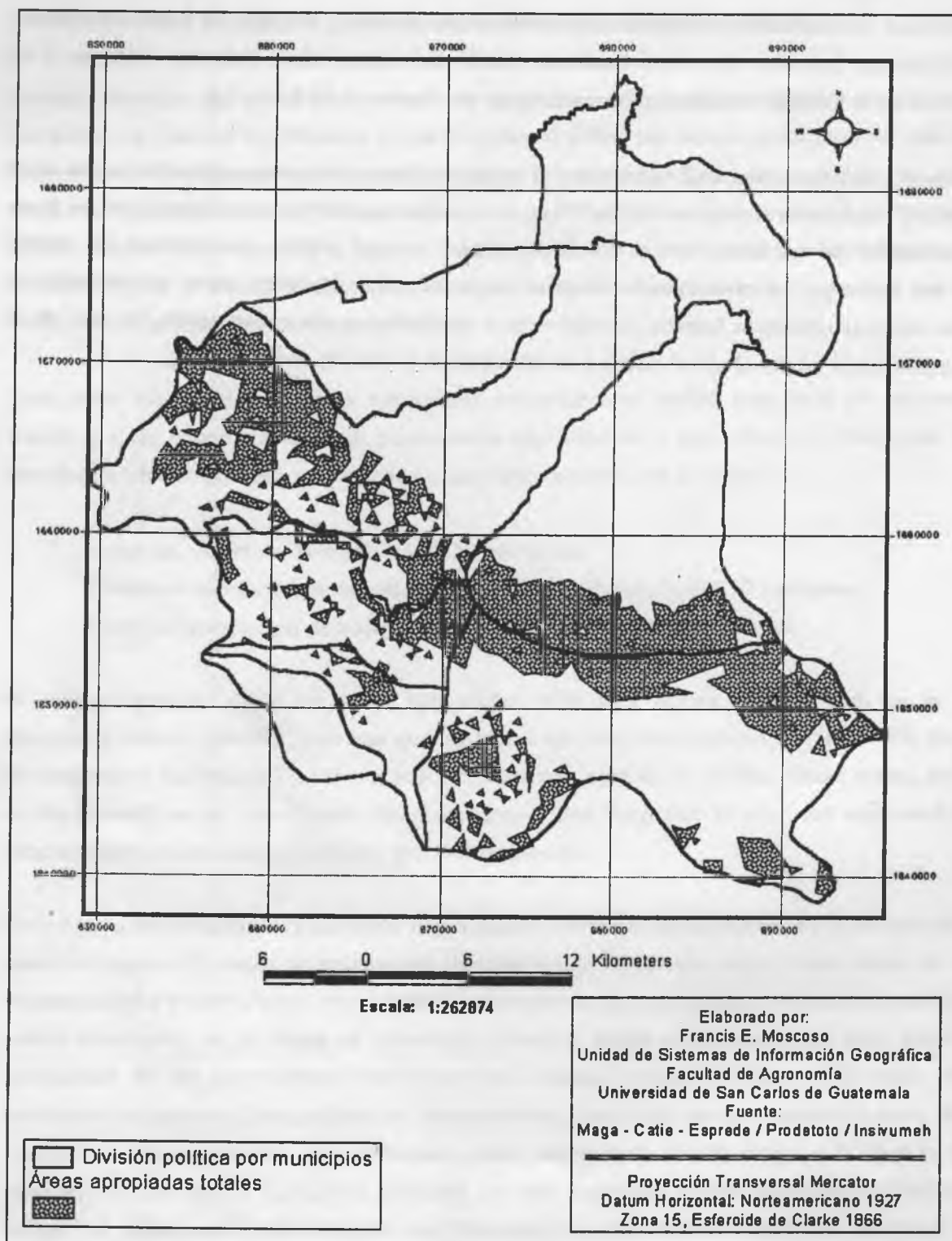
Otro dato determinante, lo constituye la localización de éstas zonas hacia las cabeceras de las diferentes cuencas (figura 13) donde se encuentran, lo cual valida el modelo ya que éstas áreas se consideran de recarga hídrica y por lo tanto, es necesario que cuenten con una densa cobertura forestal; sin embargo, puede observarse en el mapa de cobertura forestal y áreas apropiadas, que muy pocas zonas están localizadas en las que cuentan con el recurso bosque, ya que la mayoría de ellas, obedeciendo al constante incremento demográfico del departamento, han sido transformadas en zona de cultivo, aún cuando no son aptas para ésta actividad. Esto, incrementa el alto riesgo a la erosión genética de la especie, ya que aún y cuando el pinabete no sea explotado comercialmente, su hábitat natural se encuentra amenazado cada vez más, por el avance de dicha frontera agrícola, así como otros factores minoritarios como las plagas o enfermedades e incendios forestales.

En cuanto a la relación de éstas zonas con los diferentes paisajes fisiográficos, tenemos que se les puede localizar en las Montañas Volcánicas Altas de Occidente, donde se encuentra la mayoría o las

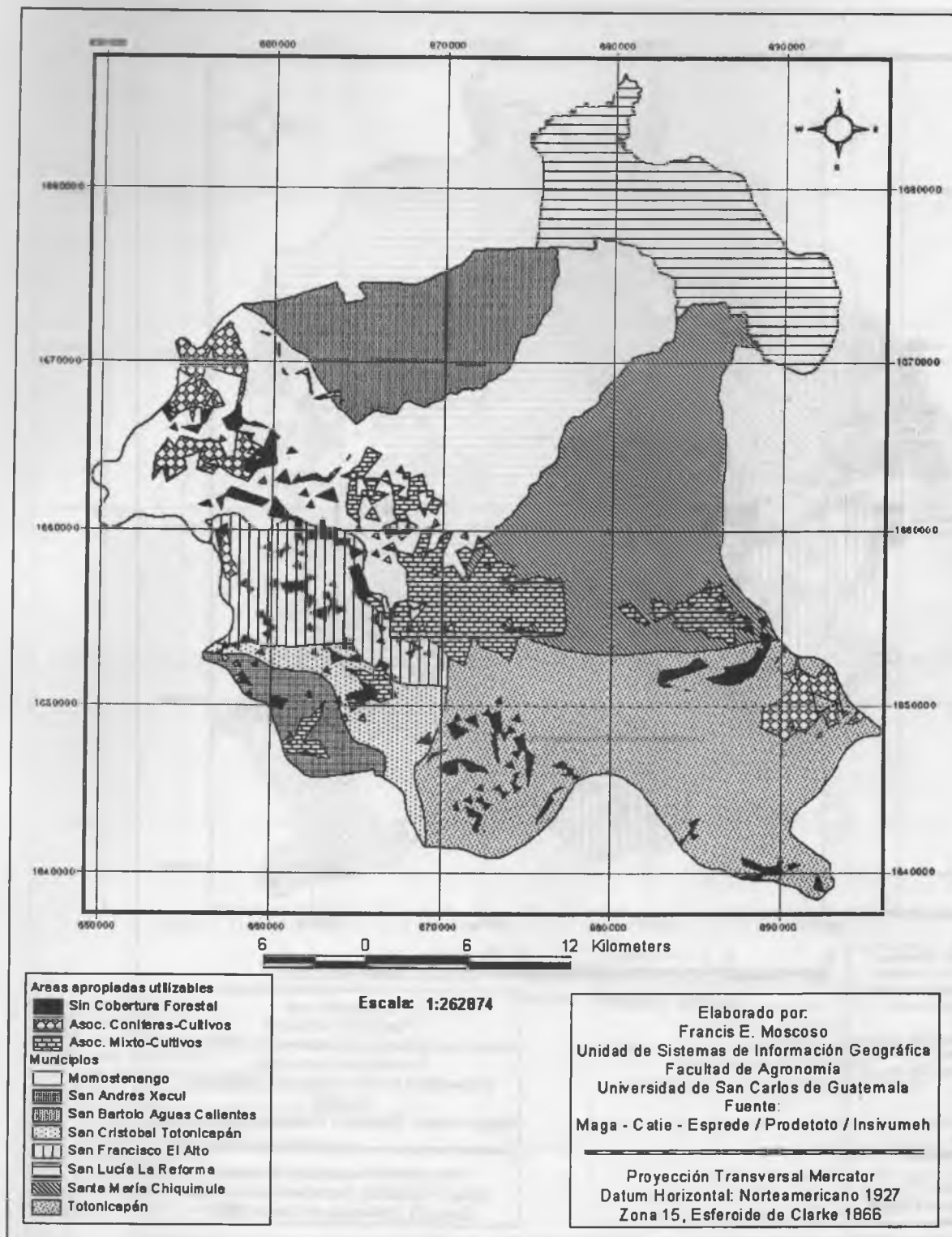
zonas más extensas unidas al área protegida establecida por la Comisión Nacional de Áreas Protegidas - CONAP, en El Macizo Intrusivo del Cerro Xachuitz, donde hay otras zonas bastante extensas y en menor proporción en el Relleno Piroclástico Pamaria, como se observa en la figura 14.

Un dato interesante lo encontramos al sobreponer el mapa de áreas apropiadas utilizables sobre el de Áreas Protegidas y Corredores Biológicos (figura 15), donde podemos observar que algunas de las áreas apropiadas utilizables se localizan dentro de las mismas lo cual valida nuevamente el modelo desarrollado, sin embargo, es preocupante observar cómo algunas de éstas áreas actualmente se encuentran sin ninguna cobertura forestal, lo cual viene a confirmar que la conservación "in situ" de la especie resulta prioritaria para reducir el riesgo a la extinción en el cual se encuentra.





**Figura 11. Mapa de las áreas totales con condiciones climáticas y geofísicas apropiadas para el crecimiento y desarrollo del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Tonicapán, Guatemala.**



**Figura 12. Mapa de Áreas Apropriadadas Utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**

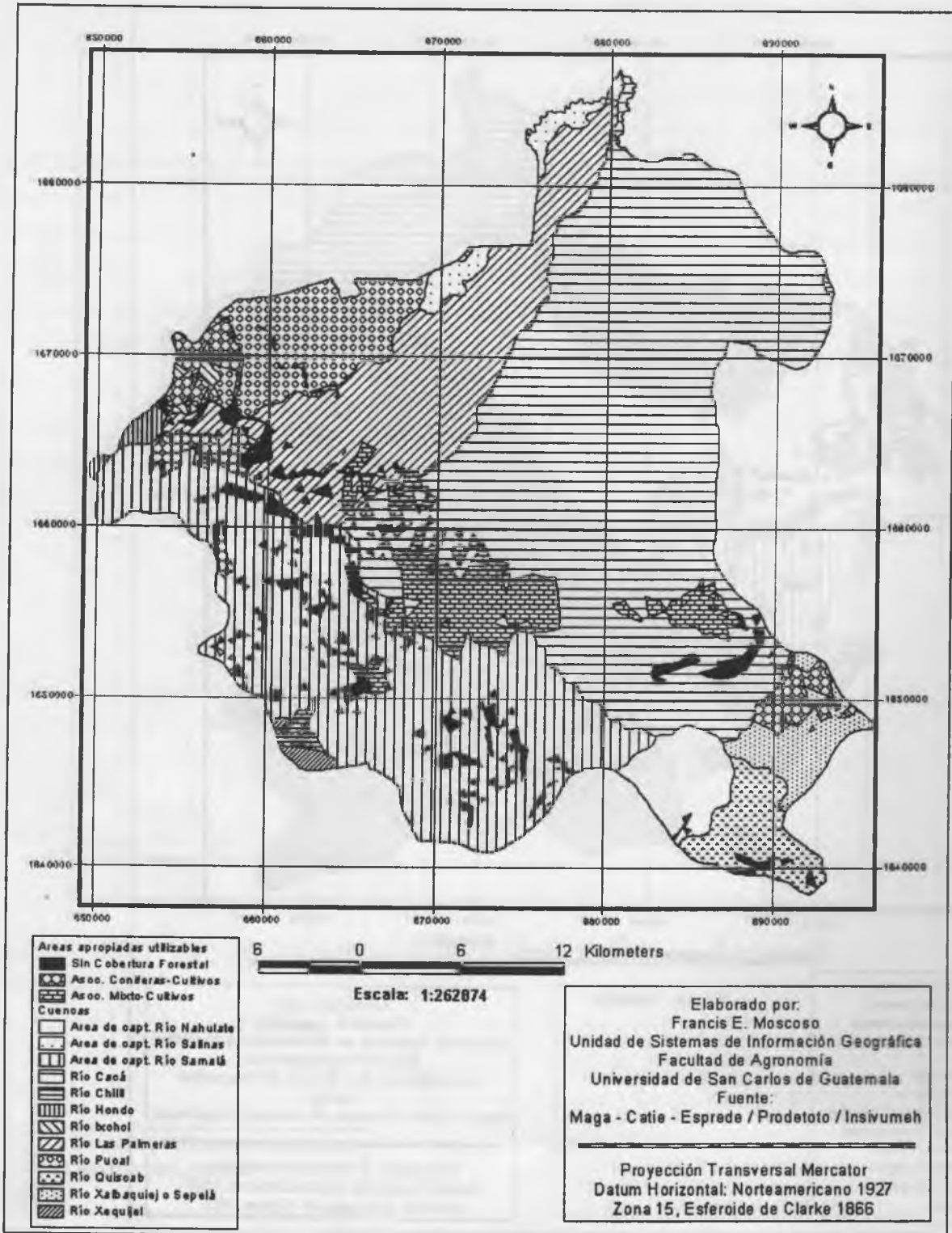
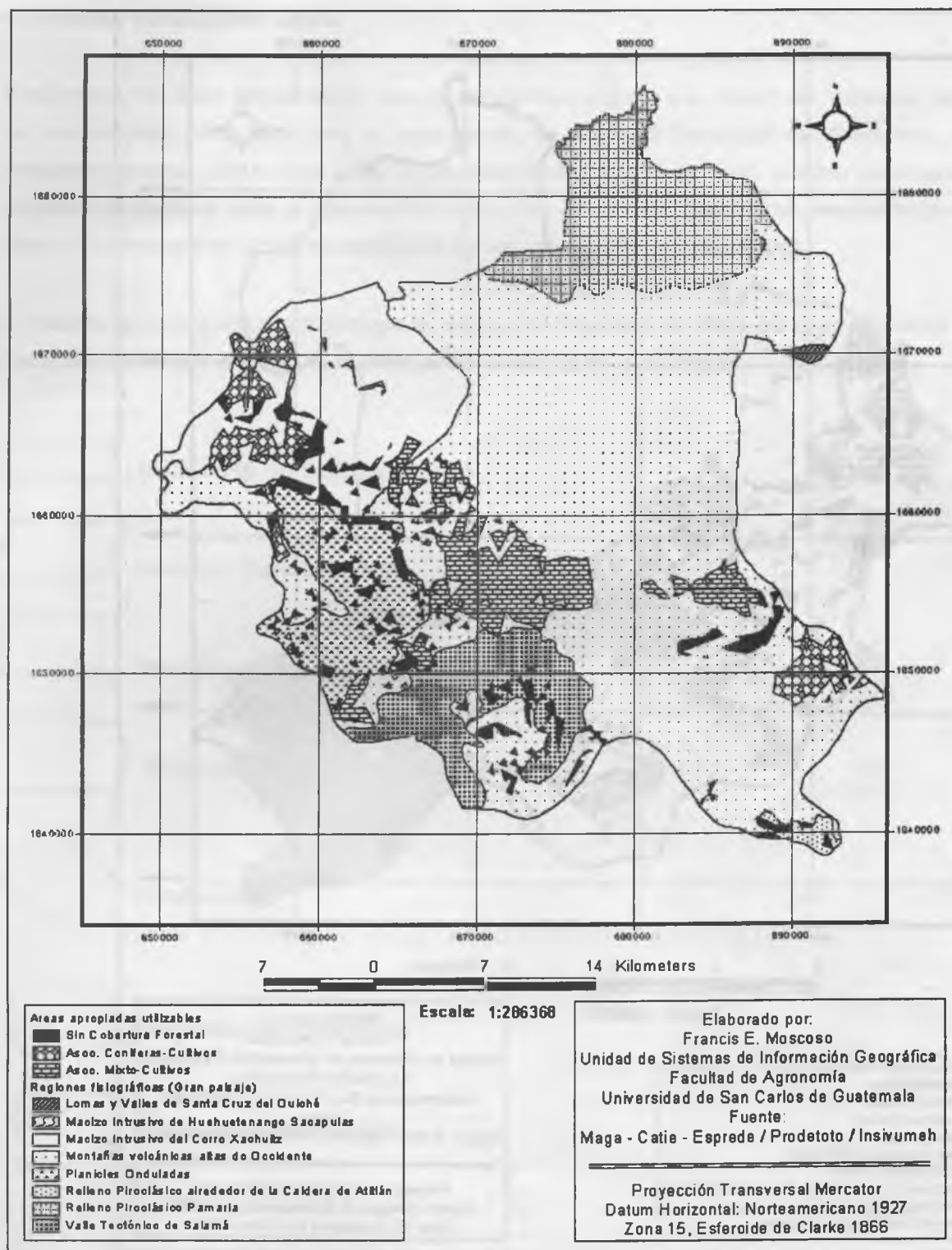


Figura 13. Mapa de Cuencas y áreas utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.



**Figura 14. Mapa de Grandes Paisajes Fisiográficos y áreas utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Tonicapán, Guatemala.**

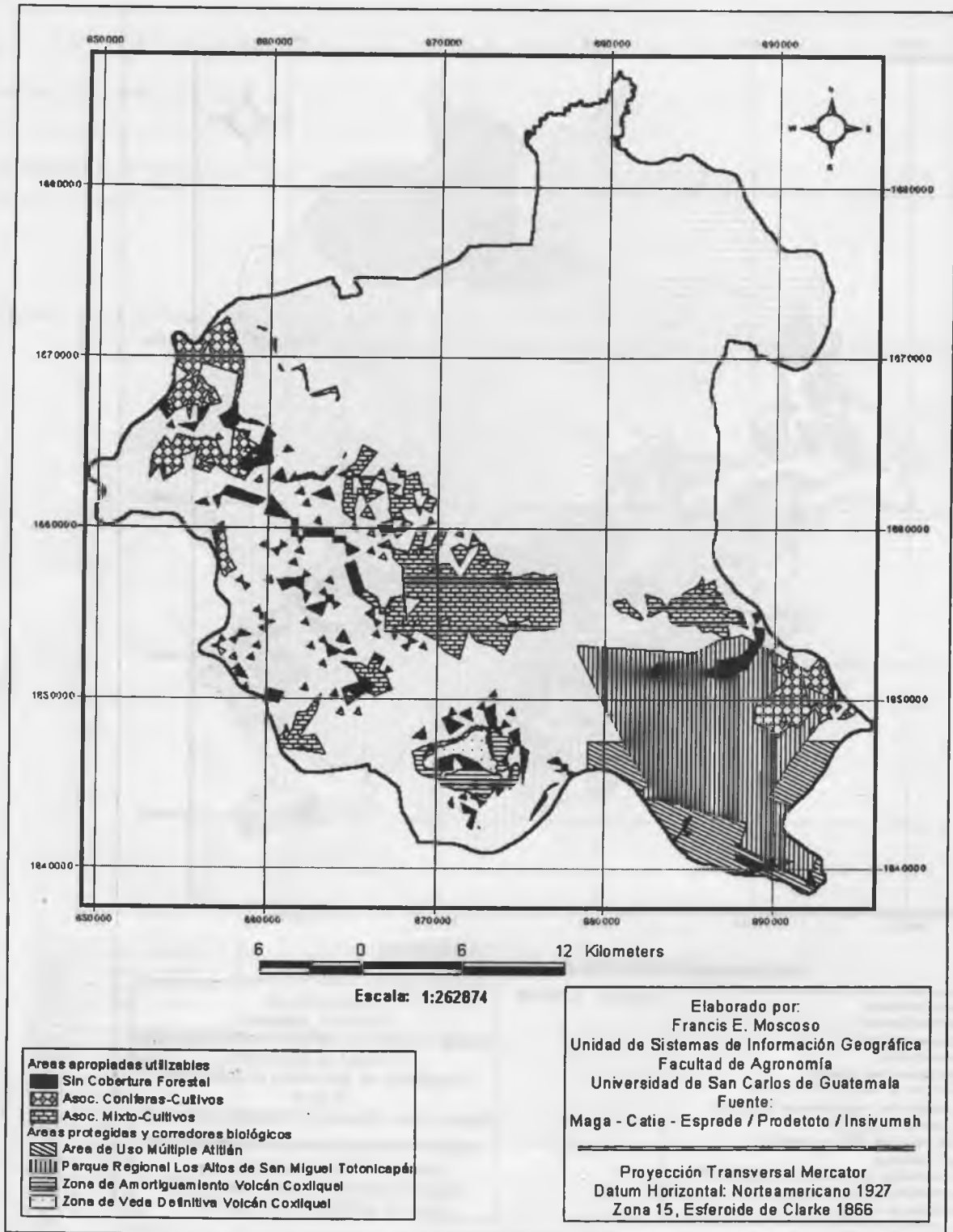
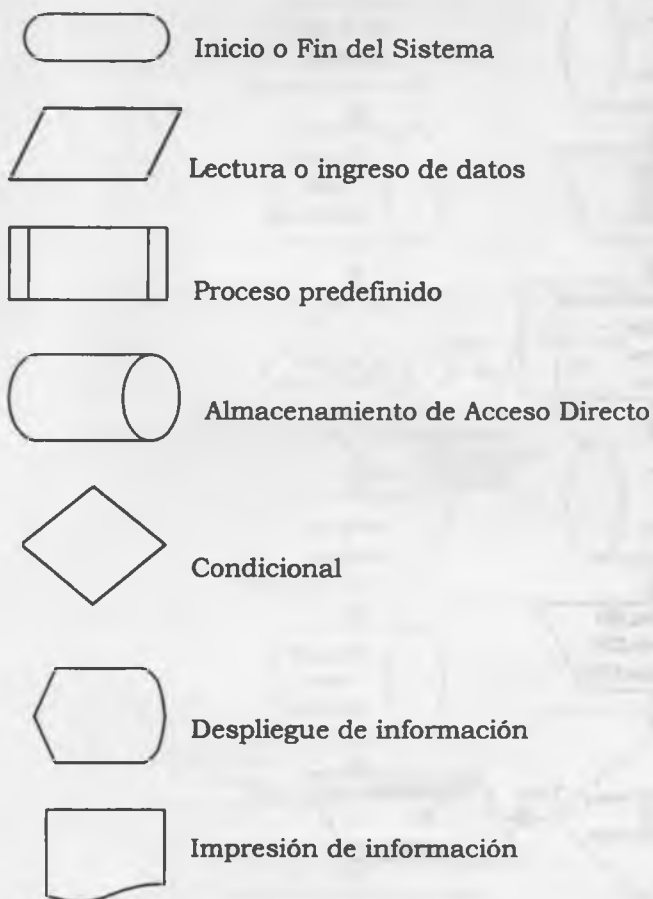


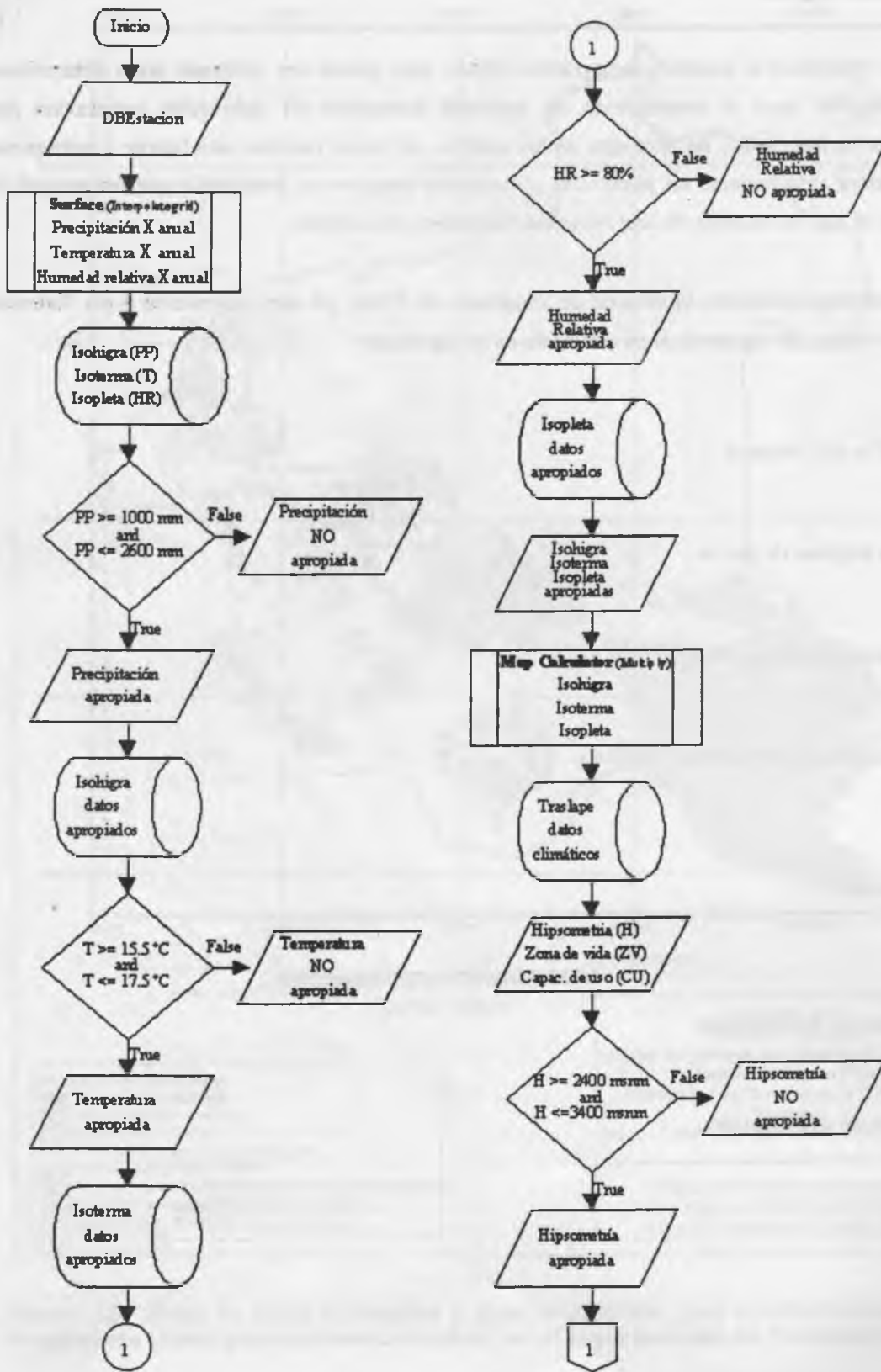
Figura 15. Mapa de Áreas Protegidas y áreas utilizables para el establecimiento de plantaciones de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.

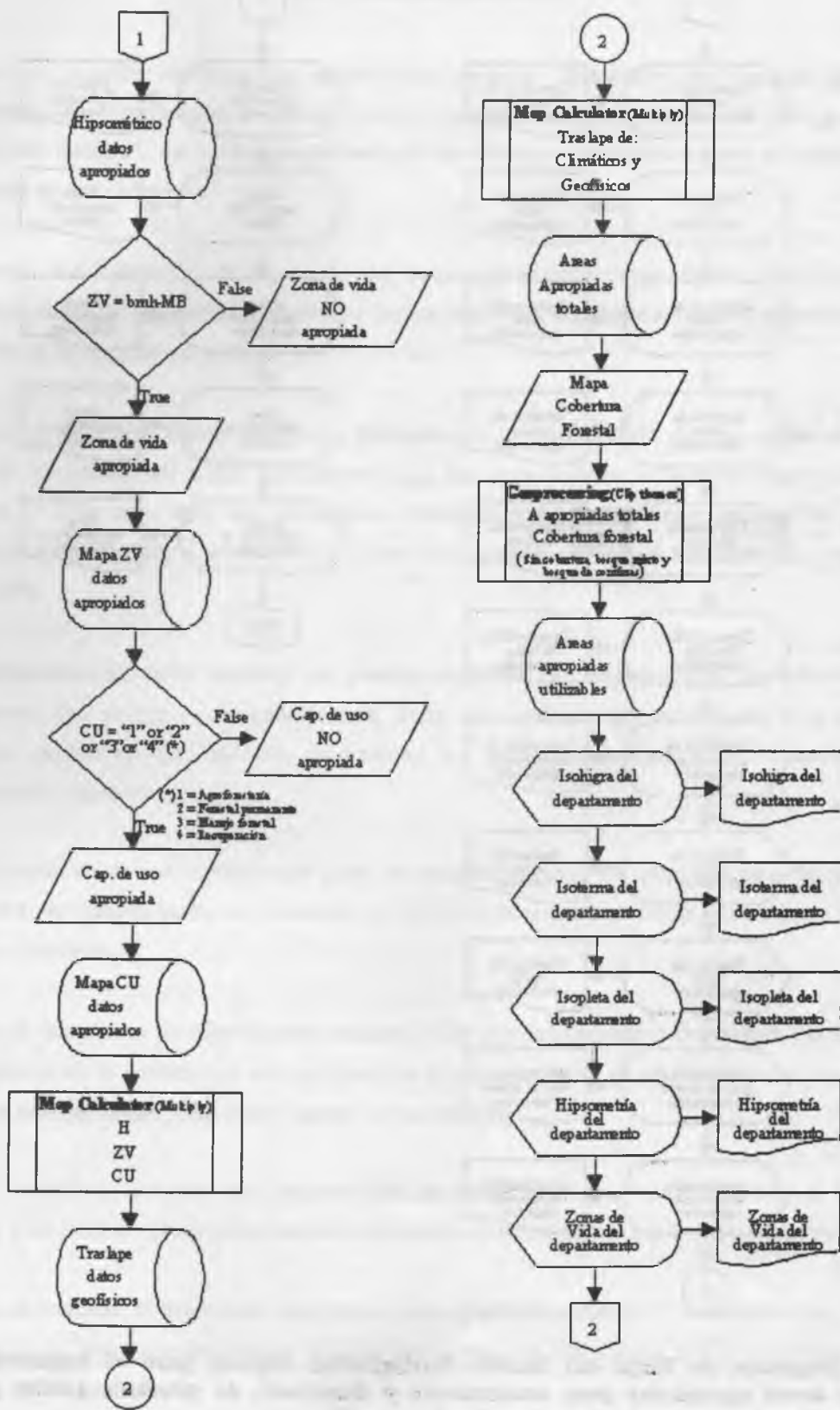
## 6.6 Modelo cartográfico digital

Finalmente, se pudo establecer el modelo cartográfico digital, que puede ser utilizado para determinar las condiciones favorables para el crecimiento de especies forestales en diferentes escenarios del territorio nacional. En la figura 16, se muestra dicho modelo, al cual, pueden cambiarse o agregarse variables específicas para una especie en particular obteniendo siempre un resultado que favorecerá la toma de decisiones en el uso sostenible de los recursos naturales renovables.

El modelo ha sido graficado utilizando la técnica de Diagrama de Flujo, ya que representa a un Sistema Computarizado, por lo tanto, la nomenclatura utilizada es la siguiente:







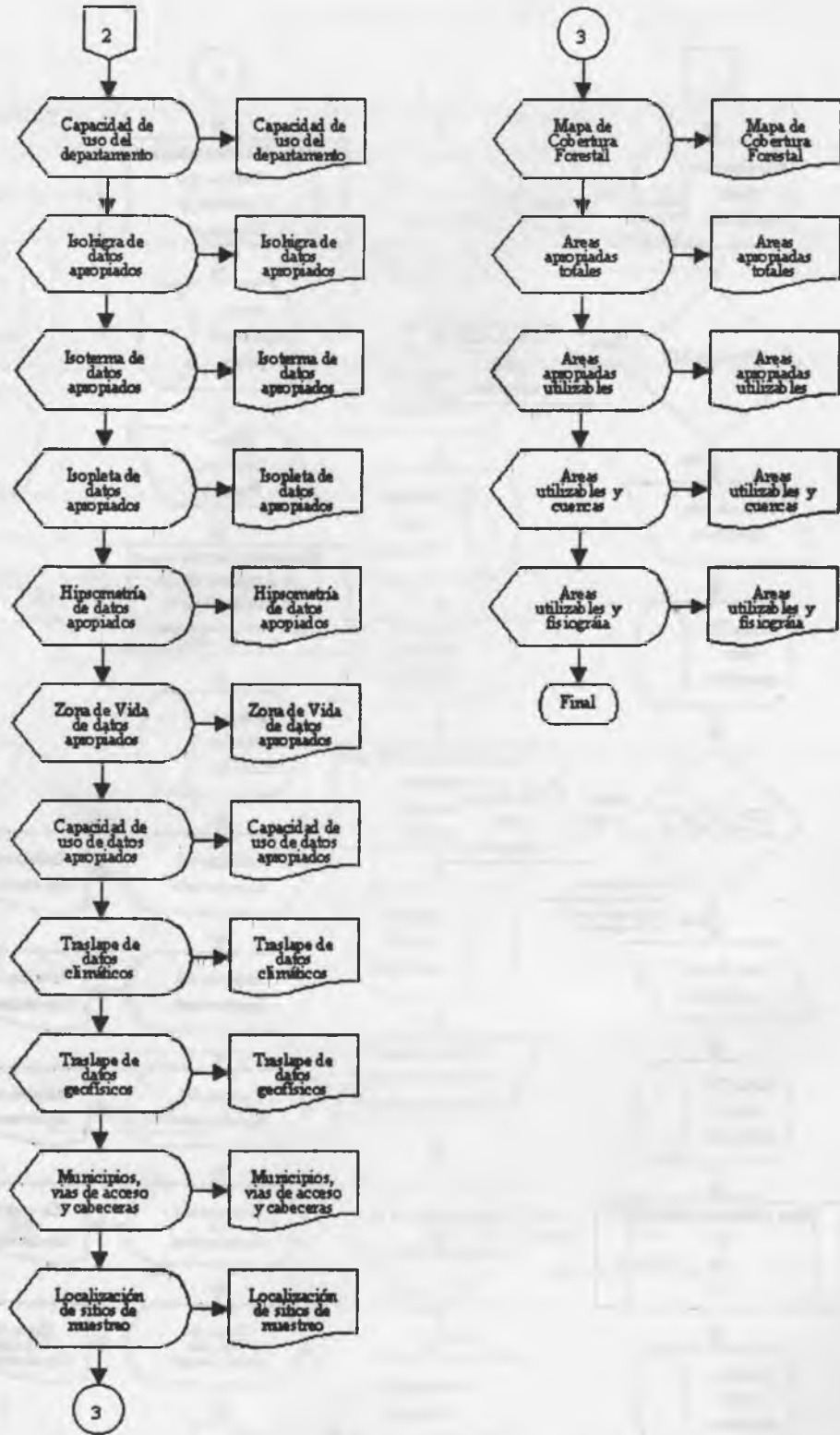


Figura 16. Diagrama de Flujo del Modelo Cartográfico Digital, para el Registro, Ubicación y Consulta de áreas apropiadas para crecimiento y desarrollo de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), en el departamento de Totonicapán, Guatemala.

## VII. CONCLUSIONES

1. Se elaboró el modelo cartográfico digital que permite establecer los lugares geográficos del departamento de Totonicapán, donde puede localizarse bosques mixtos de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), así como las áreas con condiciones apropiadas para el establecimiento de plantaciones de esta especie.
2. Se generaron las bases de datos, tanto de mapas temáticos como datos alfanuméricos, con la información climática y geofísica relativa a las condiciones necesarias para el adecuado crecimiento y desarrollo de la especie en estudio.
3. De acuerdo al análisis digital realizado, así como a la verificación de las zonas de distribución natural del pinabete, se pudo establecer que las condiciones climáticas apropiadas para su crecimiento y desarrollo son las siguientes: Precipitación pluvial entre los 1,000 y 2,600 mm.; temperatura media anual entre los 15.5 y los 17.5 grados centígrados y humedad relativa igual o mayor al 80%.
4. Con la aplicación de éste modelo, es posible mejorar las experiencias de reforestación en el departamento, las cuales en el pasado han dado resultados poco satisfactorios al no contar con información apropiada que permita determinar las zonas adecuadas para el establecimiento de plantaciones de pinabete.
5. La mayor parte de zonas apropiadas para el establecimiento de plantaciones de pinabete en el departamento de Totonicapán, se localizan en tierras que actualmente se encuentran dedicadas a la agricultura intensiva.
6. La mayoría de las zonas de distribución natural y las que reúnen las condiciones apropiadas para el establecimiento de la especie ya sea en bosques puros o mixtos, se encuentran en las cabeceras de las cuencas hidrográficas y los parte aguas de las mismas.
7. Existe un acelerado proceso de degradación genética de ésta especie debido a la presión de mercados y a la falta de programas conservacionistas diseñados para este tipo de bosque.
8. De acuerdo al modelo, el área total apropiada para el establecimiento y desarrollo del pinabete en el departamento de Totonicapán, es de 23,786 hectáreas, de las cuales 9,927 hectáreas ya cuentan con alguna cobertura forestal.

## VIII. RECOMENDACIONES


1. Todas las bases de datos generadas, deben ser actualizadas periódicamente para que la información obtenida pueda ser real en cualquier tiempo y minimizar así los márgenes de error en la planificación de planes, programas o proyectos de reforestación en la zona.
2. Se deben generar metodologías e implementar programas que permitan la obtención de información climática actualizada, así como agilizar los canales de comunicación que están relacionadas con la meteorología para poder actualizar las bases de datos existentes.
3. Deben desarrollarse programas de ordenamiento territorial municipal, que conlleven a un cambio en el uso de la tierra y una adecuada utilización de los recursos naturales renovables.
4. Las normativas relacionadas con áreas protegidas o aquellas relacionadas con el uso comunitario del recurso bosque, deberán ser evaluadas a efecto de hacerlas más acordes a la realidad nacional.
5. Para minimizar el deterioro de la tierra por la actividad agrícola, se debe impulsar un programa de Incentivos Forestales orientado hacia la conservación "in situ" del pinabete dentro del Sistema de Bosques Comunales, así como desarrollar una figura comercial por servicios ambientales y/o captación de carbono.
6. El impulso de aquellos trabajos de investigación, a través de los Sistemas de Información Geográfica proporcionará información de vital importancia en la toma de decisiones ya que facilitan el análisis espacial y el manejo de datos alfanuméricos con su respectiva integración.
7. Divulgar la información generada por el modelo a través de la capacitación de promotores comunitarios, alcaldes auxiliares, cooperativas o a nivel de cofradías. Lo anterior, permitirá tomar mejores decisiones en cuanto al uso racional y sostenible de la tierra, utilizando plantaciones de pinabete.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- 1) ALVAREZ D. V. 1993. Estudio de la reducción del bosque de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) y sus condiciones microclimáticas de germinación in situ en Palestina de los Altos, Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 86 p.
- 2) AZURDIA PEREZ, C. A. 1995. Caracterización de algunos cultivos nativos de Guatemala. Guatemala, ICTA. 166 p.
- 3) AZURDIA PEREZ, C. A.; SALAN GONZALEZ, M. 1986. Informe final del proyecto de recolección de algunos cultivos nativos de Guatemala. Guatemala, ICTA. 229 p.
- 4) BALCARCEL SOLARES, C. A. 1992. Estudio del bosque pinabete y su relación con la población en la aldea "El Edén" Palestina de Los Altos, Quetzaltenango, Guatemala. EPSA-II. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 79 p.
- 5) BURROUGH, P. A. 1991. Geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Gran Bretaña, McAllister. 194 p.
- 6) GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS. 1996. Geographic information systems and the plant germoplasm collector. Oxford, Gran Bretaña, McAllister, 140 p.
- 7) GODOY, J. C.; CARDONA, J. 1996. Corredores ecológicos para Guatemala.; propuesta técnica para desarrollar el Sistema Guatemalteco de Areas Protegidas y Corredores Ecológicos. Informe de País. Guatemala, CONAP. 76 p.
- 8) GONZALEZ, J. H. 1979. Caracterización de la comunidad de pinabete en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 72 p.
- 9) MAXTED, N.; SLAGEREN, M. W. VAN; RIHAN, J. R. 1982. Ecogeographic surveys and biological sciences. Birmingham, Edgbston. 33 p.
- 10) SABORIO B. J. 1993. Introducción a los sistemas de información geográfica. In: Curso Internacional de Sistemas de Información Geográfica y Manejo de Cuencas (2., 1993, Turrialba, Costa Rica). Costa Rica, CATIE. P. 17-22
- 11) SANCHEZ E., O. A. 1993. Determinación de áreas críticas mediante sistemas de información geográfica en la cuenca del Río Reventado, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 116 p.
- 12) STRAHLER, A. 1982. Geografía física. Barcelona, España, OMEGA. 780 p.
- 13) UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID. 1997. Curso práctico sobre sistemas de información geográfica. Montes, España. 82 p.

- 14) VELASQUEZ, M. S. 1994. Sistemas de información geográfica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 164 p.
- 15) VELIZ ZEPEDA, E. R. 1,996. Comparación de metodologías de capacidad de uso de la tierra en la cuenca del Río Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 165 p.
- 16) ZAPETA BAQUIAX, J. 1,986. Diagnóstico del departamento de Totonicapán, Guatemala. Totonicapán, Guatemala, PRODETOTO. 184 p.

*Jo. Co*  
*Patawali*

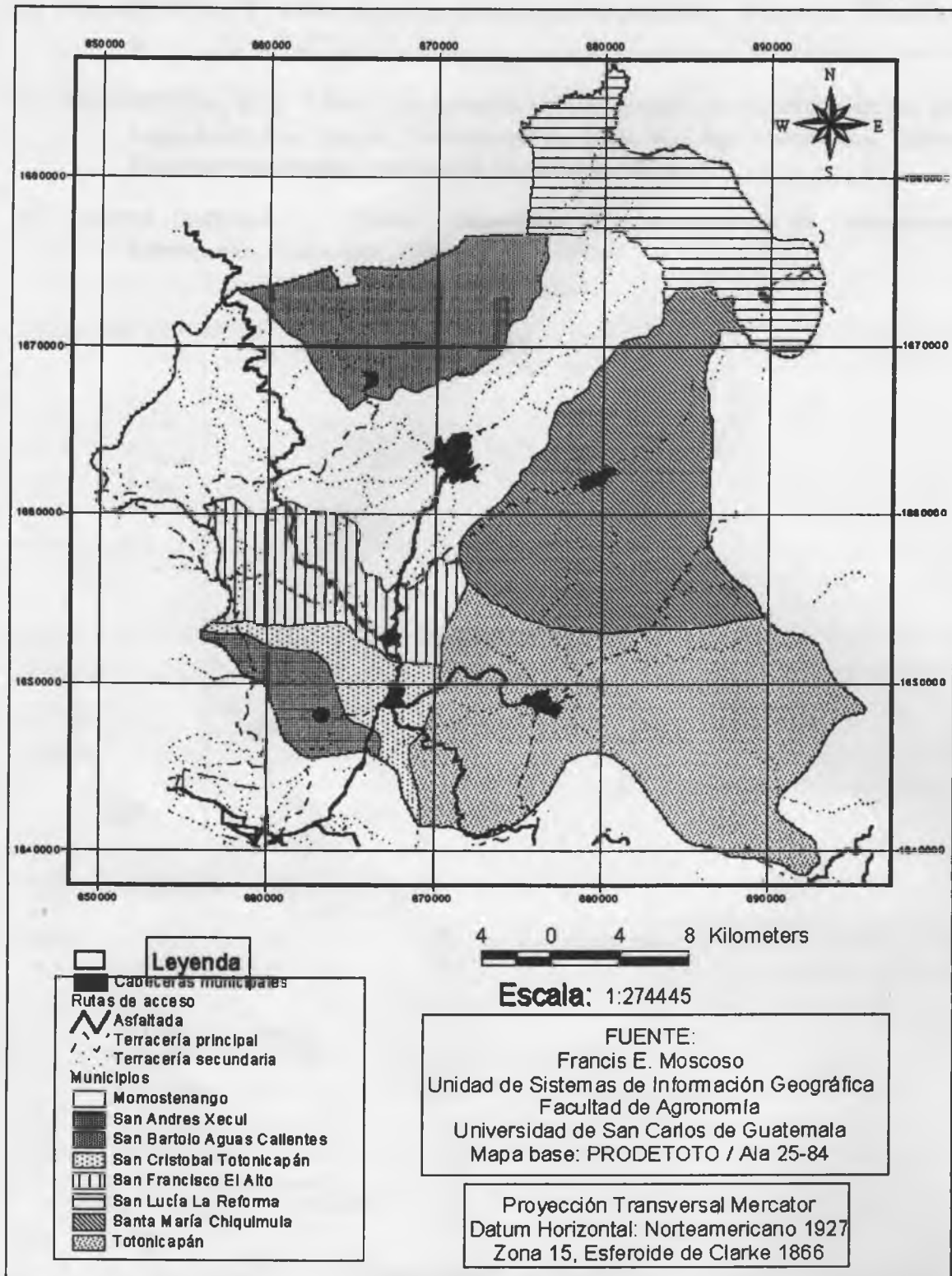




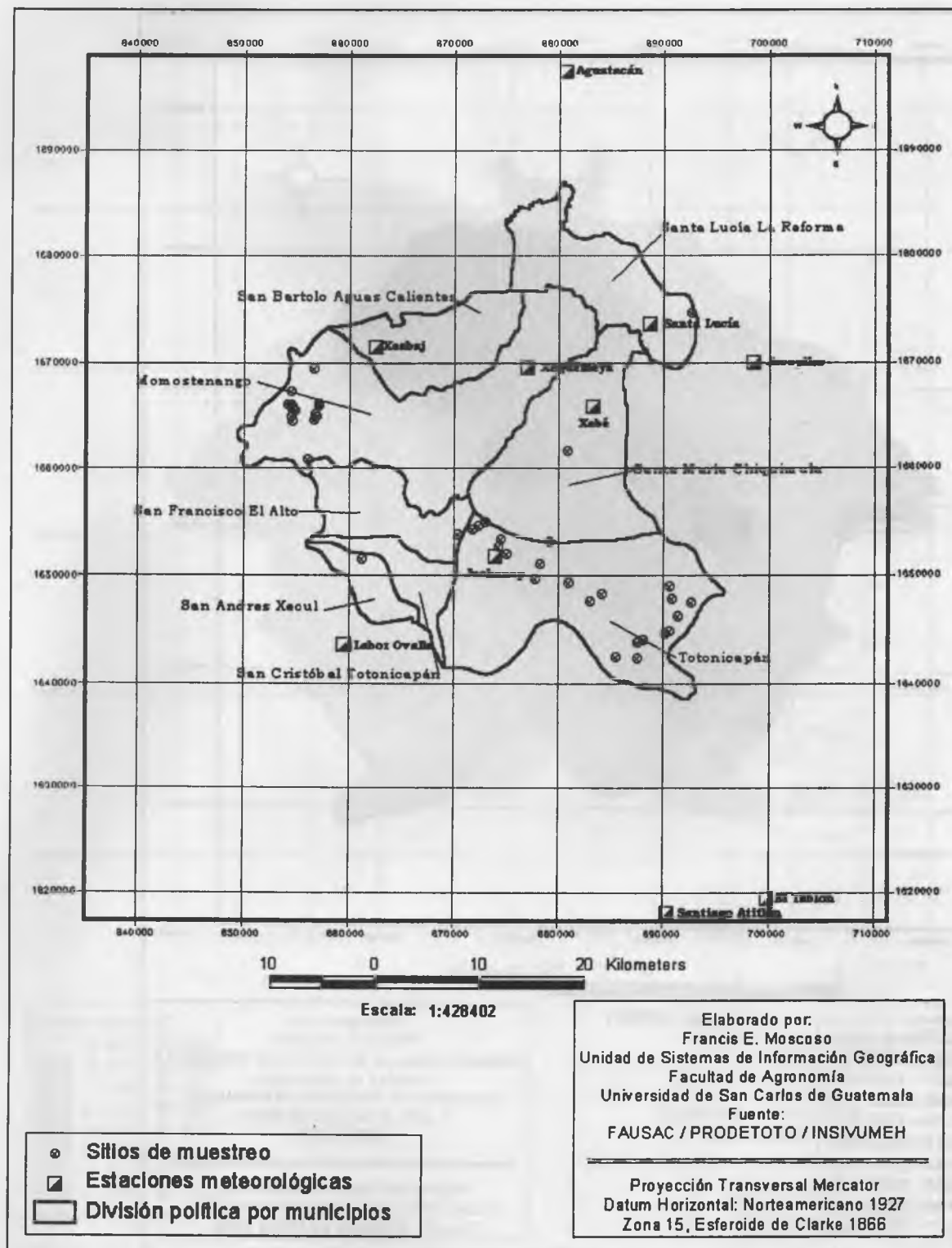
**X. APÉNDICE**

APÉNDICE	
CONTENIDO	
1.	...
2.	...
3.	...
4.	...
5.	...
6.	...
7.	...
8.	...
9.	...
10.	...

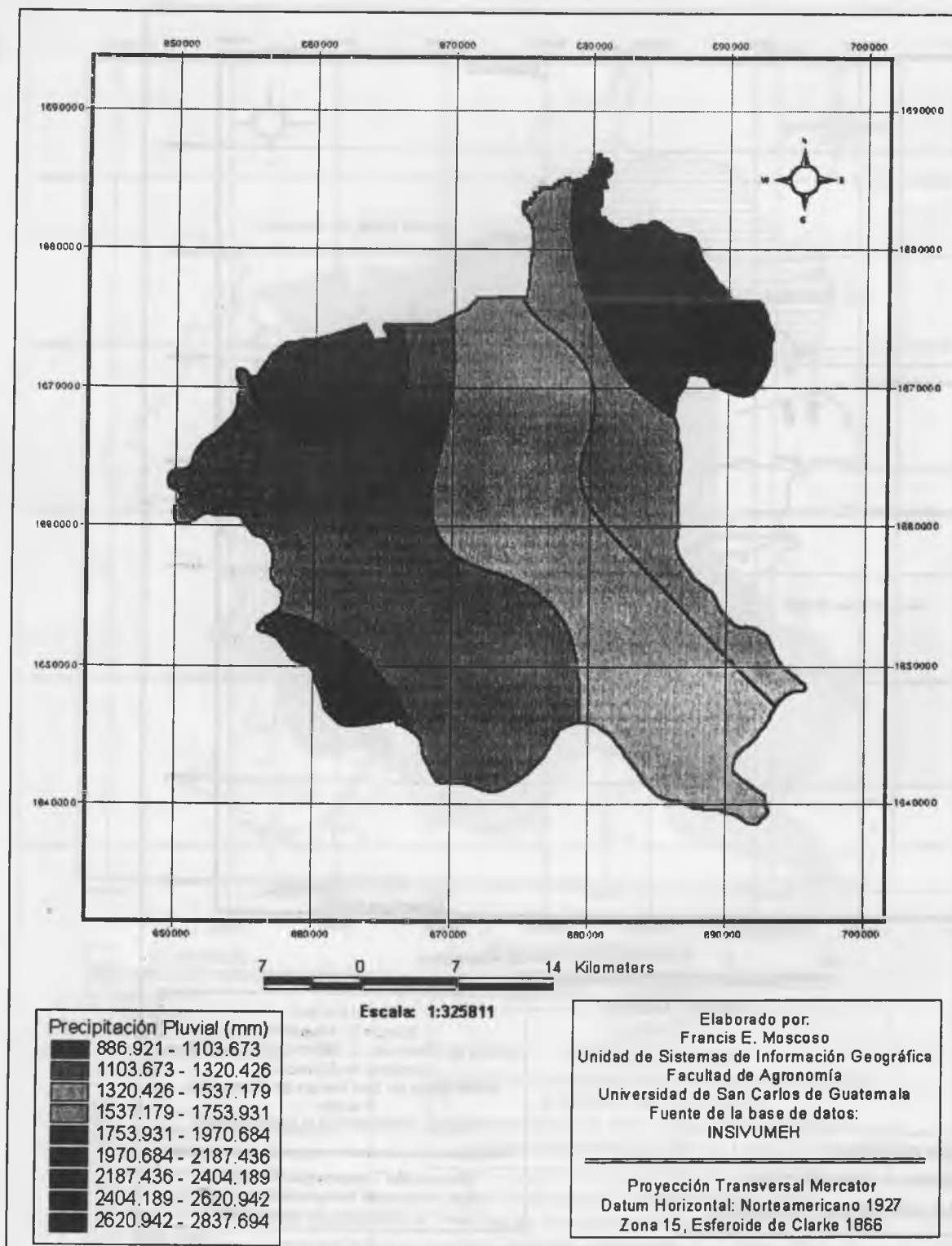
Este mapa fue elaborado por el Departamento de Geografía de la Universidad de Sevilla, a partir de los datos proporcionados por el Sr. D. ...



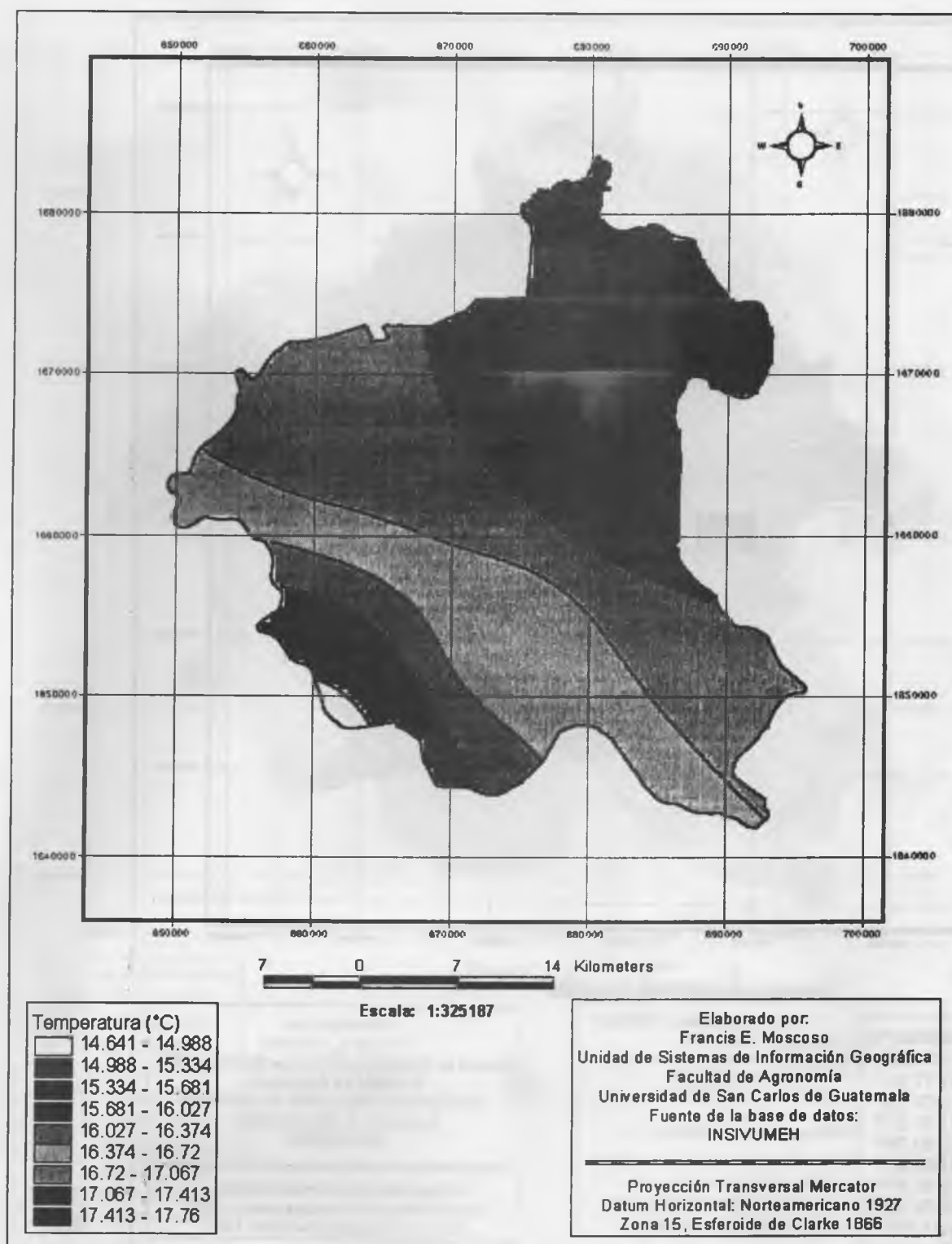
**Figura 17. Mapa de las Cabeceras Municipales y Vías de Acceso, del departamento de Totonicapán, Guatemala.**



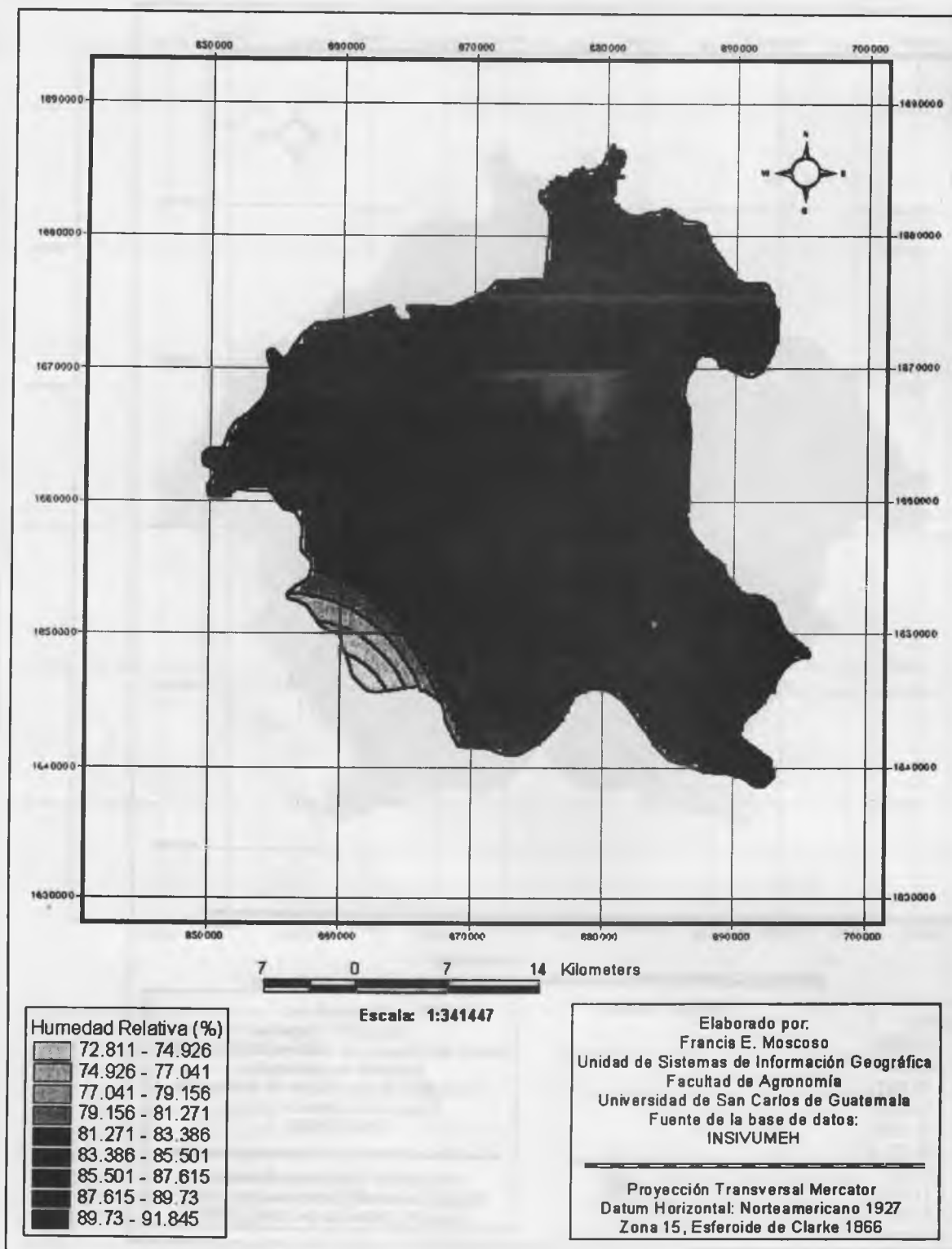
**Figura 18. Mapa de Municipios, Estaciones Meteorológicas y sitios de muestreo de pinabete, (*Abies guatemalensis* Rehder), del departamento de Totonicapán, Guatemala.**



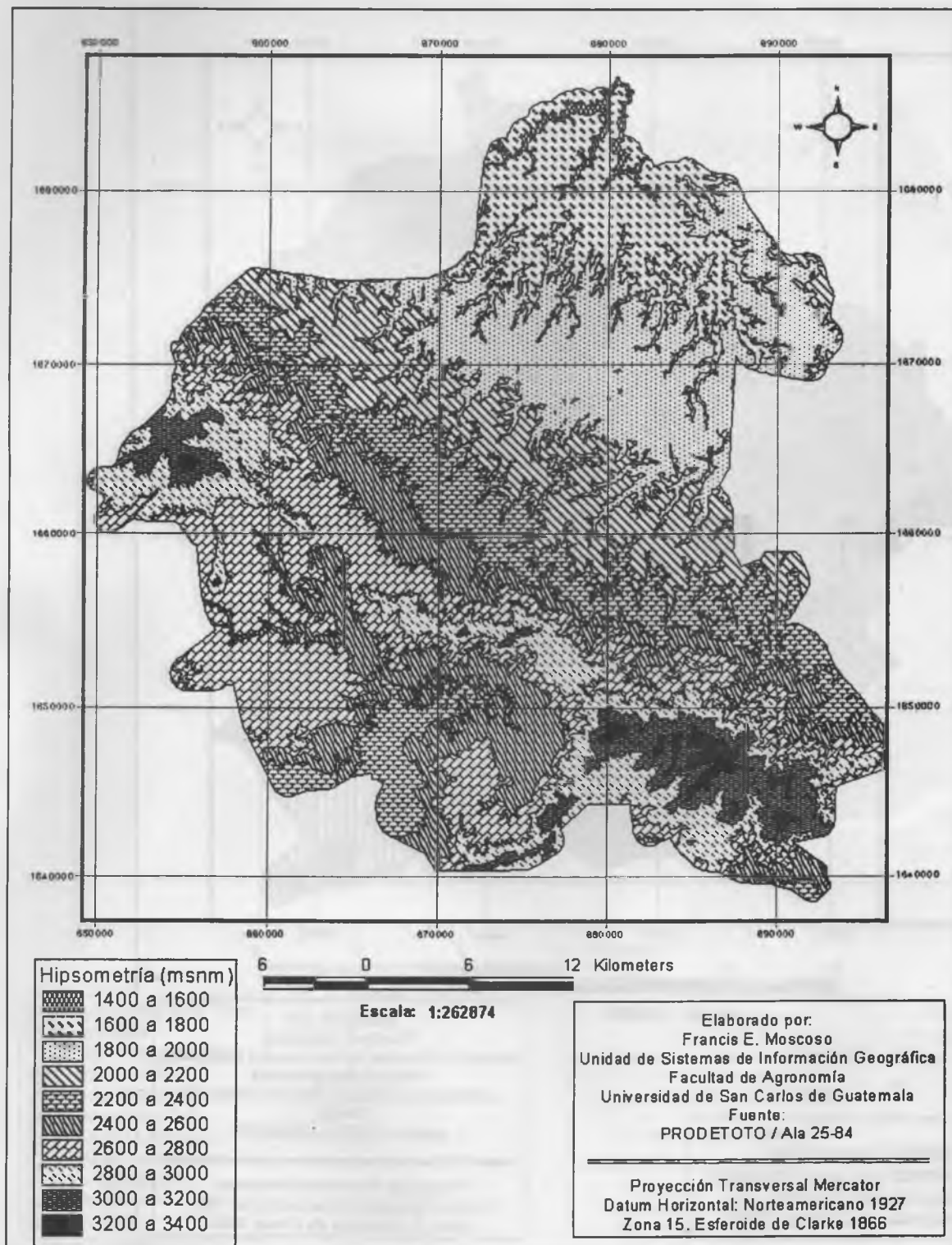
**Figura 19. Mapa de Precipitación Pluvial media anual, en el departamento de Tonicapán, Guatemala.**



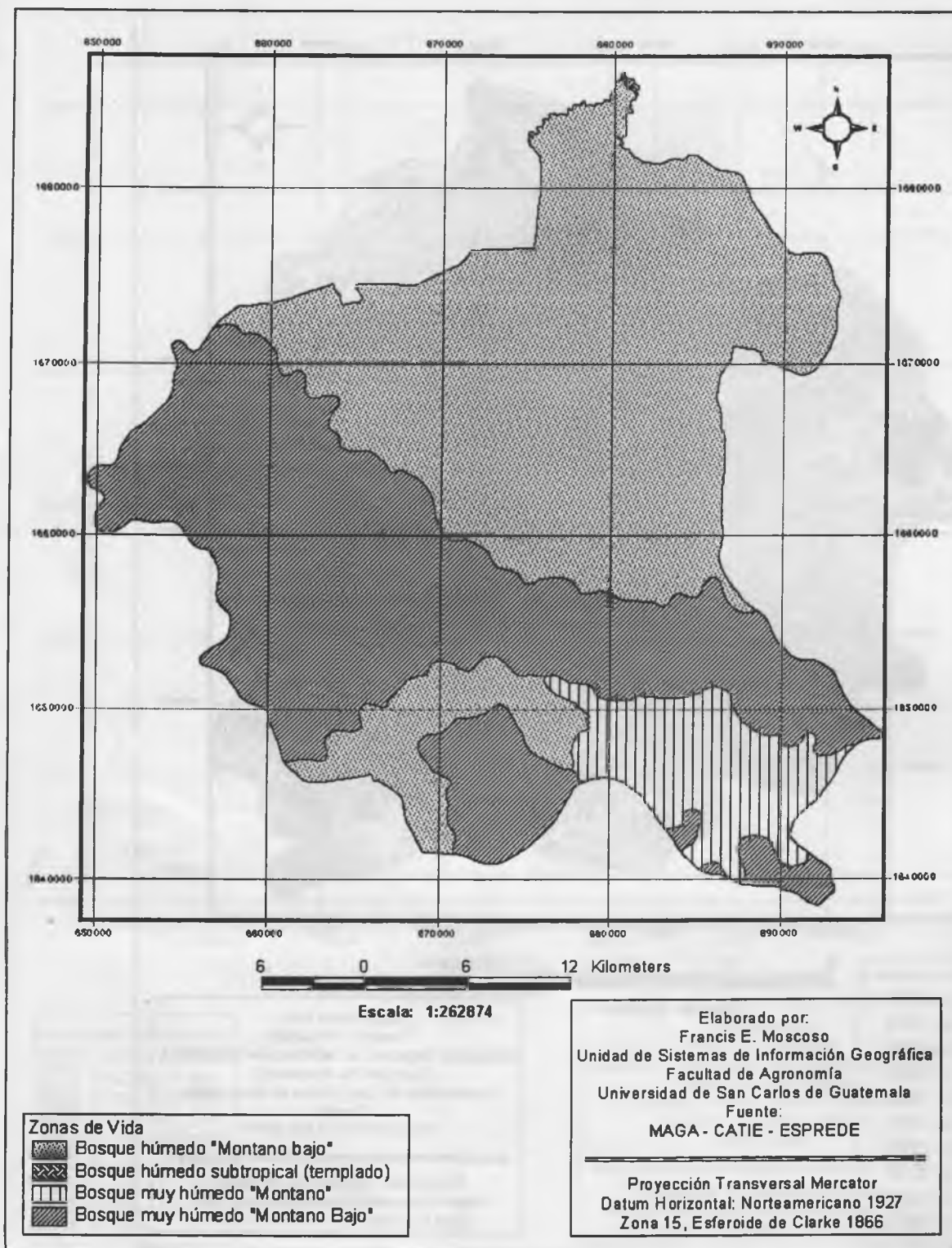
**Figura 20. Mapa de Temperatura media anual, en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**



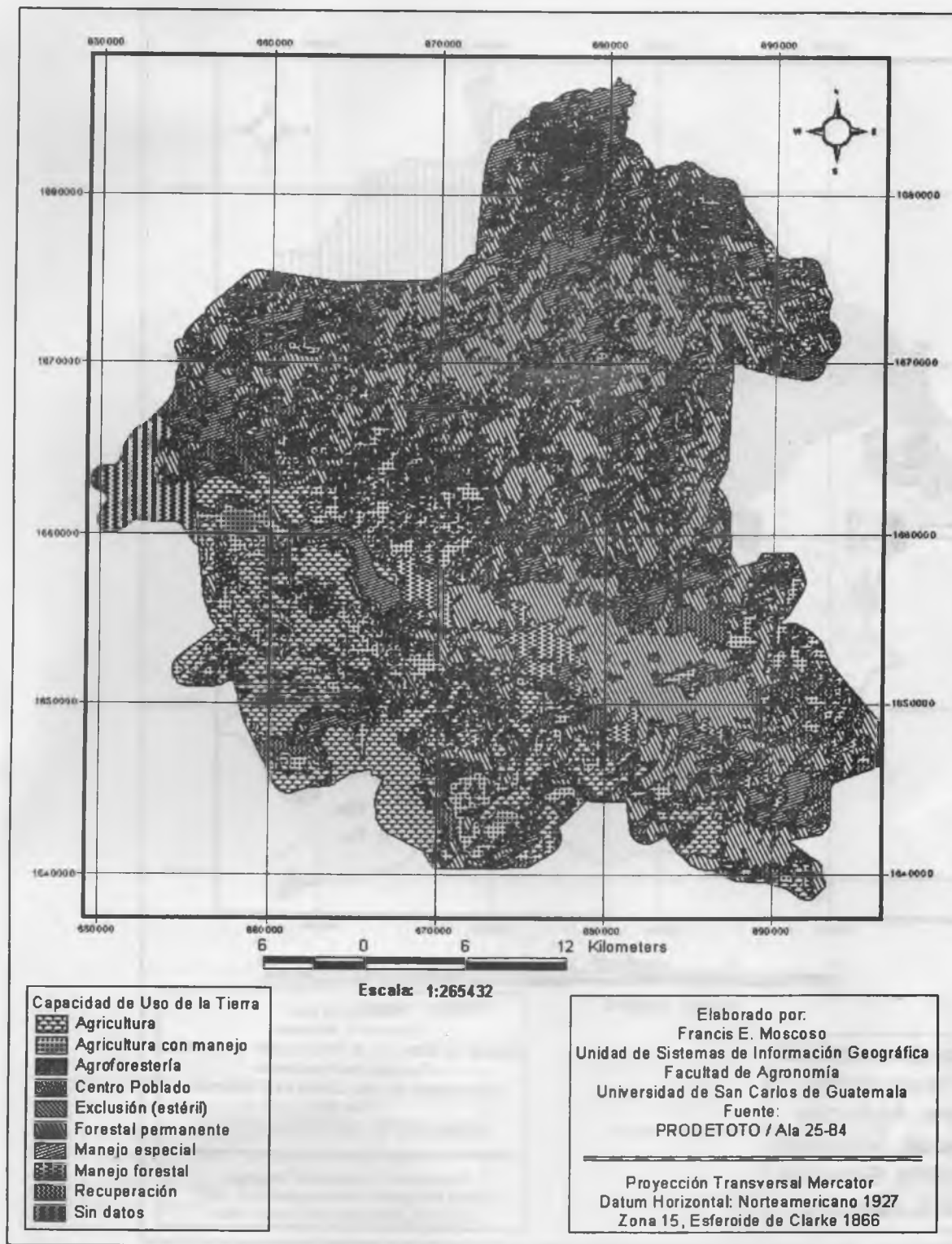
**Figura 21. Mapa de Humedad Relativa media anual en el departamento de Tonicapán, Guatemala.**



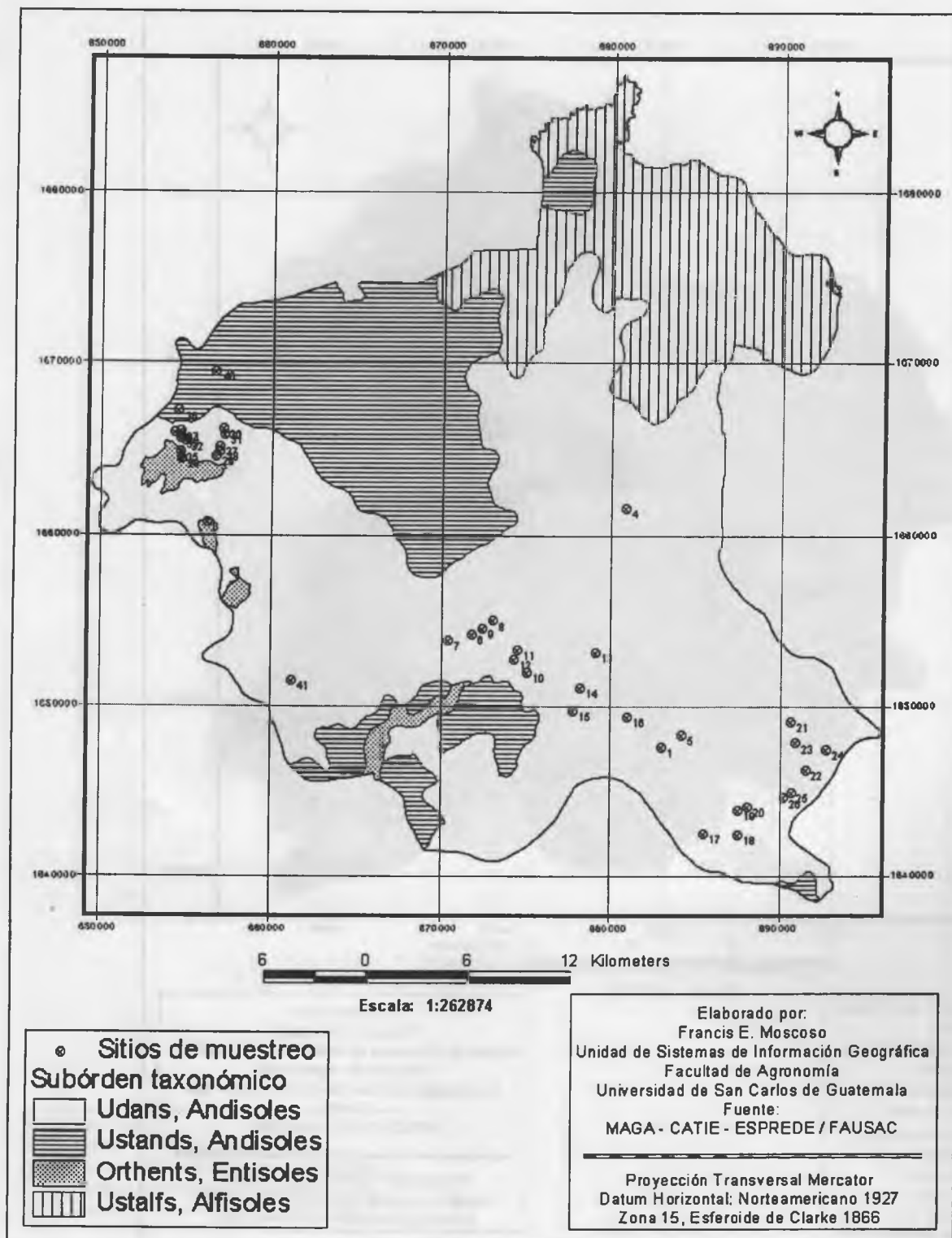
**Figura 22. Mapa hipsométrico del departamento de Totonicapán, Guatemala.**



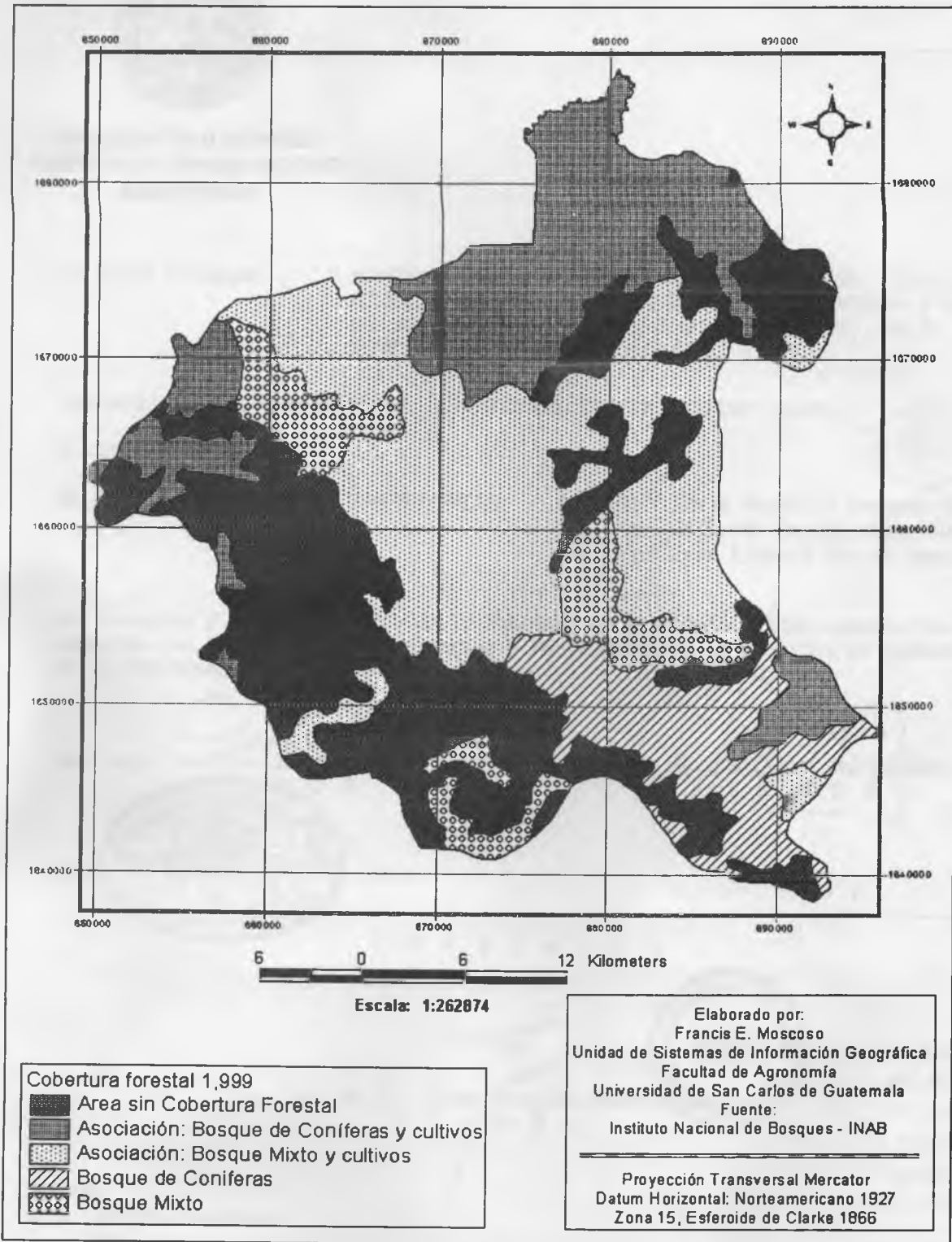
**Figura 23. Mapa de Zonas de Vida en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**



**Figura 24. Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**



**Figura 25. Mapa de la Clasificación taxonómica de suelos a nivel de Suborden, en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**



**Figura 26. Mapa de Cobertura Forestal para el año de 1,999 en el departamento de Totonicapán, Guatemala.**



FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: " MODELO CARTOGRAFICO DIGITAL PARA EL REGISTRO, UBICACION Y CONSULTA DE AREAS APROPIADAS PARA EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PINABETE (Abies guatemalensis Rehder), EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPAN, GUATEMALA."

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: FRANCIS ERNESTO MOSCOSO CELADA

CARNET: 8816896

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Ervin Maxdelio Herrera de León  
Ing. Agr. Gilberto Daniel Alvarado Cabrera  
Ing. Agr. Ivan Dimitri Santos Castillo

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. Edwin/Guillermo Santos Mansilla  
A S E S O R

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes  
A S E S O R

Dr. Ariel Arce-Ramírez Ortiz López  
DIRECTOR DEL IIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

I M P R I M A S E

Ing. Agr. M. Sc. Edgar Oswaldo Franco  
D E C A N O



AOL/rm  
c.c. Control Académico  
IIA  
Archivo

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.  
TEL/FAX (502) 476-9794  
e-mail: [liusac.edu.gt](mailto:liusac.edu.gt) § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>