



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
POSGRADO EN GEOGRAFÍA**

**“ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL *COFFEA ARABICA* EN LA SIERRA
DE ATOYAC, MUNICIPIO ATOYAC DE ÁLVAREZ, ESTADO DE GUERRERO,
MÉXICO”**

**INVESTIGACIÓN DOCTORAL
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
GEOGRÁFICAS**

PRESENTA:

**HUMBERTO ANTONIO GONZÁLEZ GONZÁLEZ
M.C. EN ECOLOGÍA
M.C. DE LA GEO-INFORMACIÓN Y OBSERVACIÓN DE LA TIERRA**

TUTOR PRINCIPAL

JOSE RAMÓN HERNÁNDEZ SANTANA

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTORAL

MANUEL BOLLO MANENT

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL, UNAM

ENRIQUE PROPIN FREJOMIL

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA:

Les dedico mi trabajo de tesis a mis padres María de la Luz González Valdés y Humberto Donato González Sánchez, por contribuir a mi formación profesional y personal y saberme guiar por el camino correcto de la vida, en saber escoger la ruta adecuada del trabajo profesional e inculcarme en cada momento, abnegación, dedicación, entrega y disciplina a cada trabajo y actividad que me desempeñé.

Le dedico mi trabajo de tesis a mi esposa Elizabeth Beltrán Sánchez, por haber estado compartiendo conmigo todos los momentos de elaboración y entrega en mi trabajo, y ser un ejemplo de abnegación y dedicación en su actividad académica, que me ayudó a poder concluir mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco enormemente a mi tutor de tesis, el Dr. José Ramón Hernández Santana, por mostrarme su confianza a la hora de aceptar la dirección de la tesis y apoyarme con sus conocimientos, dedicación, disciplina en la elaboración y culminación de este trabajo.

Le agradezco a mi esposa Elizabeth Beltrán Sánchez, por ser un ejemplo de abnegación y dedicación en su actividad académica, que me ayudó a poder concluir mi tesis.

Le agradezco a los Doctores Manuel Bollo Manent y Enrique Propín Frejomil por haber aceptado formar parte de mi Comité Tutoral y ser mis sinodales, así como por su labor de asesoría. Le agradezco a la Dra. Mary Francés Teresa Rodríguez Van Gort y al Dr. Víctor. L. Barradas Miranda, por formar parte de ser mis sinodales y contribuir a mejorar la calidad de mi tesis en función de revisores.

Le agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al Instituto de Geografía de la UNAM, a la Coordinación del Posgrado de Geografía y a los profesores que me impartieron los módulos docentes, y por haberme escogido para poder realizar este prestigioso Posgrado y concluirlo.

Le agradezco a mis grandes amigos Mario Morlet, Mario Hernández e Iván Briseño Hernández por aportarme información importante en la elaboración de mi trabajo.

Le agradezco a la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), a los compañeros profesores de la Licenciatura en Geografía, de la Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, por haber contribuido a mi formación profesional para poder integrarme al posgrado y poder elaborar mi tesis.

Le agradezco mucho a mis compañeros de trabajo de la Licenciatura en Desarrollo Regional de la Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional No 2, Campus “El Pericón”, de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro); Leticia Bibiano Mendoza, Consuelo Montalvo Márquez; Eleuterio Arco Loreto; Oscar Figueroa Wences, Marcos Eymard Cortés Gaspar; Columba Rodríguez, por haberme apoyado en la elaboración de mi trabajo de tesis.

Agradezco además, a todas aquellas personas que sin mencionar su nombre me hayan aportado mucho y apoyado en la elaboración y culminación de mi trabajo.

Le agradezco enormemente a Dios por ayudarme también en la culminación de mi trabajo, dándome cada día fuerza, energía, voluntad, valor, apoyo, confianza, seguridad, salud y dedicación e inculcándome abnegación y disciplina para poder realizar este trabajo de tesis.

Contenido

DEDICATORIA:	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	9
ANTECEDENTES	12
Períodos del desarrollo de la cafecultura en México.....	13
Etapa de 1790-1850. La llegada y establecimiento del café en la Nueva España y México	13
Etapa de 1830-1940. El desarrollo y crecimiento de las haciendas y los ranchos.	15
Etapa de 1941-1961. El fraccionamiento de las grandes propiedades.....	17
Etapa de 1962-1989. El período del mayor auge de la producción cafetalera.	18
Época reciente de 1990-2010. La inestabilidad y aumento de precios.	19
HIPÓTESIS:.....	22
OBJETIVO GENERAL.....	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
CAPÍTULO I	24
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.....	24
I.1. Conceptos y principios básicos del enfoque sistémico y su significado en las investigaciones aplicadas.....	24
I.1. 1. Introducción al enfoque sistémico	24
I.1.2. La interrelación de la zonificación de la especie <i>Coffea arabica</i> con respecto al medio físico que le rodea.	26
I.2. Metodología de las investigaciones.	33
I.3 Plataforma del SIG.....	39
I.4 Principales experiencias nacionales e internacionales: espectro de enfoques en la zonificación agroecológica cafetalera.	43
I.5 ÁREA DE ESTUDIO	52
CAPÍTULO II	57

CAPÍTULO II. PARCELAS CAFETALERAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	57
II.1. Distribución y caracterización de las parcelas de cultivo de café en el área de estudio.	57
II.2. Relieve	57
II.3. Unidades de Suelos	61
II.4. Clima.....	65
II.5. Tipos de Vegetación	70
CAPÍTULO III	73
Capítulo III: ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL COFFEA ARABICA EN LAS MONTAÑAS DEL MUNICIPIO ATOYAC DE ÁLVAREZ, GUERRERO, MÉXICO.	73
III.1. Introducción	73
III.2. Condiciones eco-geográficas.....	74
III.3. Sistemas de Cultivos de Café.....	75
III. 4. Cafetal bajo sombra	78
III. 5. Caracterización de los factores agroecológicos.	79
III. 5.1. Relieve	80
III.5.2. Clima.....	84
III. 5.3. Temperaturas y Precipitación pluvial.....	89
III.5.4. Suelos	93
Acrisol.....	94
Cambisol.....	95
Feozem	96
Litosol	97
Regosol	98
Texturas.....	99
III.6. Elaboración de las bases digitales principales.....	103
III.6.1. Relieve	103
III.6.2. Precipitación.....	103
III.6.3. Temperatura.....	104
III.6.4. Edafología.....	104

III.7. Bases para la obtención de los potenciales físico-geográficos.	105
III.7.1. Establecimiento de potenciales físico-geográficos para la zonificación agroecológica de <i>Coffea arabica</i>	106
Potencial hipsométrico	108
Potencial de pendiente	112
Potencial de precipitación pluvial	115
Potencial de temperatura	118
Potenciales de suelos	121
Potencial para las claves de suelos	126
III.8. Zonificación Agroecológica del <i>Coffea arabica</i>	130
III.8.1. Establecimientos de las variables.....	133
Variable de relieve.....	133
Variable de clima.....	136
III.8.2. Cruce de las variables.....	139
III.9. Zonificación agroecológica final.....	143
III.9.1. Rendimientos esperados a partir de la zonificación agroecológica.....	146
CAPÍTULO IV	153
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LAS PARCELAS CAFETALERAS CON RESPECTO A LA ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL COFFEA ARABICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	153
IV.1. Potenciales de las parcelas que se encuentran dentro de la zonificación agroecológica. .	153
IV.2. Análisis de los potenciales de las parcelas con respecto a los potenciales de la zonificación agroecológica del área de estudio.	163
CONCLUSIONES	171
RECOMENDACIONES	174
BIBLIOGRAFÍA.....	175
ANEXOS	187

INTRODUCCIÓN

Las áreas sembradas de café en México ocupan preferentemente los territorios montañosos, cuyas condiciones naturales muestran una alta complejidad. Estas características no limitan, en lo fundamental, el desarrollo del cultivo, que dada su fisiología, presenta un poder de adaptación a las condiciones ecogeográficas de estas zonas.

En estos espacios la incidencia negativa de los agentes naturales y antrópicos han creado mecanismos de inestabilidad. De una parte, la limitación de uso, y por la otra, la creciente demanda de productos agrícolas, que ha impuesto estas exigencias excesivas sobre los recursos naturales, en zonas que poseen un potencial de recursos valiosos para su desarrollo económico y social.

De acuerdo con estadísticas generadas por el Consejo Mexicano del Café hasta el año 2001, en el país había alrededor de 282,600 productores de café que cultivaban una superficie aproximada de 761,160 ha. De este total de productores, un 92 % (260, 000) son campesinos minifundistas con predios menores a las 5 ha. Dentro de este universo, el 69 % (cerca a los 179,400 productores) tiene huertas de dos ó menos hectáreas; y de este 69 %, 116,600 pertenecen a algún grupo indígena (Servicios Profesionales Integrales para el Desarrollo Regional, 2006).

El café mexicano es eminentemente un cultivo de pequeños productores campesinos que en buena medida pertenecen a alguno de los grupos indígenas existentes en el país. Por lo que, aparte de su relevancia económica por el valor comercial de la producción que aportan, tienen una gran importancia social por el número de familias que dependen del cultivo (Servicios Profesionales Integrales para el Desarrollo Regional, 2006).

La mayor problemática que se presentan en los cafetales es la edad avanzada, así como la presencia de broca, no aplicar fertilizante y realizar prácticas agrícolas inadecuadas ocasionando que se vaya perdiendo el suelo, el mal manejo de sombra, plagas y especies de árboles que no son las adecuadas para brindarle sombra al cafetal y en estos momentos se presenta un problema fitosanitario que se ha ido desplazando a lo largo del territorio, el barrenador del tallo, el cual es un campo de oportunidad para las innovaciones al no haber tecnología en México para el control de esta plaga.

En relación a los aspectos económicos, se menciona el alto costo en insumos agrícolas y jornales, viéndose realmente afectados en su economía, porque el café no tiene una estabilidad en su precio y lo reciente, aún más, debido a que los apoyos por parte del gobierno no son suficientes para darle un manejo integral al cafetal (SAGARPA, 2011).

Refiriéndonos a factores sociales, se tiene como primer lugar la carencia de mejoras técnicas y áreas cafetaleras muy incomunicadas, aspecto muy mencionado, debido a que existen zonas rurales marginadas y altamente marginadas, a donde no llegan apoyos gubernamentales, asistencia técnica especializada ni existe aplicación de tecnologías ni transferencia de ellas (SAGARPA, 2011).

Por último tenemos el cambio climático y deforestación como problemas ambientales, que se han ido agravando con el tiempo, y en donde se requiere implementar una educación ambiental en los grados escolares básicos para ir creando conciencia, asociado al manejo sustentable en el cafetal (SAGARPA, 2011).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, después del petróleo, el café constituye la segunda materia en importancia que se comercializa en el mercado mundial y es la principal fuente de divisas del sector agrícola. A esto se añade la circunstancia de ser uno de los cultivos más extendidos después del maíz, sorgo y frijol, del cual depende el ingreso y bienestar social de un considerable número de pequeños productores agrícolas del país (Servicios Profesionales Integrales para el Desarrollo Regional, 2006).

La necesidad de los principales países exportadores (dentro de los cuales México ocupa el quinto lugar) de dar salida a su producción de café y con ello aumentar el ingreso de divisas, ha generado el incremento de la oferta al punto de saturar el mercado mundial haciendo descender los precios. Esta situación no tiene a la vista una solución inmediata, sobre todo por la ausencia de mecanismos que regulen la oferta y los precios, como en el pasado aconteció con la actuación de la Organización Internacional del Café (OIC) (Servicios Profesionales Integrales para el Desarrollo Regional, 2006).

Brasil, Colombia y Vietnam, están compitiendo con fuerza mediante cambios tecnológicos que aumentan rendimientos y bajan costos que les permiten afrontar los bajos precios. Pero sobre todo los dos primeros han optado por elevar la calidad del aromático para acceder a un mercado que se ha vuelto más selectivo y que está dejando fuera o en un segundo plano a los productos que no reúnan los requisitos que marcan las normas de excelencia (Servicios Profesionales Integrales para el Desarrollo Regional, 2006).

Nuestro país se encuentra en desventaja respecto a esos países, ya que la gran mayoría de sus productores obtienen rendimientos inferiores y, en general, el grano es de menor calidad, pese a existir óptimas condiciones para la producción de cafés de altura y de estricta altura, que bajo otras condiciones tendrían mayor aceptación de los consumidores más exigentes (Servicios Profesionales Integrales para el Desarrollo Regional, 2006).

La exportación del café oro se ha visto muy afectada por el establecimiento de las grandes empresas transnacionales, donde se concentra y se envía la mayor parte del café oro al mercado exterior. La producción cafetalera mundial se comercializa en el mercado internacional, a partir de dos formas, la primera exportando hacia los grandes países consumidores el grano sin procesar (café verde u oro), sin cáscara y, la segunda, estos países consumidores emplean toda su tecnología industrial en el procesamiento del grano como son torrefacción, molienda, solubilización, descafeinado y envasado.

Las dos especies básicas de café son arabica y robusta. El primer tipo es cultivado principalmente en América Latina, a una altura entre 500 y 2 000 msnm; su contenido de cafeína es de 1.5 % y su sabor es suave. El robusta es más resistente a las plagas, contiene más cafeína (de 2 a 2.5%), y en comparación con el arabica su sabor es más bien áspero. Para el mercado internacional se paga un mayor precio por los suaves colombianos; después vienen los otros suaves, los Arabicas Naturales y, en último lugar, los robustas.

En los últimos 20 años el aumento de la producción ha sido mayor en los países de Brasil, Vietnam, Etiopia y Colombia; aunque se mantiene con un ligero descenso en los últimos tres años. Por el lado del consumo, se destacan países como Brasil, Indonesia y Colombia, como consumidores entre los países exportadores (SAGARPA, 2011).

En la producción mundial de café, México ha tenido una participación que ha ido en descenso, alcanzando un 3 %, teniendo su producción más baja en los últimos años y ocupando actualmente el 7° lugar. Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia, son los cuatro grandes productores de café y reúnen el 63% del total mundial (SAGARPA, 2011).

México se ha visto afectado en cuanto a la exportación, debido a que su producción ha disminuido considerablemente, ocupando en estos momentos el lugar número 11 dentro de los países que se dedican a la exportación del café.

Una de las características distintivas de la cafecultura mexicana es su contraste en todas las etapas de la cadena productiva. En efecto, un elemento que sustenta la marcada diferencia es la polarización en el tamaño de los predios (Fundación PRODUCE de Chiapas e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Chiapas, 2003).

Así, el 92% de productores son minifundistas con menos de 5 ha en producción; mientras en el otro extremo, el 0.1% de más de 50 ha, constituyen el reducido grupo de grandes finqueros. Este contraste no es tan marcado si se considera la superficie promedio por productor en cada estado. De esta forma, la superficie promedio mayor se tienen en Jalisco y Nayarit (5 ha), un poco menor en Guerrero (4.8 ha) y la más baja en Querétaro (1.4 ha), en los principales estados productores la superficie promedio por productor es de dos a tres hectáreas. Esto

puede ser una ventaja, sobre todo si consideramos el cuidado de tipo artesanal que se da a la producción, lo que permite ofrecer un valor agregado (Fundación PRODUCE e ITESM, 2003).

La producción de café es una de las mayores fuentes generadoras de empleo en el medio rural, en particular en las comunidades marginadas enclavadas en las serranías, donde cerca de 300 mil familias dependen del grano. Genera más de 700 mil empleos directos e indirectos, de los que dependen más de tres millones de personas que participan en todo el sistema agroindustrial; una cosecha de 4.7 millones de sacos genera más de 60 millones de jornales. El café ha ocupado el 9% de la fuerza de trabajo empleada en la agricultura nacional (Fundación PRODUCE de Chiapas e ITESM, 2003).

El café es un cultivo de enorme trascendencia desde el punto de vista, no sólo económico y social, sino cultural y ecológico. Una parte importante de la producción de café en México es realizada por población indígena, que representa el 65.5% (185 000 productores); de los 382 municipios cafetaleros, 200 presentan población indígena (25% o más de su población) y dentro de éstos 94 son indígenas (con más del 75% de la población hablando una lengua diferente al español) (Fundación PRODUCE de Chiapas e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Chiapas, 2003).

Uno de los problemas fundamentales que se plantean para la consolidación de la economía cafetalera mexicana es la subutilización de los potenciales naturales. Investigaciones realizadas muestran que en la actualidad muchas de las zonas ocupadas por el cultivo del café, sobre todo las tradicionales, se corresponden con condiciones naturales poco favorables para este cultivo, mientras existen áreas que, a pesar de su alto potencial, no son utilizadas.

Se debe destacar que la cafeticultura de muchas zonas es de muy bajos rendimientos y calidad, por factores como:

- Situación en microcuencas y otras áreas con características agroecológicas poco aptas para ese cultivo,
- Disminución en el uso de insumos y de labores de mantenimiento de los cafetales, debido al envejecimiento de las plantaciones y a los bajos precios del mercado,
- Abandono parcial o total de las plantaciones a causa de que los productores están saliendo de sus comunidades en busca de otras fuentes de ingreso.

JUSTIFICACIÓN

En México existen las condiciones ideales para el cultivo, sobre todo en zonas montañosas del sureste con altitudes mayores a 900 msnm y temperaturas promedio de 17.5 a 25.0 °C, que son óptimas para el cafeto, lluvias repartidas en el año con una precipitación promedio de 2,280 mm y una insolación efectiva de 4.9-5.2 horas diarias con buen manejo de sombra.

De ahí que la producción de café se realiza de forma importante en 12 Estados de la República agrupados en 2 vertientes y 2 zonas de cultivo con características similares (Figura. 1). Éstas son:

- Vertiente del Golfo de México (San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Veracruz y la parte norte de Oaxaca y Tabasco).
- Vertiente del Océano Pacífico (Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca).
- Región Soconusco (gran parte del estado de Chiapas).
- Región Centro Norte (la zona que recibe los vientos húmedos del Golfo de México).

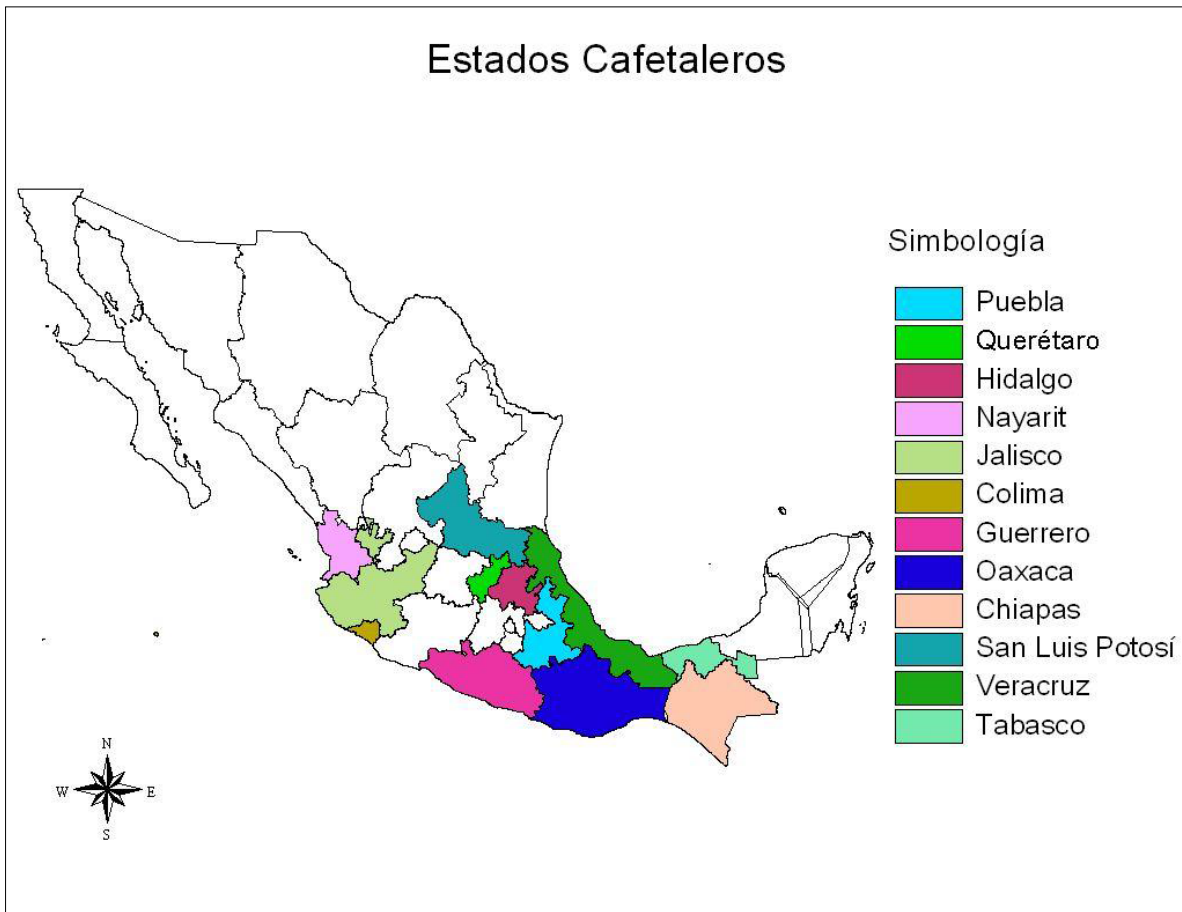


Figura. 1. Distribución Geográfica de la Producción de Café en México. Plan Integral de Promoción del Café de México. AMECAFE. 2012.

La selección y evaluación del potencial agroecológico del cultivo de ***Coffea arabica***, obedece a:

- La forma en que influye en la estructuración de una región, por constituir una especie de alto valor económico y su significativa proyección en la

economía nacional, tanto en la actualidad como en su desarrollo prospectivo.

- Por ocupar extensos espacios en condiciones físico-geográficas muy complejas.

Así, en el aspecto territorial, la relación de los elementos naturales, con los componentes del medio socioeconómico, permitirá descubrir regularidades y procesos geográficos, asociados al uso del territorio, como son:

- La posible sobreexplotación o infrautilización de los recursos.
- Los efectos de los cambios sobre el paisaje natural.

En los agroecosistemas cafetaleros la sombra desempeña un papel importante en la conservación de la biodiversidad (González-Zamora, Esperón-Rodríguez y Barradas, 2016). La asociación del café con los árboles y con el estrato inferior permite un desarrollo óptimo de toda la fauna existente en ese lugar (Perfecto, 1996). Se estima que la flora epífita total alcanza una cifra tres veces mayor que el número total de especies arbóreas (Gómez-Pompa, 1996).

Las ventajas de los cafetales de sombra, según Jiménez-Avila y Golberg (1982) es que ofrecen una protección contra la sequía y las temperaturas bajas que se producen en el invierno y, en general, en el micro-mesoclima del sitio (Barradas y Fanjul, 1986; Barradas *et al.*, 2010). El contenido de agua es más alto en el perfil de suelo de un cafetal con árboles, que en el cafetal de sol, en especial en época

de sequía (Moguel y Toledo, 1996). Arrivillaga (1996) considera que en cafetales bajo sombra hay un importante mejoramiento del suelo, con una acumulación de materia vegetal que varía entre 4 y 15 toneladas métricas por hectáreas al año.

Si se realiza una zonificación agroecológica del cultivo en cuestión, permitirá a los productores tomar decisiones para lograr incrementar los niveles de rendimiento óptimo en el cultivo del café, siempre y cuando se le den los manejos adecuados y se utilicen los recursos naturales adecuadamente.

Se considera que el municipio de Atoyac de Álvarez es el primer productor cafetalero del estado de Guerrero, por lo que el tema se distingue como novedad científica y de importancia práctica.

ANTECEDENTES

El café es originario de las montañas de Etiopía, África Oriental, su comercialización comenzó en Europa entre los siglos XV y XVI, y alrededor de 1720 se trasladó a América, donde se establecieron las primeras plantaciones en las Guayanas Francesas y Holandesas. Las variedades de *Coffea arabica* L., más comunes en América son típica, bourbon, caturra, mundo novo, catuai, costa rica 95 y colombia.

Desde el inicio de su cultivo en México, en el siglo XIX, el café ha jugado un papel importante en la generación de empleos para un número considerable de

mexicanos, además de convertirse en uno de los principales generadores de ingresos y divisas. Además, recientemente se reconoce a los lugares en donde se cultiva el grano como refugio de especies animales y vegetales en peligro de extinción. Por todo lo anterior, la importancia económica, social, cultural y ambiental hacen de la producción de café un sector clave de la economía de México (PRODUCE, 2003).

Períodos del desarrollo de la caficultura en México

Etapas de 1790-1850. La llegada y establecimiento del café en la Nueva España y México

México, posee diferentes etapas de la caficultura. El café fue introducido en lo que todavía era La Nueva España por tres vías principales: una a través del cruce del Mar Caribe; otra por el Océano Pacífico; y la última, desde Guatemala (Figura. 2).

La ruta por el Mar Caribe, es proveniente de Cuba, vía el Puerto de Veracruz, en el año 1790, hasta adentrarse en la hacienda de la Guadalupe, propiedad del español Antonio Gómez de Guevara, muy cerca de la ciudad de Córdoba. El café se extendió en dos direcciones, ocupando importantes lugares; una hacia el norte donde se establecieron en Huatusco, Xalapa, Coatepec y Teocelo; y otra hacia el sur, dirigida hacia la Sierra de Zongolica, Veracruz, continuando por Huautla, la Chinantla y la Sierra Juárez de Oaxaca.

La ruta de ingreso del café por el Océano Pacífico, ya en el México independiente; fue a través del general Mariano Michelena, quién ordenó traer semillas desde el puerto de Moka e inició su cultivo en el año 1838, en la hacienda La Parota, en Ario de Rosales, cercano a la ciudad de Uruapan, Michoacán.

La última vía fue por un italiano llamado Jerónimo de Manchinelli, quien en el año 1847 obtiene mil quinientas plantas de San Pablo, Guatemala, para plantarlas en su finca La Chácara, en Tuxtla Chico, Chiapas; más tarde, los misioneros españoles promueven el cultivo del café en la región del Soconusco. En el año 1802, se registran y reconocen las primeras exportaciones, las cuales lograron mantener un ritmo ascendente, solo interrumpido durante la guerra de independencia (SAGARPA, 2011).



Figura. 2. Rutas de entrada y dispersión del cultivo del café en México. Fuente Historia del Café. 2014

Etapas de 1830-1940. El desarrollo y crecimiento de las haciendas y los ranchos.

Las plantaciones de café lograron extenderse por las vertientes Océano Pacífico y del Golfo de México, con condiciones climáticas semicálidas y lluviosas, en relieves de montañas con alturas entre 200 y 1500 msnm, ubicándose en terrenos de lomeríos y barrancos, estas áreas no eran aptas para el cultivo de la caña de azúcar, el tabaco, el algodón y de otros productos comerciales; toda esta actividad se desarrolló en la mayor parte del siglo XIX (SAGARPA, 2011).

La política de colonización en el período del Porfiriato, en la década de 1870, dio lugar al cambio de la escala de producción; se establecieron grandes plantaciones con el fin de ingresar en el comercio mundial, que en ese entonces estaba controlado por corporaciones alemanas, inglesas y estadounidenses (SAGARPA, 2011a).

Esta expansión se ve reflejada cuando en el año 1888 las cotizaciones internacionales del café, se incrementaron 55%, como consecuencia de una notable disminución en la producción de Brasil, por el desarrollo de la guerra de independencia; así como por la baja de los precios de grana o cochinilla, producto de la aparición de colorantes artificiales, que afectaron a las regiones productoras de Oaxaca, lo que trajo consigo el establecimiento de extensas zonas de cultivo del café. La superficie del cultivo del café aumentó considerablemente en los años de 1826 a 1895, con una cantidad de plantas de 500 mil a 25 millones de arbustos destinados a la producción. En lo referente al aspecto agroindustrial, a partir del año 1880, se sustituye el método de vía seca de beneficiado del café, que consistía en secar las cerezas para obtener café capulín o natural por el método de lavado o vía húmeda (SAGARPA, 2011a).

La baja de los precios a partir de 1897, constituyó para la economía cafetalera nacional una situación desfavorable para el siglo XX, producto de la entrada en producción de grandes extensiones de café en Sao Paulo, Brasil. A pesar de la adversidad de los precios, se establecieron nuevas regiones, como fue el caso en

Veracruz, de áreas muy pobladas cercanas a los principales ejes comerciales del país. De esta forma, el café dominaba las haciendas del centro de Veracruz, como fue el caso de Coatepec (SAGARPA, 2011a).

Etapas de 1941-1961. El fraccionamiento de las grandes propiedades.

La Revolución de 1910-1917 y el reparto de las tierras en las décadas de los años veinte y treinta, modificaron la tenencia y la concentración de la propiedad en las haciendas porfirianas. El café logra alcanzar connotación social al pertenecer muchas tierras con este cultivo a una gran cantidad de ejidatarios y pequeños productores (SAGARPA, 2011a).

La presencia de la cafecultura mexicana no tiene lugar hasta el año 1940, producto de la falta de comunicación entre las regiones. Existían dos regiones principales donde tenían establecidos sus tipos de producción, Chiapas y Veracruz. En los límites con Guatemala predominaban las grandes plantaciones establecidas por los colonos extranjeros, principalmente alemanes, quienes vendían directamente su cosecha a los importadores europeos y utilizaban la mano de obra indígena (SAGARPA, 2011a).

En 1949, se crea la Comisión Nacional del Café cuyo objetivo fue el mejoramiento de las plantaciones, aplicando los sistemas más modernos y adecuados al cultivo y beneficiado del grano para aumentar rendimientos y mejorar la calidad; actualmente, se siguen persiguiendo los mismos objetivos.

La asistencia técnica comenzó a llegar para los productores y, en 1955, la Comisión Nacional del Café extendió sus actividades en 43 regiones cafetaleras, con la distribución de semillas, se establecieron semilleros y viveros, se elaboraron programas de conservación de suelo y agua, se impartieron cursos prácticos de cafecultura y se instalaron parcelas demostrativas; se creó un programa de investigación y experimentación que se llevó a cabo en los campos experimentales de Rosario Izapa, en Chiapas, y Garnica, en Veracruz (SAGARPA, 2011a).

Etapa de 1962-1989. El período del mayor auge de la producción cafetalera.

En la etapa de 1962 a 1989, el café en México tuvo el período de expansión más importante de su historia, debido al incremento de los precios en el mercado internacional. El planteamiento de Convenios Internacionales del Café, al entrar en las negociaciones para regular la oferta entre los países productores y consumidores en el seno de la Organización Internacional del Café (OIC), con sede en Londres, permitió a que incrementara la superficie cultivada y los volúmenes de producción (SAGARPA, 2011a).

El gobierno mexicano creó el Instituto Mexicano del Café (INMECAFÉ) en el año 1958, que sustituyó a la Comisión Nacional del Café, el cual jugó un papel importante al organizar todas las fases del proceso productivo, incluyendo la asistencia técnica y la comercialización. En el período de 1973 a 1989 logró implementar un programa de apoyo a la cafecultura nacional, auspiciando una

red de organizaciones locales denominadas Unidades Económicas de Producción y Comercialización (UEPEC).

La relativa estabilidad de precios durante este período permitió ampliar la superficie dedicada al café y se duplicó el número de productores, en su mayoría minifundistas, teniendo la relevancia social al incluir un mayor número de campesinos e indígenas. Este auge cafetalero extraordinario sufrió un duro revés con la cancelación de las cláusulas económicas del último Convenio Internacional, en julio de 1989, provocando a partir de esa fecha, una drástica caída de precios y la inestabilidad de las cotizaciones internacionales del café, lo que se ha mantenido constante (SAGARPA, 2011a).

Época reciente de 1990-2010. La inestabilidad y aumento de precios.

El gobierno mexicano lleva a cabo el cierre definitivo del INMECAFÉ, como consecuencia de las políticas de ajuste estructural, en el año 1993 y, en sustitución, se crea el Consejo Mexicano del Café, bajo la figura de Asociación Civil, incluyendo en su organigrama a sus consejos estatales y regionales. Consecutivamente, el estado se retira en forma definitiva y contribuye a la profundización de la crisis y la entrada de empresas trasnacionales, que en pocos años lograron el control del mercado interno y de exportación (SAGARPA, 2011a).

Debido a condiciones naturales desfavorables, se inicia un período de alza de los precios a partir de 1994, cuyas recurrentes fluctuaciones, en el contexto de la

globalización económica, determinaron que esto fuera solo una ilusión para la mayoría de los productores, ya que muy pocos mejoraron las plantaciones y la infraestructura del beneficiado (SAGARPA, 2011a).

La esperanza de un despunte en los precios se vio rápidamente afectada a inicios de 1999, al aplicarse castigos unilaterales de hasta treinta y cuarenta dólares por cada cien libras de café oro mexicano, con el pretexto de que su calidad había disminuido. Esta segunda crisis de la época, se mantuvo hasta el año 2004, cuando inicia un relativo aumento de precios, que permite la recuperación de los costos de producción y una ligera tendencia a la alza en las cotizaciones. Con altibajos, esta situación se mantuvo, hasta mediados del 2010, cuando el repunte de precios inicia un salto desde los 150 dólares, hasta rebasar la barrera de los 300 dólares las 100 libras de café oro, promedio mensual para el café otros suaves, en abril del 2011 (SAGARPA, 2011a).

De este modo, en la cafecultura mexicana se tiene un acervo importante de tecnologías y conocimientos, que no dejan de ser un paradigma, ya que por un lado, se registran investigaciones y resultados para mejorar el desarrollo y, por otro, los rendimientos no han sido aumentados significativamente a lo largo de todos estos años, asumiendo que las causas son multifactoriales, incluyendo los factores sociales y económicos que ha enfrentado la cafecultura en sus más de doscientos años de existencia (SAGARPA, 2011a).

El café que se produce en México es de la especie *Coffea arabica* L., que constituye el 97% de la producción nacional, representada por las variedades Typica (criollo, nacional o arábica), Bourbon, Caturra, Mundo Novo, Garnica, Catuaí, Pluma Hidalgo y Maragogype, el 3% de la producción corresponde a la especie *Coffea canephora* Pierre ex Frohener, conocida como robusta, cultivada en zonas bajas de Veracruz (principalmente en los municipios de Tezonapa y Tepatlaxco), Chiapas (sobresale el municipio de Cacahoatán) y Oaxaca (regiones de Tuxtepec y Valle Nacional). Sin embargo, otras fuentes estiman en 300,000 quintales la producción de robusta, con un considerable incremento en el estado de Chiapas (PRODUCE, 2003).

La producción en México se concentra en tres variedades arábicas, Typica cultivada por el 33% de los productores, seguida por Caturra por el 26% y Bourbon por el 17%. Otras variedades menos importantes son Mundo Novo con el 10%, Garnica con 6%, Catuaí con 3%, Catimores con el 2% y con menos del 0.5%, los Maragos (Maragogype y Pacamara) (PRODUCE, 2003).

Los tres estados más importantes para la producción de café son Oaxaca, Veracruz y Chiapas. Entre las contribuciones ambientales más importantes del café están: la protección de cuencas hidrológicas, la conservación de suelos, la protección y conservación de biodiversidad, la retención de carbono, la producción de oxígeno, baja o nula contaminación (PRODUCE, 2003).

HIPÓTESIS:

La zona cafetalera corresponde a áreas con selvas y bosques tropicales existentes en el estado, con diferentes altitudes, donde el café bajo sombra se ha adaptado favorablemente. La salud de los microambientes de las selvas y bosques así como las condiciones rústicas de producción de café, revelan el potencial del área para producir café de alta calidad. La mayoría de las parcelas cafetaleras ubicadas en el territorio de estudio se encuentran ubicadas en diferentes sitios, por lo que su productividad y rendimientos no son muy estables. Si se analizan las condiciones de relieve como las pendientes y la hipsometría, así como los rangos de temperaturas y precipitaciones medias anuales y el contexto edafológico; se puede establecer el escenario para poder llevar a cabo la zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, en el área de estudio lo que influirá en la productividad económica del cultivo y en su viabilidad ambiental.

OBJETIVO GENERAL

1. Establecer una zonificación agroecológica de *Coffea arabica* en las condiciones del área de estudio, en el Municipio Atoyac de Álvarez, estado de Guerrero, en particular, teniendo en cuenta sus requerimientos agroecológicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los factores agroecológicos importantes para el establecimiento de la zonificación del cultivo en el área de estudio.
2. Definir las zonas con potencial agroecológico y establecer la zonificación agroecológica del *Coffea arabica*.
3. Analizar la situación actual de las parcelas cafetaleras establecidas en el área de estudio con respecto a los potenciales obtenidos y a la zonificación agroecológica realizada.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.

I.1. Conceptos y principios básicos del enfoque sistémico y su significado en las investigaciones aplicadas.

I.1. 1. Introducción al enfoque sistémico

Lilienfeld, (1984), consideró a Bertalanffy como fundador de la teoría, por su insistencia en la creación de un cuerpo teórico, partiendo de todas las ideas que iban apareciendo en su momento sobre sistemas en diferentes campos y que consideraba podían agruparse bajo una única disciplina. Sus formulaciones relacionadas con el concepto de sistema abierto fueron las primeras en introducir la idea de sistema como un movimiento científico, basándose primordialmente en la biología, donde sostenía que el problema fundamental era encontrar las leyes de sistemas biológicos en las que hubiese subordinación de las partes y los procesos componentes. Conceptos como el orden, la regularidad y el automantenimiento, paralelos al cambio continuo y la regulación, son muy difíciles de explicar desde la física o las matemáticas y para Bertalanffy sólo podrían explicarse utilizando nuevos marcos conceptuales (Lilienfeld, 1984).

Lilienfeld, (1984), planteó que en el año 1947, Bertalanffy afirmaba: "existen modelos, principios y leyes aplicables a sistemas generalizados o a subclases

suyas independientemente de su naturaleza, del carácter de los elementos componentes y de las relaciones o "fuerzas" existentes entre ellos. Postulamos una nueva disciplina llamada Teoría General de Sistemas" (Bertalanffy, 1979). Esta teoría surge, según Bertalanffy, de las siguientes consideraciones (Aracil, 1979):

- a) Existe una tendencia general hacia la integración en todas las ciencias, tanto naturales como sociales;
- b) Esta integración puede centrarse en una teoría general de sistemas;
- c) Esta teoría puede ser un medio importante para conseguir una teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia;
- d) Esta teoría conduce a la unidad de la ciencia, al desarrollar principios unificadores que integran, verticalmente, el universo de las ciencias individuales;
- e) Todo ello puede conducir a una integración, ampliamente necesitada, en la educación científica.

El enfoque sistémico ha de verse como una herramienta intelectual muy poderosa que responde, como dice Simón (1969), a una necesidad concreta de tratar la complejidad. Para comprender su significado y valorarlo adecuadamente ha sido interesante repasar su historia, jalonada de descubrimientos y avances

importantes, y aceptar las críticas que se le hacen cuando se intentan llevar estas ideas a extremos poco razonables (Simón, *op. cit.*).

No cabe duda, sin embargo, de que el enfoque sistémico es una gran ayuda para comprender sistemas en los que las interacciones son muy fuertes e importantes, en contraposición a los sistemas que estudia la física clásica en los que la separabilidad y el principio de superposición son aplicables, por eso es por lo que muchos de los sistemistas son biólogos y también es que muchas de las críticas vienen de matemáticos y físicos que se quejan de la falta de formalismo y precisión de las ideas sistémicas (Simon, 1969).

I.1.2. La interrelación de la zonificación de la especie *Coffea arabica* con respecto al medio físico que le rodea.

El proceso de transformación de las montañas tiene que ser afrontado con enfoques que conciban una adecuada interacción entre la naturaleza y la sociedad, es decir, que la asimilación de los recursos naturales para cambiar las condiciones socioeconómicas no represente la extenuación y devastación de la base natural de la producción. Tal planteamiento como problema investigativo, debido a sus posibilidades de análisis e interpretación, promueve cada vez más el interés de distintos países, como una vía para cambiar sus realidades nacionales.

En México, la transformación de las montañas se concibe con el fin de desarrollar sistemas agropecuarios y forestales sostenibles, basados en el establecimiento de

tecnologías aplicables a las diversas condiciones naturales y que permitan incrementos en el rendimiento de los cultivos, con especial énfasis en el café, renglón económico de estas regiones. Los territorios montañosos dedicados a la actividad agrícola han sufrido una progresiva modificación del paisaje; esencialmente por el desarrollo cafetalero, forestal y otros cultivos, como resultado se reflejan particularidades geográficas asociadas al uso del territorio.

La investigación se sustenta en un abordaje sistémico, en la que se estructuró a partir de tres características fundamentales: la interrelación entre los elementos que componen el sistema, la unidad global que se constituye a partir de la interrelación entre los elementos y la idea intrínseca de organización.

Por interrelación deben ser entendidas la forma de vínculo entre los elementos y entre éstos y el todo. Así, es preciso comprender que la realidad en el análisis del sistema agrícola cafetalero no se encuentra sólo en términos de los factores físico-geográficos, económicos y sociales, sino en las interrelaciones que éstos establecen entre sí.

La unidad global resultante de la interrelación puede ser visualizada en los potenciales para el desarrollo cafetalero, el cual es una categoría o factor diferente, dado que es resultante de la interrelación de éstos.

Por organización se tiene la idea del ordenamiento de los elementos, con y para la formación de un todo. En este sentido, no es posible percibir a los factores

naturales, sociales y económicos en términos de jerarquía, de primacía de unos sobre otros, como si fuesen medios y fines establecidos.

La zonificación del café siempre se considera desde diferentes factores; primero, se toma en consideración el aspecto espacial, donde se ubica o pudiera establecerse la especie, el aspecto edafológico, tomando siempre en cuenta factores limitantes como profundidad efectiva, nivel de erosión, contenido de salinidad o sodio, contenido de materia orgánica, contenido de pedregosidad o rocas, y otras cualidades. Las condiciones de relieve son muy importantes, siempre debe analizarse la altitud sobre el nivel del mar y los valores de pendientes.

La distribución del cultivo del café es diversa, es posible encontrarlo desde los 100 msnm hasta casi los 2000 msnm, sin embargo, la zona óptima para su desarrollo y producción se ubica entre los 700 a 1300 msnm. El 63% de los productores mexicanos se ubica por arriba de los 600 msnm, mientras que un 29% de los productores se localiza en altitudes superiores a los 900 msnm (PRODUCE, 2003).

Las condiciones ambientales que predominan en la mayor parte de las zonas cafetaleras permiten considerar alrededor de 530 000 ha con características óptimas, esto aunado al cultivo bajo sombra, confirma el potencial enorme para producir cafés de buena y excelente calidad (PRODUCE, 2003).

En la medida en que las plantaciones se encuentran más cercanas al Ecuador, la altitud va a jugar un papel fundamental en la distribución del cultivo (Amaya, 1988). Según García (1968), a pesar de que las áreas geográficas del café se encuentran en zonas netamente tropicales, hay que tener en cuenta que esas regiones están modificadas por la altitud. Lógicamente, esta variación es función de la latitud y de otros factores microclimáticos locales; sin embargo, las condiciones climáticas en cuanto a temperatura varían entre países.

La productividad de la especie *Coffea arabica* también depende de la pendiente, debido a que es un componente que tiene significativa importancia, ya que influye en la erosión que sufren los suelos, por arrastre de la capa orgánica que influye en el desarrollo del cultivo, así como, en la recolección de los frutos. Debido a estas consecuencias se prefieren las zonas ligeramente onduladas; situación topográfica que facilita el paso del agua y no incrementa la erosión. Las condiciones de textura y estabilidad estructural del suelo se dan mejor en las condiciones alomadas. La pendiente juega un papel importante en cuanto al rendimiento de la planta, las labores de cultivo, así como, la recolección del fruto, también incide mucho en el suelo en cuanto a la profundidad y el riesgo de erosión que pueda suceder en el mismo, por lo que siempre se debe tener en cuenta medidas de conservación de suelos, en estos casos, y más en esta zona netamente montañosa.

Se considera, que cuando la pendiente es igual o menor del 30 %, se puede plantar con cualquier densidad, utilizando cobertura viva en las calles, para proteger el suelo de la erosión. En pendientes superiores al 30 % sólo se plantará con densidades medias, siendo requisito indispensable, utilizar medidas de conservación de suelos incluida la cobertura viva.

Otros elementos a considerar serían la precipitación media anual y la temperatura media anual de la zona de estudio, como una guía de condición climática.

El clima se encuentra entre los factores más importantes de la diferenciación físico-geográfica, tiene una distribución zonal, que incide en la disposición de los restantes componentes naturales, así como sus potencialidades y limitantes para el desarrollo de uno u otro tipo de actividad económica.

El clima de Atoyac está determinado por la acción interrelacionada entre la radiación solar, la circulación atmosférica general y las características termodinámicas de las superficies por las que fluyen las masas de aire que afectan al mismo, así como, por las particularidades físico-geográficas del área de estudio y la frecuencia con que ocurren los diferentes tipos de circulación. Ello determina la distribución espacial y el comportamiento temporal de las variables que conforman el clima.

La precipitación media anual requerida por el cafeto es de 1 800 a 2 000 mm, distribuidos a través del año, con un período de reposo vegetativo, para

posteriormente iniciar la floración. La precipitación media anual por debajo de los 1 000 mm, incluso bien repartida, el cultivo del café es aleatorio y la producción fluctuante. Pérez (1989) plantea, que por encima de los 3 000 mm aparecen correlaciones negativas respecto a la cosecha.

Las precipitaciones, por debajo de 1 500 mm, limitan el crecimiento de la planta y afectan la cosecha del año siguiente. Los períodos de sequía prolongados, propician la caída de las hojas, limitando la actividad fotosintética, consecuentemente la cosecha disminuye y, en algunos casos, puede causar la muerte de la planta. De la precipitación depende el crecimiento, la floración y la maduración del cultivo, pero hay que tener en cuenta su distribución, intensidad y el período estacional; determinante para la siembra y cosecha, según la variedad de especie. Las precipitaciones le confieren al territorio una aptitud más localizada del potencial en estudio, estableciendo las zonas con potencial óptimo en función de la profundidad efectiva, la erosión del suelo y la pendiente, lo que agregando este elemento climático define aún más las áreas con potencial óptimo para *Coffea arabica*. Este factor hay que valorarlo en relación con el tipo de suelo y pendiente del terreno, dada las diferencias existentes en cuanto a capacidad de infiltración y retención de agua. Según se incrementa la pendiente, disminuye la posibilidad de infiltración de agua específica, razón por la cual difiere el comportamiento del cultivo en zonas con precipitaciones, pero con suelos o pendientes diferentes.

El conocimiento de los ciclos de desarrollo de estos elementos es la base fundamental para distinguir su acción frente a los cultivos. Según su manifestación en el espacio y en el tiempo, así es la respuesta de la planta.

Las mejores condiciones climáticas para el cultivo del café, se encuentran en el subtrópico y en las zonas altas de las regiones tropicales, donde la temperatura y la precipitación son los factores que más favorecen el cultivo del café.

Cuando se evalúan los componentes del clima, la dinámica de los cambios y movimientos, son prácticamente poco regulables por el hombre. Muchos autores consideran que la temperatura y las precipitaciones son los factores que más afectan en el cultivo del café, pues tanto los niveles elevados de humedad, así como el exceso de lluvia en época de floración afectan la planta, tanto en su desarrollo como en la fructificación, las temperaturas no deben sobrepasar los intervalos establecidos para evitar la marchitez de la flores, y que se detenga el crecimiento de la planta.

Se ha manejado el criterio de que las temperaturas deben ser moderadas, desarrollándose bien, cuando oscilan entre 28°C y 16°C, siendo óptima 24°C (Amaya, 1998).

En el cafeto temperaturas medias inferiores a 14°C, así como superiores a 30°C, causan daños permanentes, perjudicando notablemente la cosecha.

La mejor temperatura media anual para que el cafeto se desarrolle y produzca bien, se encuentra entre los 16°C y los 22°C, con poca oscilación térmica (Peña, 1987). Según Pérez (1989), para el *Coffea arabica*, el promedio oscila entre 12°C y 21°C. Por su parte, Ortolani (1968) plantea que los índices térmicos medios más adecuados, próximos al trópico para el café, son entre 19°C y 21°C, y las temperaturas más altas o más bajas reducen la producción. El mismo autor señala que no existe producción, al sol pleno, en regiones con temperaturas por encima de 30° C. Otros autores, como Nava (1953) y Guindel (1962), que señalan que la temperatura promedio debe encontrarse en el intervalo de 20° - 26° C.

I.2. Metodología de las investigaciones.

La metodología (Figura I.1) desarrollada persigue detectar áreas con potenciales para la siembra de café; además, pretende no ser exclusiva para una sola rama ni acotada a los espacios montañosos. Por su contenido permite ser implementada en cualquier marco geográfico, adecuarse a ciertas escalas cartográficas y evaluar distintas magnitudes de apreciación de un fenómeno. Para esto, se analizó la interrelación de los factores naturales que inciden sobre la especie objeto de estudio, la unidad global de la resultante de esta interrelación y la organización de todos los elementos que componen el sistema agrícola cafetalero, empleando los sistemas de información geográfica (SIG) como herramientas para la determinación de mapas con potenciales agroecológicos y poder llegar al resultado final que es la zonificación agroecológica del cultivo de *Coffea arabica*.

El trabajo en su carácter general, se sustenta sobre la selección del territorio de estudio (municipio Atoyac de Álvarez, estado de Guerrero); la selección del cultivo de estudio; el estudio de las características de las variables ecológicas a partir de la revisión y compilación bibliográfica, para constituir la base de los elementos físicos muy elementales, con el fin de establecer la identificación de los requerimientos agroecológicos. Se toman en consideración para el trabajo dentro del aspecto físico; el relieve, con dos elementos básicos altitud y la pendiente del terreno. Sobre la temática climática, se considera los intervalos tanto de precipitación como de temperatura medias anuales. En relación a la edafología, se tomaron en cuenta los tipos de suelos, así como su profundidad efectiva en función del tipo de textura. Con respecto a la cobertura vegetal y uso del suelo, es importante considerar que tipos de vegetación se encuentran en el territorio, y como se ha desarrollado la dinámica de cambios espacio temporal de coberturas de vegetación y uso del suelo. A partir de la utilización de los SIG se puede realizar la combinación de los requerimientos agroecológicos, obtenidos a partir de los mapas de potenciales de las variables de relieve, clima y suelo para llegar al resultado final que es la zonificación agroecológica del *Coffea arabica*.

La metodología general se representa de la forma siguiente (Figura I.1):

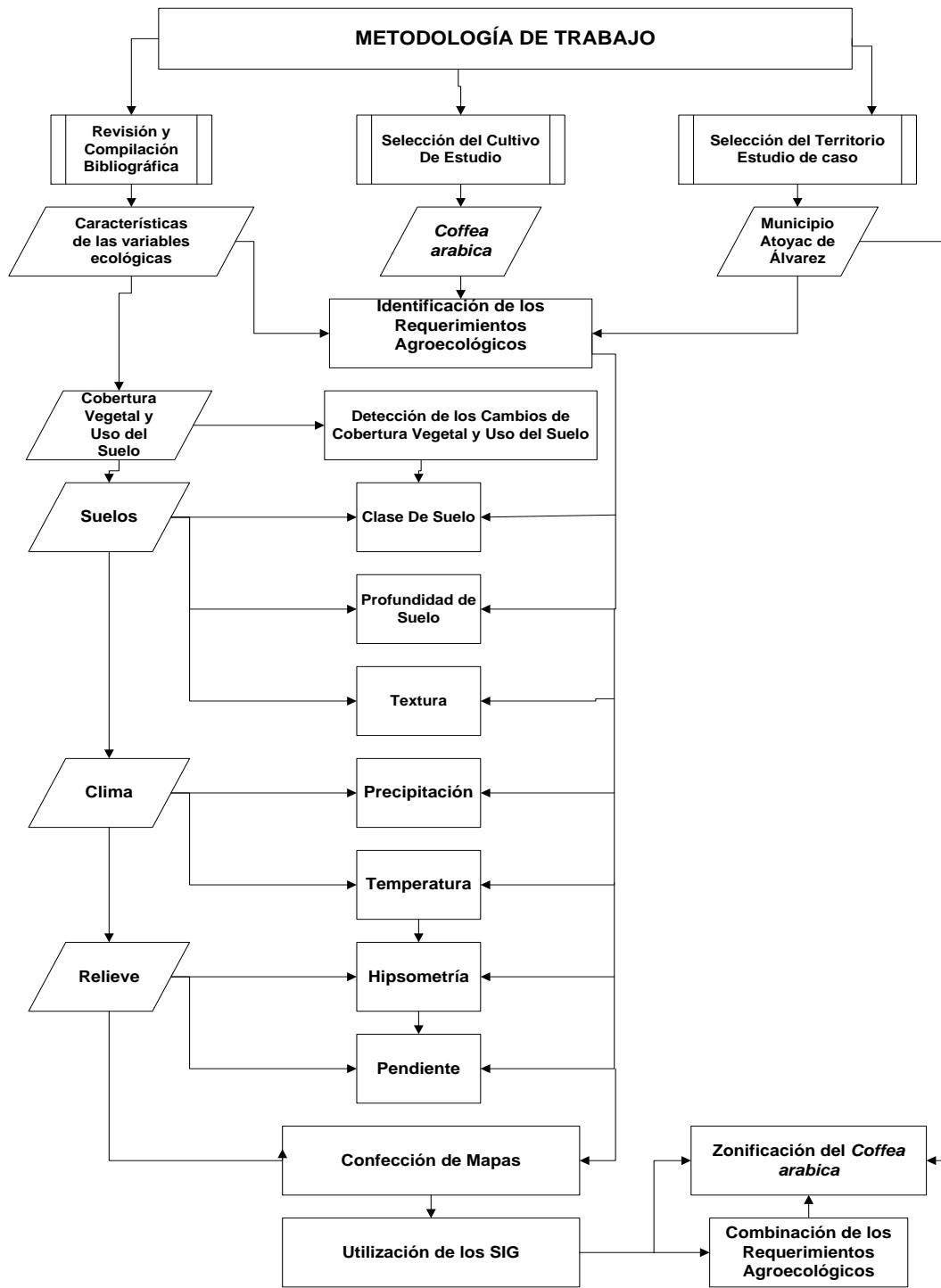


Figura I.1 Metodología general de las investigaciones.

La metodología (Figura I.2) en su aspecto particular se basa en la obtención de potenciales idóneos para las variables de relieve, clima y edafología del área, para llegar a la zonificación agroecológica, utilizando los SIG.

Se inicia con la obtención de los diferentes mapas temáticos, donde se toma en consideración para el caso de la edafología, la confección de mapas resultantes del tipo de suelo con sus respectivas claves de unidades de suelos, así como su textura. Este es uno de los aspectos importante a considerar, donde juega un papel muy preponderante a la hora de establecer zonas con potenciales para el café. La descripción del tipo de suelo es importante, permite conocer qué suelos se localizan en el área, así como su textura y su profundidad. Se obtuvieron mapas con potenciales para el caso del aspecto edafológico.

Para el caso del clima, se obtuvieron mapas temáticos con los intervalos de precipitaciones y temperaturas medias anuales. Esto permite establecer una jerarquización de que áreas pueden ser las propicias para obtener buenos rendimientos en primera instancia, así como para el establecimiento de la especie en estudio, estableciendo los mapas de potenciales tanto para los intervalos de precipitación como para los de temperaturas medias anuales.

En el caso del relieve, se obtuvo un modelo digital de elevación a partir de un mapa de curvas de nivel con una equidistancia de veinte metros entre curvas, lo que permitió obtener dos mapas; un mapa temático hipsométrico con intervalos cada cien metros y un mapa de pendientes en grados. El establecimiento de los

potenciales de hipsometría se basó en la altitud, donde mejor se desarrolla el café en el territorio, así como los potenciales de pendientes, que son adecuadas para estas áreas cafetaleras.

El empleo de los SIG juega un papel importante, es posible obtener mapas de distribuciones potenciales que hacen visibles las áreas que cumplen con la condición agroecológica del *Coffea arabica*.

La obtención de los distintos mapas de distribuciones potenciales del territorio permitió hacer un análisis de las zonas de potencial elevado para el café, utilizando los SIG, a partir de la superposición o cruce de cada área potencial agrupados en tres variables importantes; la climática, la de relieve y la edafológica, llevándose a cabo el cruce entre estas variables en mapas y estableciendo una interrelación con los distintos elementos naturales reflejados en cada mapa potencial de cada variable y donde se obtendría realmente una zonificación agroecológica apropiada para el *Coffea arabica*.

La metodología particular se representa de la siguiente forma:

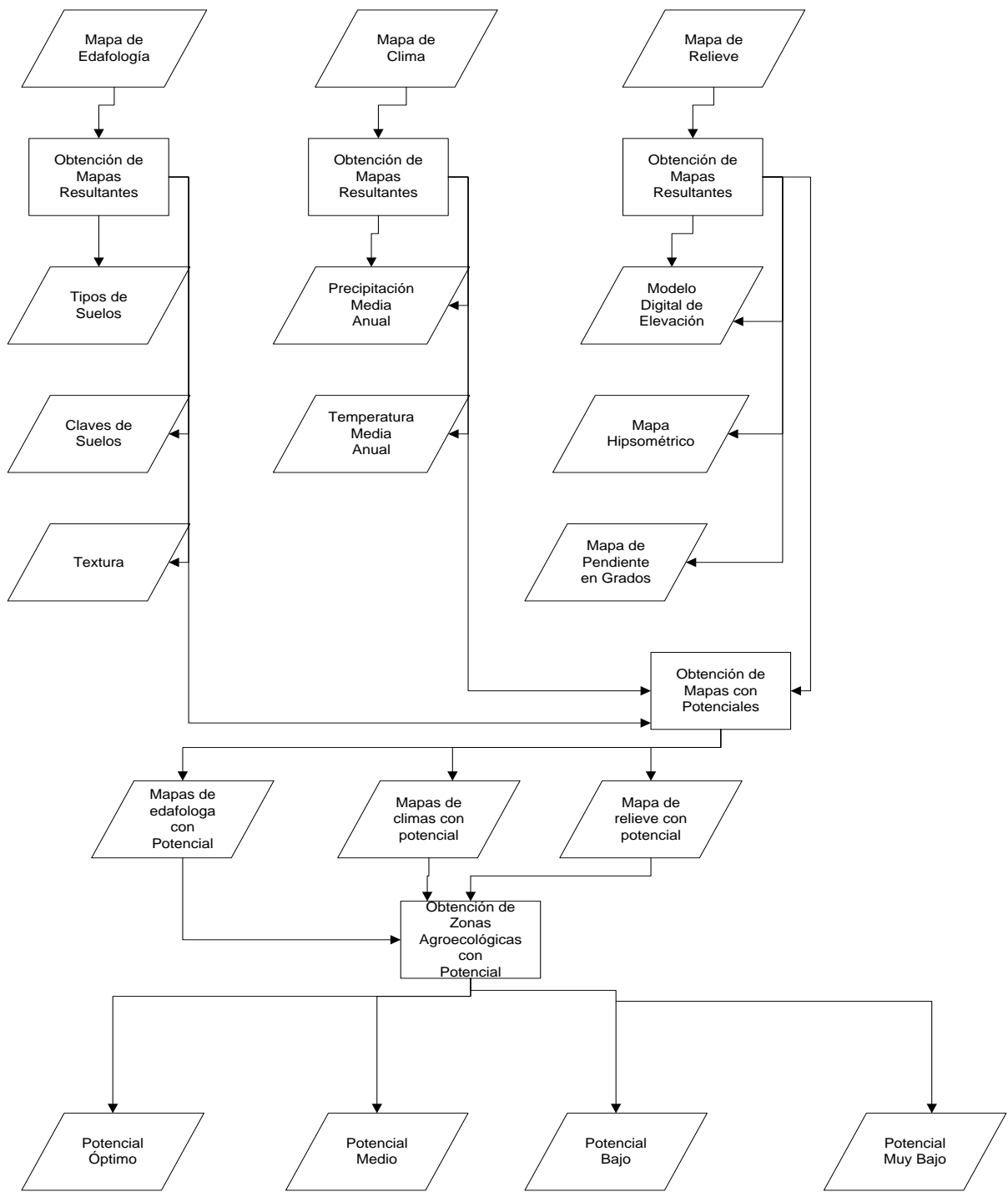


Figura I.2. Metodología para la zonificación agroecológica.

I.3 Plataforma del SIG.

El trabajo se llevó a cabo a partir del empleo del software ILWIS 3.31, utilizando operaciones importantes. Para la elaboración de los mapas temáticos, de los próximos dos capítulos, se utilizaron las base de datos de los mapas digitales en formato shapes, con un sistema de coordenadas que presenta una proyección UTM, zona 14, datum y elipsoide WGS 84; estos fueron importados a través de la operación Import, del software ILWIS 3.31, una vez recibidos estos mapas se recurrió a obtener los mapas temáticos a partir de la operación de Attribute map, debido a que presenta una tabla de atributo con diferentes columnas que presenta distintos campos, por lo que se decidió obtener dichos mapas con la columna que representaba el campo de la clase que necesitaríamos trabajar, al tener los mapas temáticos resultantes con este campo o dominio se decidió convertirlos en mapas rasters, para poder llevarla conversión de vector a rasters se llevó a cabo la operación Polygon to raster; donde se trabajó con un sistema de georreferencia que posee un tamaño de pixel asociado y un mismo sistema de coordenadas del mapa en formato shapes, una vez que se procede a esta operación y el mapa queda convertido en formato raster, se operó a recortar estos mapas rasters resultantes con otro mapa raster que se tiene que posee el polígono del área de estudio, a partir de la formula *ifnotundef (areapoligono,mapaserie)*, de este modo se obtuvieron mapas con sus respectivas clases temáticas y sus superficies, para al final llevar a cabo el trabajo de detección de cambios de vegetación en cierto

período (20 años) de tiempo y obtención de los potenciales adecuados para el *Coffea arabica*.

A partir del empleo del SIG, se utilizó otra operación muy importante; la operación *Cross* del software ILWIS 3.31, donde se ejecuta una superposición de capas de dos mapas rasters para comparar píxeles en la misma posición en ambos mapas y se mantienen el registro de todas las combinaciones que se presentan entre las clases temáticas de ambos mapas. Los mapas de entrada usados en la operación *Cross* deben ser mapas rasters que tengan la misma de georreferencia. Durante esta operación, la combinación de nombres de clases, de ambos mapas que están clasificados temáticamente, el número de incidencia de píxeles es contada en esta combinación y las áreas de esta combinación son calculadas y registradas. Los resultados son almacenados en una *cross-table* (tabla de cruzamiento) de salida y un *cross-map* (mapa de cruzamiento) de salida. Estos resultados obtienen un *domain ID* con el mismo nombre que la *cross-table* de salida. El dominio contiene elementos los cuales son combinaciones de nombres de clases, IDs, grupos de nombres. El resultado de estos cruces; para el capítulo II, permitió establecer un análisis de las parcelas cafetaleras existentes en el área de estudio, con los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo y con respecto a las tres variables (relieve, rangos de precipitaciones y temperaturas medias anuales y edafológicas) utilizadas para la zonificación; también por esta operación se pudo obtener en el capítulo III, los distintos potenciales de la diferentes variables de estudios (relieve,

rangos de precipitaciones y temperaturas medias anuales y edafológicas) así como el establecimiento de las zonas con cuatro tipos de potenciales Óptimos, Medios, Bajos y Muy Bajos, para el establecimiento de la especie; permitió a su vez en este capítulo como se encuentran estas zonas de potenciales con respecto a los distintos tipos de vegetación y uso del suelo en el área de estudio. En el capítulo IV, esta operación (*Cross*), al mismo tiempo, permitió hacer un análisis de como se encuentran ubicadas estas parcelas con respecto a los potenciales de la zonificación.

La zonificación del *Coffea arabica* se ha podido realizar también, a partir del empleo de tecnologías, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En Cuba, González (2000), utilizó herramientas del software *MapInfo Professional 4.1*, para poder llevar a cabo este trabajo, tomando en consideración los parámetros de profundidad efectiva del suelo y precipitación, para poder determinar con mayor exactitud las zonas de potenciales agroecológicos de la zona montañosa del Municipio de Manicaragua, en la provincia de Villa Clara, perteneciente al macizo montañoso de Guamuhaya. En el año 2006, González (2006) utiliza otro software, el ILWIS v. 3.2, donde le permitió emplear otras herramientas de análisis, que le dieron un resultado más preciso, en cuanto a la zonificación agroecológica de esta especie en la misma región y tomando en consideración los parámetros de profundidad efectiva del suelo, precipitación,

temperatura, altitud, pendiente, contenido de materia orgánica, grado o nivel de erosión.

En Cuba, la utilización de herramientas de SIG se ha visto reflejada en los últimos tiempos, para la zonificación no sólo del café, sino para otros cultivos. Garea *et al.* (2008), hace referencia en el trabajo titulado “Zonificación agroecológica en condiciones de montaña mediante métodos de análisis espacial”, donde emplea la combinación de mapas raster y vectoriales, así como la reclasificación, filtrado de mapas y métodos de indexación binarias, lograron establecer una metodología para la obtención de mapas de zonificación de diferentes cultivos.

En Venezuela, para la elaboración de un sistema de información geográfica destinado a la zonificación agroecológica de cultivos, se consideraron los siguientes criterios: geopedológicos (geomorfología y suelos), climatología (isoyetas e isotermas) y los requerimientos edafoclimáticos de los cultivos. Se tomó el Municipio Escuque del estado Trujillo, como ejemplo para el desarrollo de esta investigación; a través de material cartográfico se delimitó el área y se obtuvo la información altimétrica del lugar. Esta información conjuntamente con la suministrada por estaciones meteorológicas vecinas al municipio se procesó en el software ArcGIS versión 9.3 para obtener los mapas geomorfológicos (altitud y pendiente) y los climáticos (isotermas e isoyetas). Se creó una base de datos que permite el manejo de la información geomorfológica y climática del municipio Escuque, lo que posibilita elaborar estrategias para la protección del ambiente y la

zonificación agroecológica de los cultivos agrícolas. En este trabajo se determinó las zonas aptas para el cultivo café, sin embargo el SIG quedó abierto a la incorporación de nuevas capas o clases de información que permiten plantear una serie de extensiones al trabajo ya realizado, tales como la incorporación de otras variables edáficas y climáticas, áreas ocupadas por infraestructuras, centros poblados, entre otros. (Pineda Santos y Suárez Hernández, 2014).

I.4 Principales experiencias nacionales e internacionales: espectro de enfoques en la zonificación agroecológica cafetalera.

El proyecto Zonas Agro-ecológicas, llevado a cabo en el año 1978, fue un primer ejercicio en la aplicación de la evaluación de tierras a una escala continental. La metodología empleada fue innovadora en caracterizar extensiones de tierra por medio de la información cuantificada de factores físicos como los edafoclimáticos, que se utilizan para predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo a sus necesidades específicas del entorno y manejo.

Las zonas agro-ecológicas se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola (FAO, 1997). La finalidad de zonificar la tierra, es discriminar superficies de tierras que posean potencialidades similares y limitaciones para su desarrollo, esto permitiría una mejor planificación y distribución espacial del uso del suelo. La metodología se planteó sobre la base de combinación de capas que

parten desde una información espacial con el interés de definir zonas, lo que permite la aplicación de Sistemas de Información Geográfica.

La zonificación agroecológica de los cultivos se entiende como la distribución de las plantas cultivadas en una determinada área, región o país, conforme a las exigencias agroecológicas de las especies y su capacidad de conservación del potencial productivo del área (Benacchio, 1984). Se puede considerar como la delimitación de áreas, dentro de la geografía de un país para cierto tipo de cultivo, que reúna las condiciones agroclimáticas, topográfica y edáficas de cada zona así como las necesidades de dicho cultivo a determinadas condiciones ambientales.

La zonificación agroecológica, de acuerdo con los criterios de la FAO, definen zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos, y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos (FAO, 1997).

La zonificación se puede emplear como una metodología para analizar y evaluar la situación actual de los recursos de la tierra; tomando en consideración el uso del suelo, sus requisitos agroecológicos, así como otros aspectos en este caso; la

tenencia y disponibilidad de tierras, los requisitos nutricionales de las poblaciones humana y ganadera, las infraestructuras, costos y precios, lo que permitiría una mejor planificación de usos de tierras.

La metodología se puede considerar como un conjunto de aplicaciones básicas, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras que incluyen mapas que muestran zonas agro-ecológicas y aptitud de tierras, la cantidad estimada de las áreas de cultivo potenciales, cosechas y producción, a su vez un conjunto de aplicaciones avanzadas, que se pueden construir sobre los resultados de los estudios tales como la evaluación de la degradación de tierras, modelos de producción ganadera, evaluación de la capacidad de sostenimiento de la población y modelos de optimización de usos de tierras. El nivel de detalle en el que se define una zona depende de la escala del estudio y, en ocasiones, de la capacidad de los equipos para el procesamiento de los datos.

Todo el trabajo de una zonificación debe reflejar, desde el punto de vista espacial, la cobertura terrestre del área de estudio, así como el uso de suelo que se le está dando a ese tipo de cobertura terrestre. Esto permite hacer un análisis del cambio de cobertura terrestre por un período de tiempo, a partir de la intervención del hombre y ver qué tipo de cobertura terrestre existe actualmente, así como de uso del suelo.

Es conocido que para lograr un adecuado crecimiento y producción de los cultivos, es imprescindible tener en cuenta las condiciones agroecológicas de la región de

que se trate (Soto *et al.*, 2001). Los trabajos de zonificación revisten gran importancia, fundamentalmente cuando se trata de hacer una planificación en los sectores productivos donde el ambiente juega un rol decisivo. Cada especie vegetal tiene exigencias agroecológicas específicas y su potencial de producción y rendimiento unitario dependerán en gran parte de la satisfacción de esos requerimientos (Soto *et al.*, 2001).

Los intentos de zonificaciones del cultivo del café se han desarrollado en algunos países considerando variables climáticas, como isotermas, hídricas y clasificando las áreas. Ortolani (1968) realizó estudios en Brasil sobre la viabilidad del café a pleno sol en la zona de Espírito Santo, clasificando las áreas en aptas, marginales e inadecuadas, basándose en levantamientos climáticos. Fueron consideradas las siguientes áreas y limitaciones: a) Aptas, con temperatura media anual entre 18 y 22°C con deficiencias hídricas menores de 150 mm, b) Marginales, con isotermas anuales mayores de 22°C, c) Marginales, con isotermas anuales mayores de 22°C, con deficiencias hídricas superiores a 150 mm y d) Inaptas, por carencia térmica con temperaturas medias anuales inferiores a 17°C.

Los estudios de Cano (1975) consideraron varios parámetros climáticos, estableciendo la temperatura media anual, la temperatura del mes más frío y las deficiencias hídricas anuales, el trabajo de zonificación, concluye con la elaboración de una carta preliminar, es realizado por la Sección de Climatología del Instituto Agronómico de Campinas, el cual fue desarrollado con el fin de

reordenar el uso de la tierra en Brasil, ya que las frecuentes heladas afectan en forma seria a las plantaciones de café y, como consecuencia, a la economía de este país, debido a la importancia que este cultivo tiene.

En la zona de Veracruz, México, Peña (1987) empleó unidades agroecológicas, utilizando las variables altitud, temperatura, precipitación y tipo de suelo, agrupadas en tres rangos de productividad: óptima, regular y deficiente. Por su parte, Pérez (1989) realizó un mapa de zonificación agroecológica en la misma zona, en la que obtuvo zonas diferenciadas por rendimientos, considerando las isotermas máximas, mínimas y extremas, las isolíneas de deficiencia de humedad y la calidad de suelo.

En Costa Rica, Rojas (1987), realizó una zonificación agroecológica del café. Las unidades de zonificación son definidas mediante la combinación de tres índices: rendimiento potencial, condiciones climáticas necesarias para la antesis del cafeto y clase de suelos. El rendimiento potencial es calculado por medio de una función de producción, que relaciona a las variables más importantes del clima (radiación solar y temperatura del aire) con los procesos biológicos determinantes en la producción de biomasa (fotosíntesis y respiración). Además, se emplea el análisis frecuencial de lluvias. Las unidades son clasificadas y jerarquizadas de mayor a menor probabilidad de obtener buenos rendimientos, con el afán de facilitar a los usuarios la interpretación del mapa de zonificación agroecológica obtenido.

En Cuba, los estudios de agroproductividad de los suelos elaborados por el Instituto de Suelos y Fertilizantes, y la Dirección Nacional de Suelos del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI), a partir de la década de los años setenta, se fundamentaron en la necesidad de conocer el potencial productivo de los suelos para implementar el cultivo apropiado, bajo óptimas condiciones, tipo de suelo y factores limitantes (González, 2000).

Entre los años 1987 y 1990, en Cuba se realiza el Programa Nacional Científico-Técnico sobre el café, con la finalidad de buscar alternativas viables para un mejor desarrollo de la planta. En particular, se trataron aspectos de nutrición y manejo de plagas, entre otros, en diferentes ecosistemas, lo cual permitía verificar la respuesta de este cultivo ante diferentes condiciones naturales (González, 2000).

En el caso del *Coffea arabica* en Cuba, Suárez Venero et al. (2006) zonificaron las montañas de Nipe-Sagua-Baracoa, al oriente del país, evidenciando el significado de la distribución anual de las precipitaciones por encima de los 1 500 mm; mientras que González (2000) y González *et al.* (2001) consideraron los parámetros de profundidad efectiva del suelo y la precipitación, para determinar las zonas de potenciales agroecológicos favorables al café, en el municipio Manicaragua, en Cuba central, arrojando que las zonas con potencial óptimo, con rendimientos de 2.57 ton/ha, presentan precipitaciones entre 1800-2200 mm, con una profundidad efectiva del suelo mayor de 60 cm, en pendientes menores de 30 % (16.7°), con temperatura entre 19 y 25°C, localizados en montañas bajas (300 a

900 msnm). En este sentido, las potencialidades pluviales se corresponden con los ulteriores criterios de Suárez Venero *et al.* (2006).

En otros estudios, González (2006) y Garea (2008) consideraron los parámetros de profundidad efectiva del suelo, precipitación, temperatura, altitud, pendiente, contenido de materia orgánica y grado de erosión, alcanzando valores óptimos similares.

La zonificación de cacao en Cuba se basó en los criterios y peso de evidencia que emitieron los expertos a los diferentes factores que determinan la producción de cacao, así como la revisión bibliográfica y organizada en base de datos, donde se seleccionaron los factores climáticos, edáficos y fisiográficos que más influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo del cacao (Venero *et al.*, 2006). Se determinó que las precipitaciones y la distribución en el año es el factor climático de mayor impacto. Los tipos de suelos y su profundidad fueron los principales elementos edáficos y la altura como elemento fisiográfico que condicionan los rendimientos del cultivo, la profundidad del suelo varía y este guarda relación con el potencial productivo del cacao y varía a su vez con la altura y por ende con las precipitaciones y temperatura (Venero *et al.*, 2006). Se definieron como niveles o unidades las lluvias, la altura, los tipos de suelos y su profundidad efectiva, donde las lluvias conformo las zonas y los suelos las unidades específicas para el distrito. partir del análisis de la información registrada en la base de datos del cultivo, las

óptimas condiciones de estos elementos condicionan un potencial del rendimiento entre 0.7 – 1 ton/ha en condiciones de producción.

Arango (2007) llevó a cabo un trabajo donde identificó zonas agroecológicas del café en Puerto Rico y caracterizó las especies de árboles que proveen sombra actualmente. Las unidades de zonificación fueron definidas mediante la combinación de tres parámetros: balance hídrico, producción de biomasa y calidad de suelos. Para la interpolación y síntesis cartográfica de la información se usó ArcGIS 9.0. En la zona cafetalera de Puerto Rico las variables como el período de cultivo, déficit de humedad, producción de biomasa y calidad de suelos, presentaron valores ideales para el café, indicando su precisa ubicación para el buen desarrollo del cultivo (Arango, 2007).

En su estudio encontró que dentro del área actual de café, las especies arbóreas nativas de sombra presentes fueron *Inga vera* y *Andira inermis* junto con las especies introducidas y naturalizadas pertenecientes a *Citrus sp.*, fueron las más importantes, a su vez no encontró diferencias significativas en cuanto a su diversidad pero encontró mayor similitud florística en la zona cafetalera presente entre 200 a 800 msnm. La diversidad encontrada en Puerto Rico califica para un policultivo comercial, puesto que los índices de riqueza y equidad son menores a los registrados en un policultivo tradicional (Arango, 2007).

La zonificación agroecológica reviste gran importancia en el desarrollo agrícola de un país, debido a que se buscan condiciones ambientales óptimas para las

especies vegetales donde se pueda expresar el máximo potencial de producción (Arango, 2007).

Se ha establecido claramente que el origen del café fue en los bosques de Etiopía a altitudes de 1600 y 1800 msnm y de 6° a 9° N y 34° a 40°E. En estas regiones las temperaturas medias están cerca de los 20°C y la lluvia es bien distribuida, variando de 1600 a 2000 mm por año con una estación seca de 3 a 4 meses (Maestri y Barros, 1981). Se admite aún la duda de que si los primeros cultivos se iniciaron en este lugar o en Yemen, Arabia (Rojas, 1987). Fue traído a las islas caribeñas por los franceses e introducido a Puerto Rico en 1736 y en 1755 se estableció como cultivo (Mondoñedo, 1957).

La Agroecología es la aplicación de conceptos y principios ecológicos para la designación y manejo de sistemas agrícolas sostenibles (Gliessman, 1992). El mirar a un agroecosistema como un sistema funcional de relaciones complementarias entre el ambiente y los organismos vivos, manejados por humanos con el propósito de establecer producción agrícola, provee una base para integrar o superponer características ambientales y ecológicas con características sociales, económicas y otras componentes de la agricultura. Todas ellas pueden variar en el espacio y tiempo, por lo tanto los métodos de manejo tienen diferentes óptimos en diferentes lugares (Sivakumar y Valentin, 1997).

La zonificación agroecológica reviste gran importancia al ser una de las principales herramientas que tiene por objetivo disminuir los riesgos a los que está sometida

la agricultura, puesto que hace una evaluación cuantitativa de los recursos biofísicos de los cuales ésta depende e identifica cambios específicos en las localidades necesarios para incrementar la producción a través comparaciones entre sistemas de cultivo y alternativas de producción (Sivakumar y Valentín, 1997).

Cada especie tiene una carga genética heredada, que formada bajo ciertas condiciones ambientales se expresará a plenitud, si encuentra las condiciones óptimas. La ecología aplicada a la agricultura integra las exigencias de la planta y del medio ambiente, en función de la productividad de la primera y la mejor utilización del segundo (Camargo, 1977).

La distribución de las plantas en un área, región o país acorde a sus requerimientos agroecológicos se denomina zonificación agroecológica (Soto, 2001). Para zonificar agroecológicamente a un área es necesaria la información edáfica y climática existente y los requerimientos ambientales del cultivo. Para Maestri y Barros (1981), los requerimientos ecológicos de un cultivo se estudian mejor en zonas donde éste se desarrolla, especialmente en áreas donde la planta crece mejor.

I.5 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está constituida por 36 ejidos y bienes comunales, ubicados dentro del municipio de Atoyac de Álvarez (Figura I.3), y se localiza entre los 17° 04' y 17° 34', de latitud norte, y los 100° 05' y 100°34', de longitud oeste, altitudes

comprendidas desde los 100 a 2900 msnm, conformando los municipios de la región Costa Grande de Guerrero. Posee una superficie de 155 845 ha, limitando al norte, con los municipios Tecpan de Galeana, San Miguel Totolapan y General Heliodoro Castillo; al este, con Coyuca de Benítez y Benito Juárez; al sur, con los municipios de Coyuca de Benítez y Benito Juárez; y al oeste, con los municipios de Benito Juárez y Tecpan de Galeana. Esta área del Océano Pacífico, constituye una de las cuatro zonas cafetaleras de México (SAGARPA, 2011a).

Dentro de las principales actividades económicas del área, se encuentran las agrícolas, con predominio del cultivo del café y del coco, así como maíz, frijol, chile, jitomate, sandía, pepino y ajonjolí. La actividad pecuaria está constituida por ganado bovino criollo, porcino, ovino, caprino y equino. Actualmente, en su cobertura vegetal sobresalen el bosque mesófilo de montaña, el bosque de pino, el bosque de encino, el bosque mixto de encino-pino, la selva baja caducifolia, la selva mediana subcaducifolia, la selva mediana subperennifolia y vegetación hidrófila de tular. Además, existen áreas dedicadas a la agricultura y a las actividades pecuaria y forestal (INEGI, 2008)

De acuerdo a su fisiografía, se ubica en la provincia de la Sierra Madre Sur, correspondiendo a la subprovincia de Costas del Sur y Cordillera Costera del Sur. El sistema de topografía que presenta es de sierra alta compleja, sierra baja compleja, llanura costera con lomerío y valle ramificado (INEGI, 2009).

Es la región de mayor importancia, considerando la superficie registrada con café en el Padrón cafetalero; sin embargo, cabe mencionar que es en esta zona, donde las plantaciones presentan los menores rendimientos teniendo un promedio de 2.49 Qq/ha, esto puede deberse principalmente a la baja densidad de población por hectárea, aproximadamente de 1 274 plantas, pero también a la falta de fertilización química, en donde el 99.8 % no aplica fertilizante, y únicamente el 3 % incorpora al suelo abono orgánico, siendo una problemática importante a tratar en las líneas estratégicas(SAGARPA, 2011).

No hay que pasar por alto que los ingresos por café de los productores en esta región dependen de un 60 % de sus producciones La especie que se cultiva es Arabica donde las principales variedades son *Typica* y *Bourbon*, según mencionan los productores que es esencialmente por sus cualidades de rendimiento (SAGARPA, 2011).

Esta región cafetalera es una de las más grandes, pues se concentra el 42 % del área cultivada y en número de productores es más del 75 % que está dentro de esta región, con lo que se tiene una diversidad de alternativas de mejoras, concentrándose más en aspectos sociales. Empezando por la puesta en marcha de asistencia técnica especializada, que se encuentre siempre disponible para cuando sea requerida, y con base en ello, destaca la capacitación en el manejo integrado de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) dándole seguimiento y supervisión, capacitación en buenas prácticas agrícolas, poniendo

mayor atención en las prácticas para la conservación de suelos, y en manejar adecuadamente el corte de café y procesos de beneficiado, sin olvidar que están dispuestos a realizar transferencias de tecnología con base en lo implementado en sus comunidades (SAGARPA, 2011).

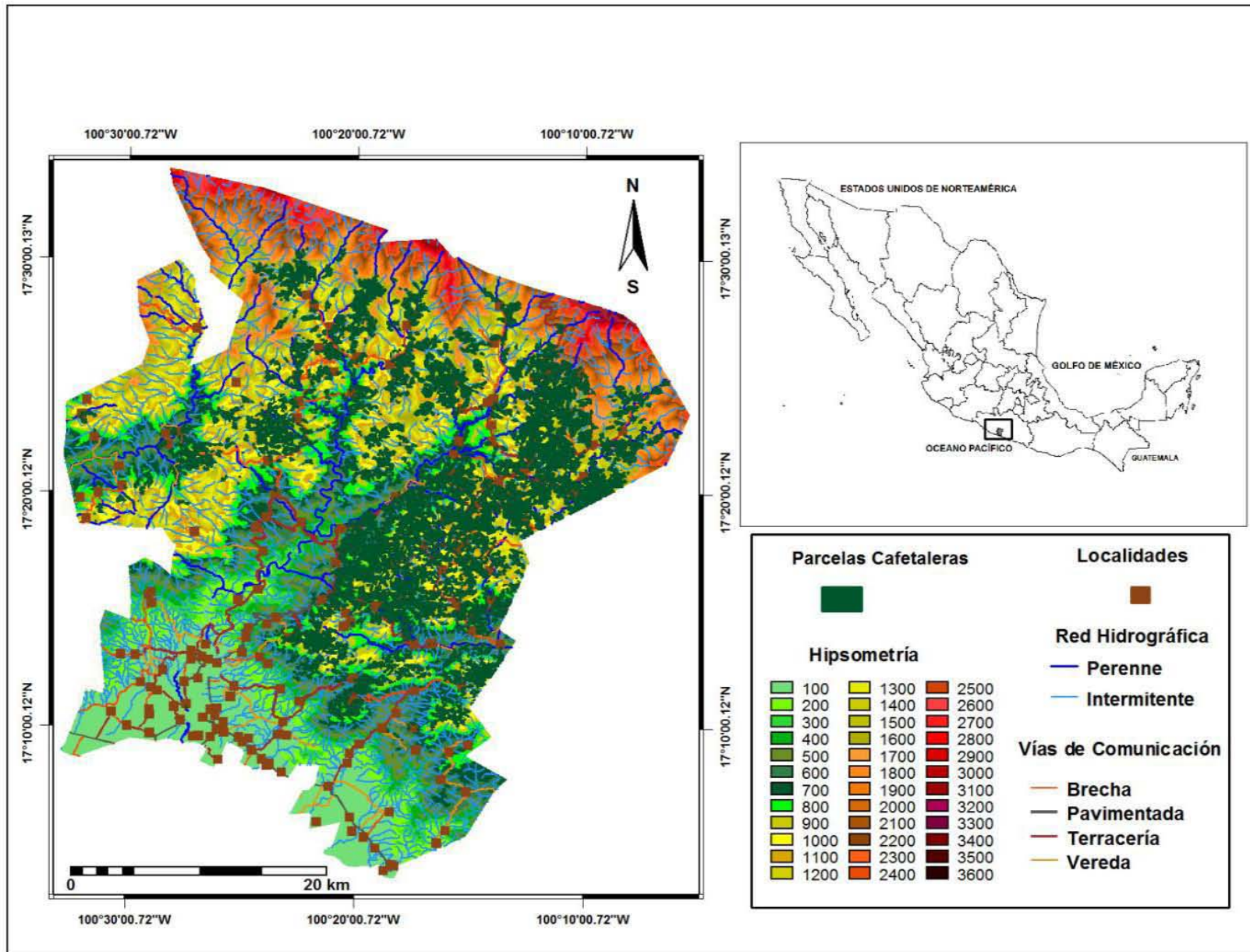


Figura. I. 3. Área de estudio del municipio Atoyac de Álvarez, estado de Guerrero, México.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. PARCELAS CAFETALERAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

II.1. Distribución y caracterización de las parcelas de cultivo de café en el área de estudio.

Existen 7 997 parcelas cafetaleras donde ocupan el 13 % del total del área de estudio (Figura II. 1). Se encuentran distribuidas en diferentes altitudes con diferentes grados de inclinación de pendientes; se ubican en diferentes tipos de climas, encontrándose en diferentes intervalos de precipitación y temperatura media anual. Se encuentran ubicadas en diferentes tipos de suelos. Sus superficies están comprendidas desde una hectárea hasta 42 ha.

II.2. Relieve

Estas parcelas se encuentran distribuidas dentro de los rangos hipsométricos desde los 400 a 2300 metros sobre el nivel del mar (Figura II.2), distribuyéndose principalmente en los rangos de 400 a 1800 msnm.

La disposición de las parcelas con respecto a las laderas vemos que se encuentran ubicadas con pendientes desde 0.1° hasta 60° (Figura II.3), encontrándose principalmente entre los rangos comprendidos de 1° a 30°, considerándose zonas planas, suaves, tendidas y medias.

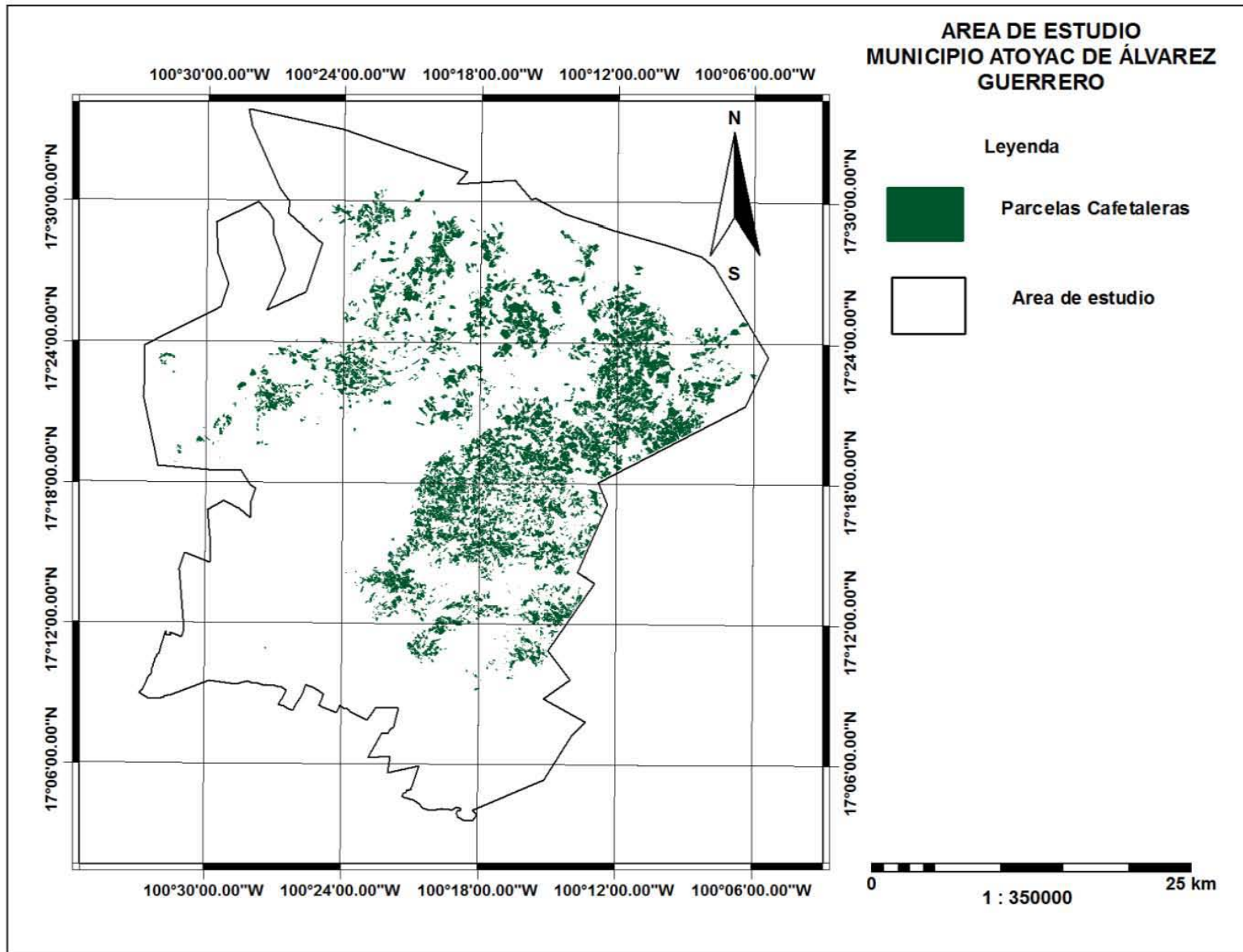


Figura II.1. Distribución de las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

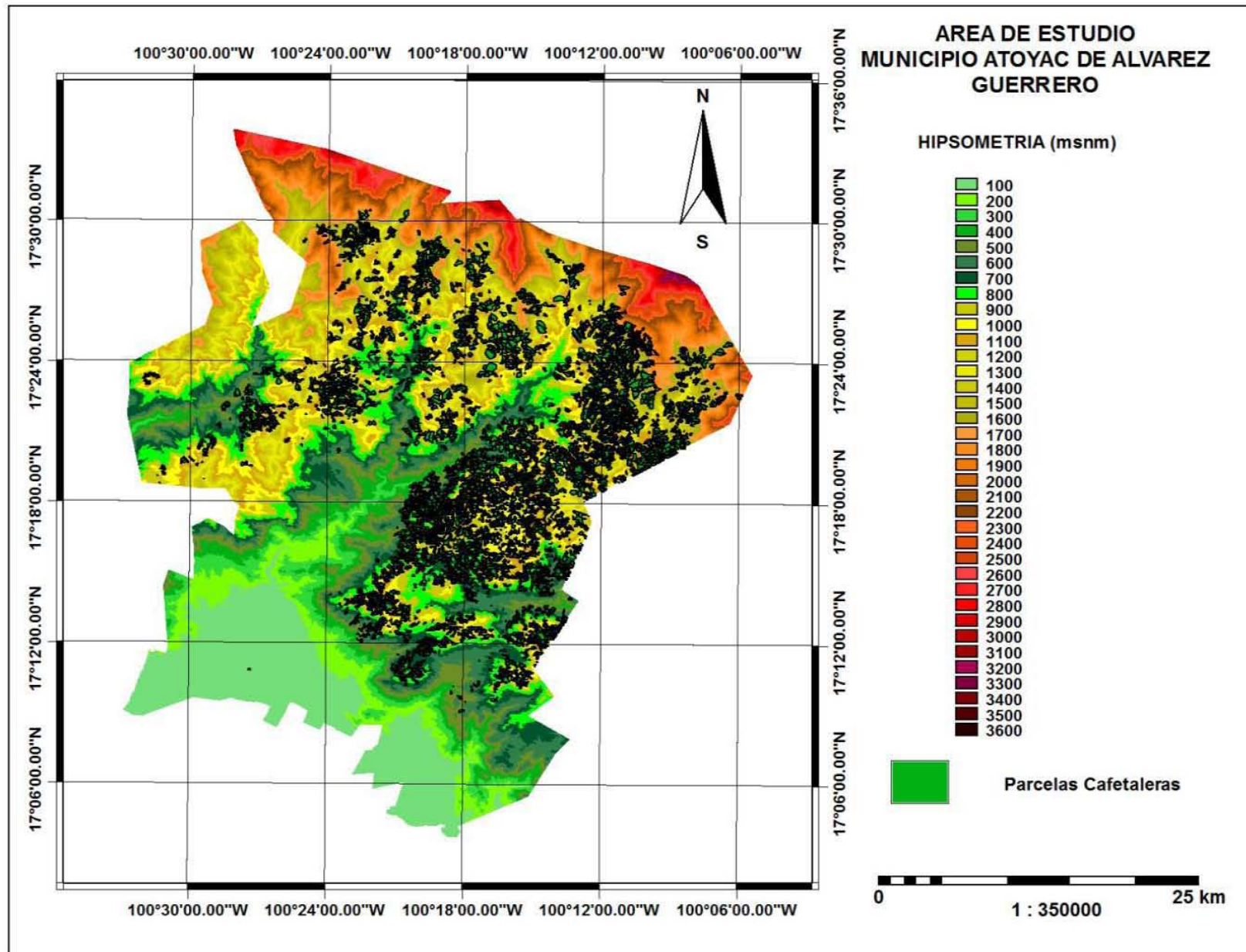


Figura II.2. Hipsometría de las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

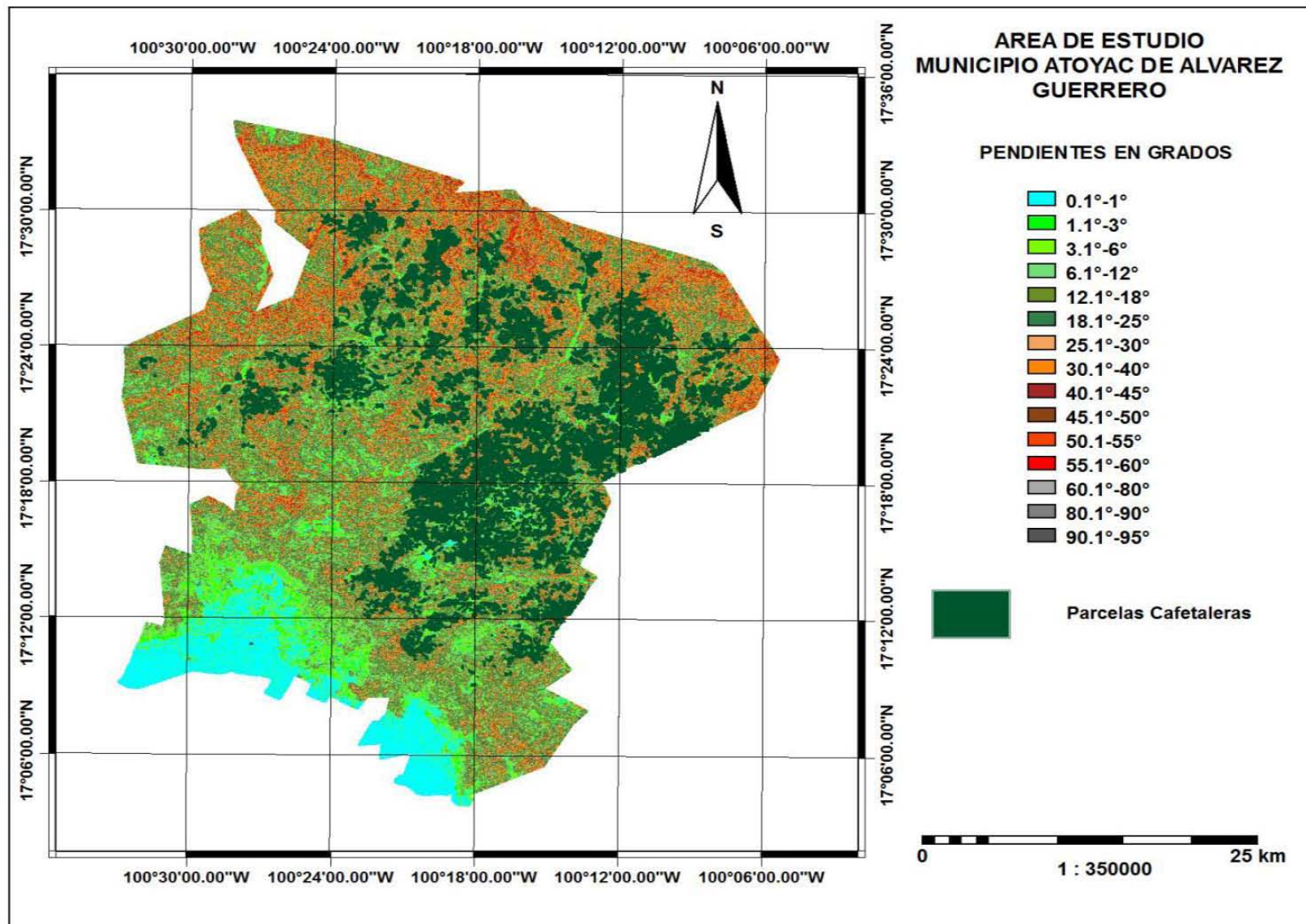


Figura II.3. Pendientes en grados de las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

II.3. Unidades de Suelos

Las principales unidades que presentan estas parcelas, son Acrisol, Cambisol, Litosol y Feosem (Figura II.4). La unidad de suelo Acrisol ocupa la mayor superficie.

En cuanto a las claves de suelos asociadas se encuentran cinco claves; Ah+Bh+Hh/2, conformada por la unidad primaria de Acrisol húmico (Ah), seguida por la unidad de Cambisol húmico (Bh) y por último la unidad de Feozem háplico (Hh), presentando una textura media (2). La clave Bh+Ah/3, constituida por Cambisol húmico (Bh) mas Acrisol húmico (Ah), presentando una textura de tipo fina (3). La clave Bh+Hh/3, está representada por la unidad Cambisol húmico (Bh) mas Feozem háplico (Hh) con una textura media (2). La clave Hh+Re/2, esta constituida por Feozem háplico (Hh) y Regosol eútrico (Re), posee una textura media (2). La clave I+Re+Bc/2, se constituye por la unidad de Litosol (I), mas Regosol eútrico (Re) y Cambisol cálcico (Bc), presenta una textura media (2) (Figura II.5). La mayoría de las parcelas se encuentran distribuida dentro de la clave Ah+Bh+Hh/2, conformada por la unidad primaria de Acrisol húmico (Ah), seguida por la unidad de Cambisol húmico (Bh) y por último la unidad de Feozem háplico (Hh), presentando una textura media (2). Las texturas de suelos que presentan estas parcelas son texturas finas y medias, constituidas por suelos francos y arcillosos (Figura II.6). Las parcelas se encuentran distribuidas en su mayoría dentro de las texturas de tipo media.

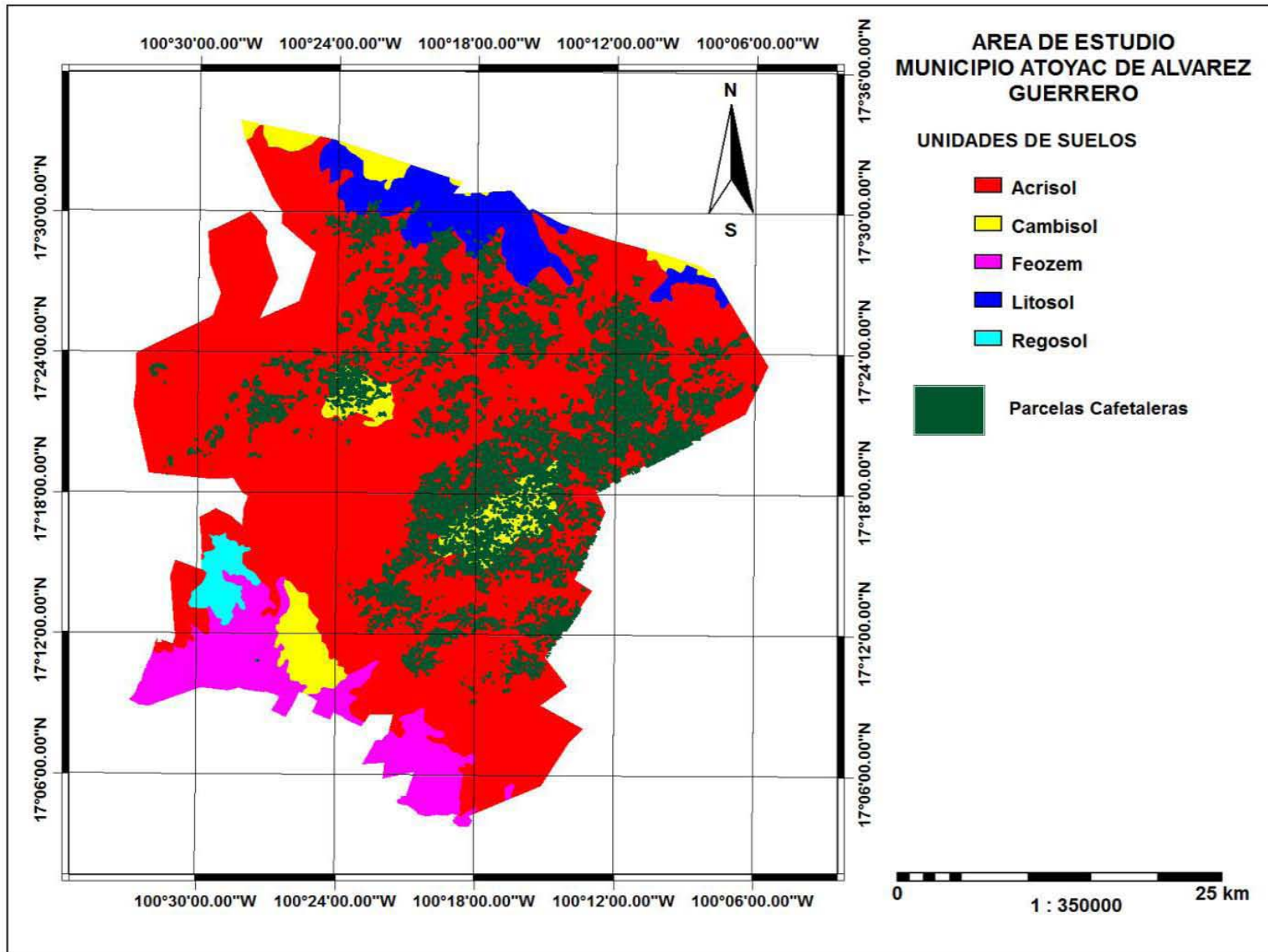


Figura II.4. Unidades de suelos de las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

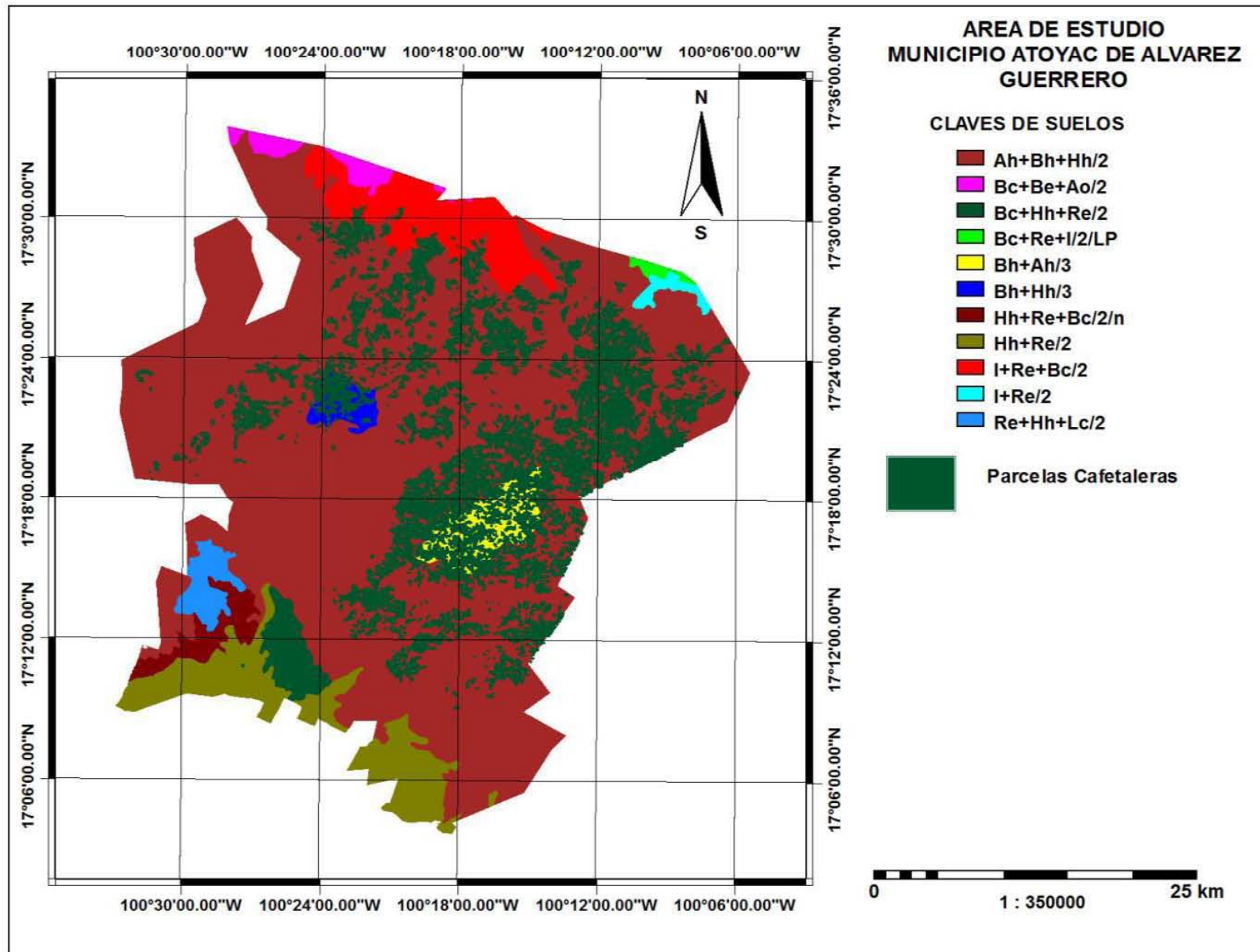


Figura II.5. Claves de unidades de suelos asociadas de las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

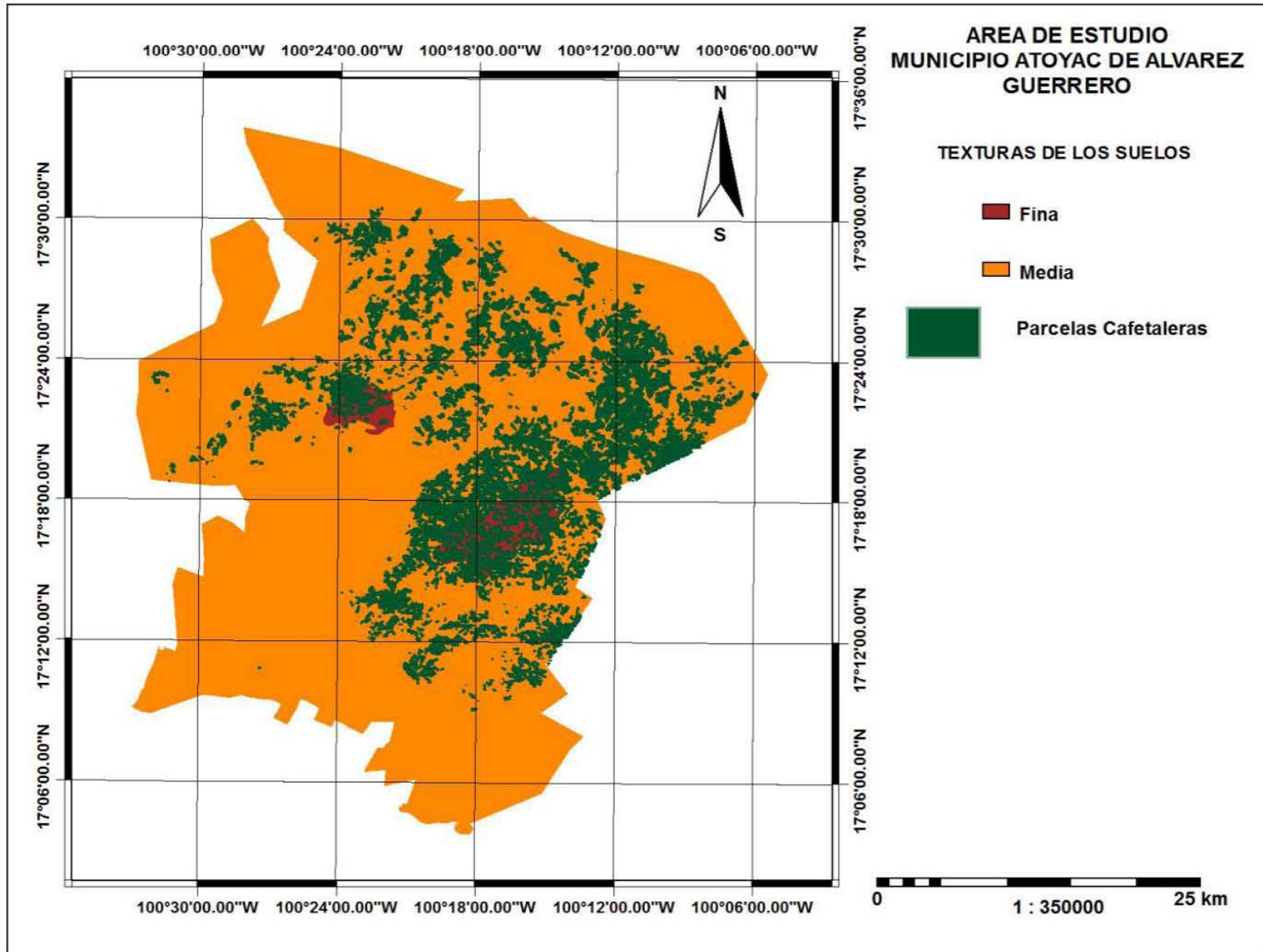


Figura II.6. Texturas de los suelos de las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

II.4. Clima.

Las parcelas se encuentran distribuidas dentro de los climas semicálido subhúmedos ((A)C(w2)), cálidos subhúmedo (Aw0 , Aw1 y, Aw2), templado subhúmedo C(w2) y seco (BS1(h')w) (Figura II.7). La distribución mayor de las parcelas se encuentran en los climas semicálido subhúmedos ((A)C(w2)), cálidos subhúmedo con humedad intermedia(Aw1) y cálidos subhúmedo con mayor humedad (Aw2).

Las parcelas se encuentran distribuidas dentro de cuatro zonas térmicas, como son; muy cálidas, cálidas, semicálidas y templadas (Figura II.8). Su mayor distribución se encuentra en las zonas cálidas y semicálidas.

Los intervalos de precipitaciones medias anuales que se encuentran las parcelas son de 800 a 1000 mm, de 1000 a 1200 mm, de 1200 a 1500 mm, de 1500 a 1800 mm, de 1800 a 2000 mm y de 2000 a 2500 mm (Figura II.9). Los intervalos de precipitación media anual que prevalecen en las parcelas son de 1500-1800 mm.

Los intervalos de temperaturas que presentan las parcelas se encuentran en; de 14 a 16°C, de 16 a 18°C, de 18 a 20°C, de 20 a 22°C, de 22 a 24°C, de 24 a 26°C, de 26 a 28°C (Figura II.10). El mayor intervalo de distribución de las temperaturas medias anuales que se encuentran las parcelas es de 24-26°C, seguido por el de 22-24°C.

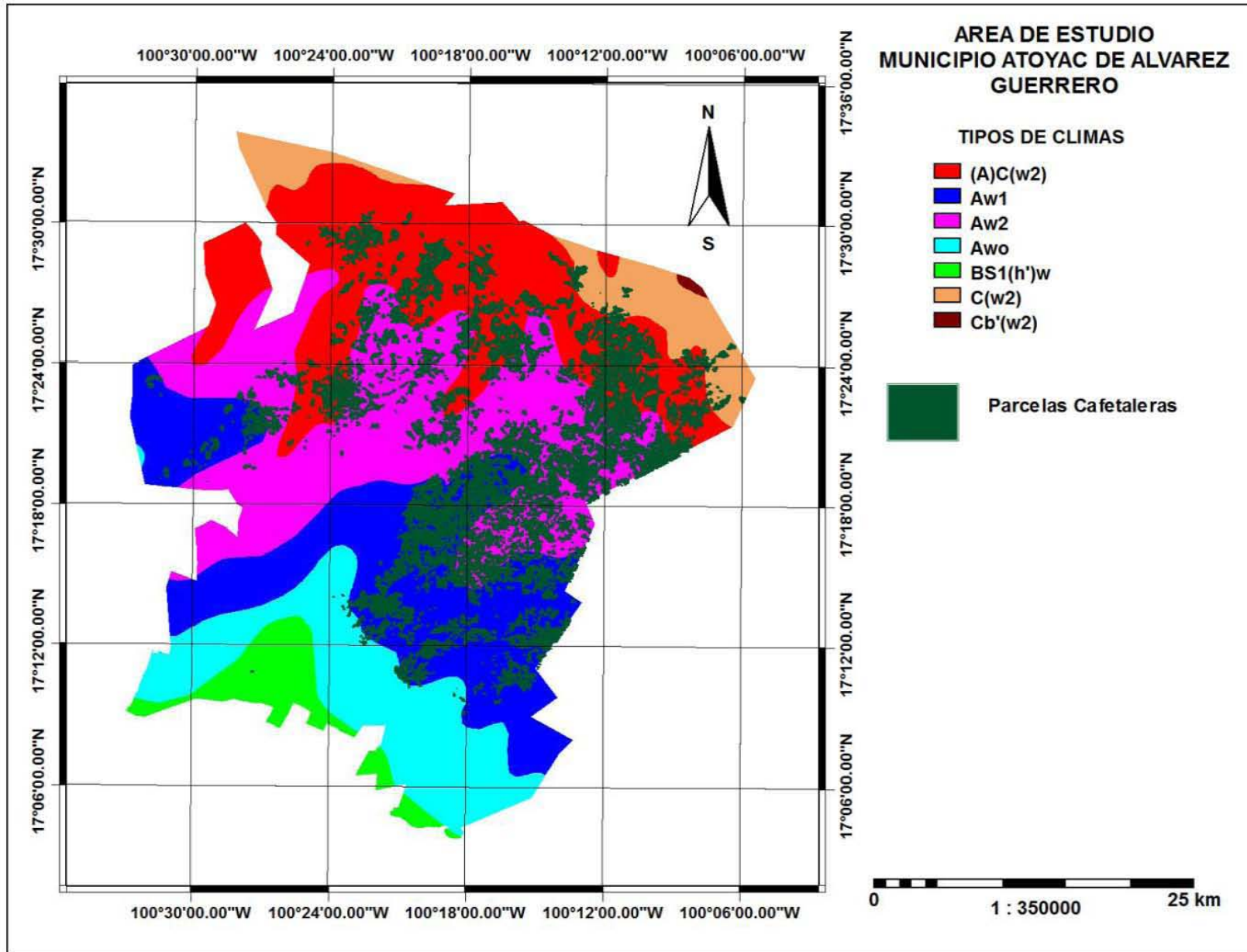


Figura II.7. Tipos de climas donde se encuentran las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

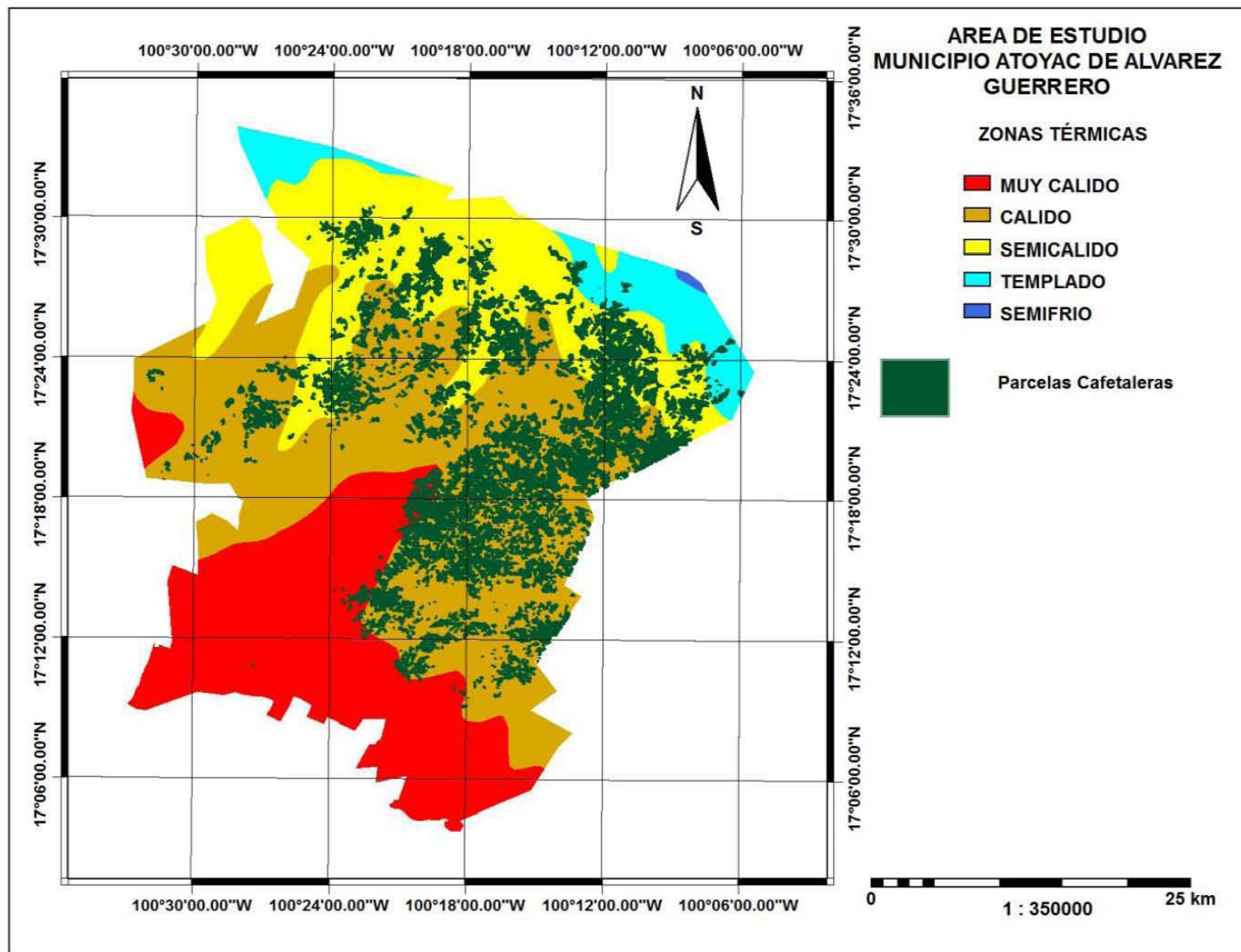


Figura II.8. Zonas térmicas donde se encuentran las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

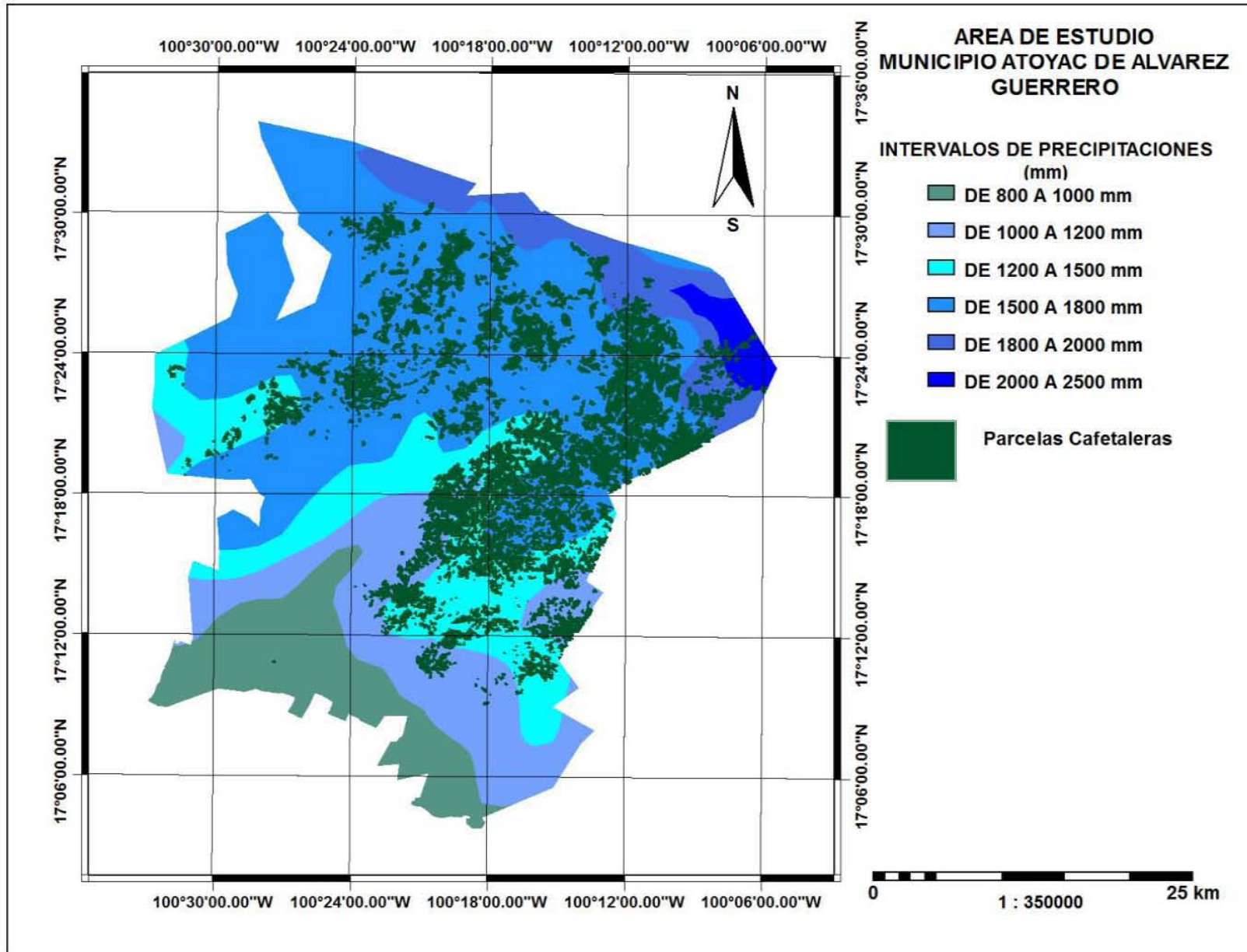


Figura II.9. Intervalos de precipitaciones donde se encuentran las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

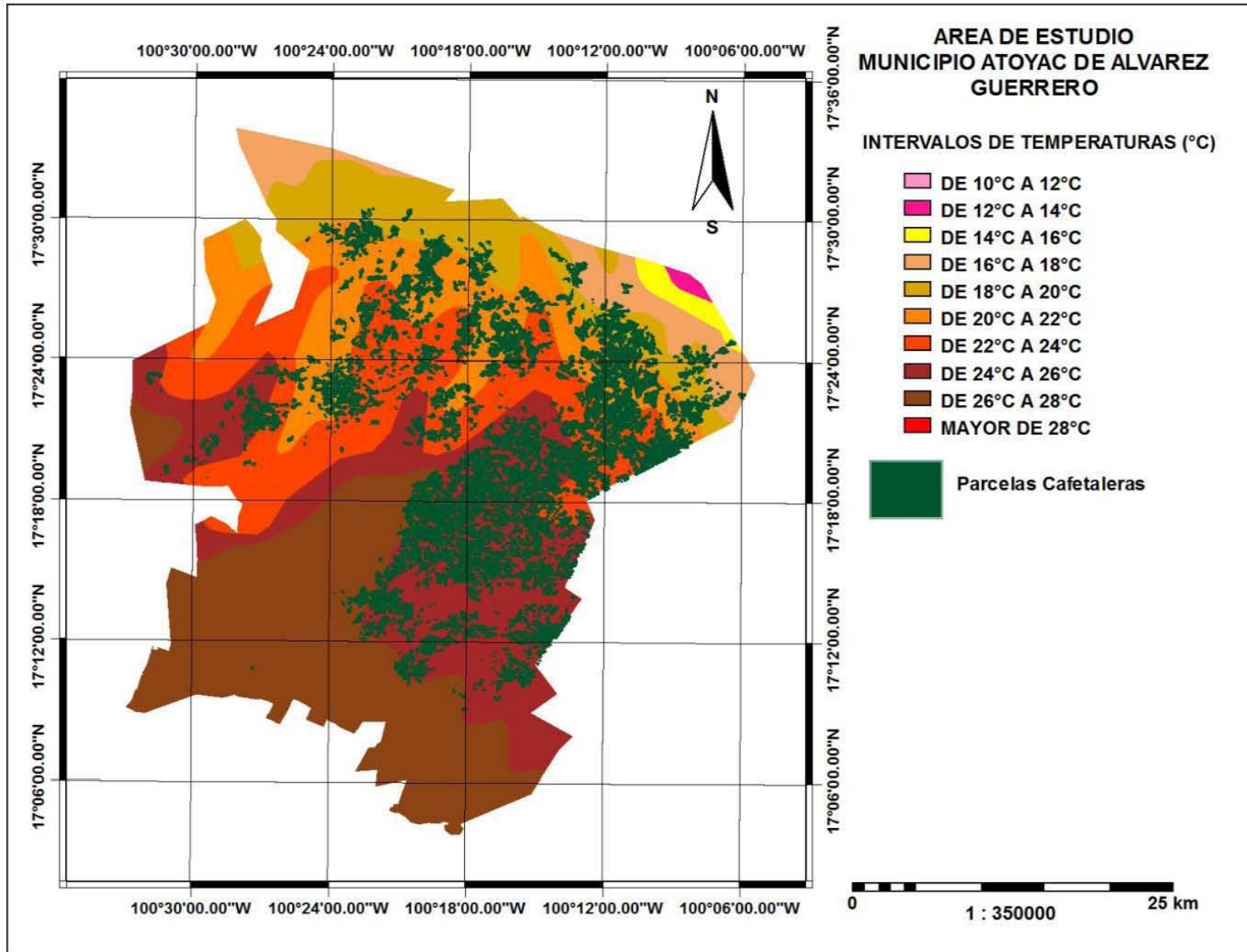


Figura II.10. Intervalos de temperaturas donde se encuentran las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

II.5. Tipos de Vegetación

Las parcelas se encuentran ubicadas dentro de tres tipos de vegetación como bosques, selvas y vegetación antrópicas (Figura II.11), encontrándose la mayor superficie en bosques con 14 021.60 ha, seguida después por las selvas con un área de 5 337.50 ha y por último en la vegetación antrópica con una superficie de 991.96 ha.

Dentro de los tipos de bosques que se encuentran están los bosque mesófilo de montaña (11 883.56 ha); siendo la mayor superficie ocupada, bosque de pino-encino (1 673.88 ha), bosque de encino (399.69 ha), bosque de pino (13.01 ha), en lo referente a las selvas se encuentran, la selva mediana subperennifolia (4 016.95 ha), selva mediana subcaducifolia (1320.55 ha) y por último en la vegetación antrópica se encuentran las áreas agrícolas-pecuarias-forestales (1 043.42 ha), (Figura II.12).

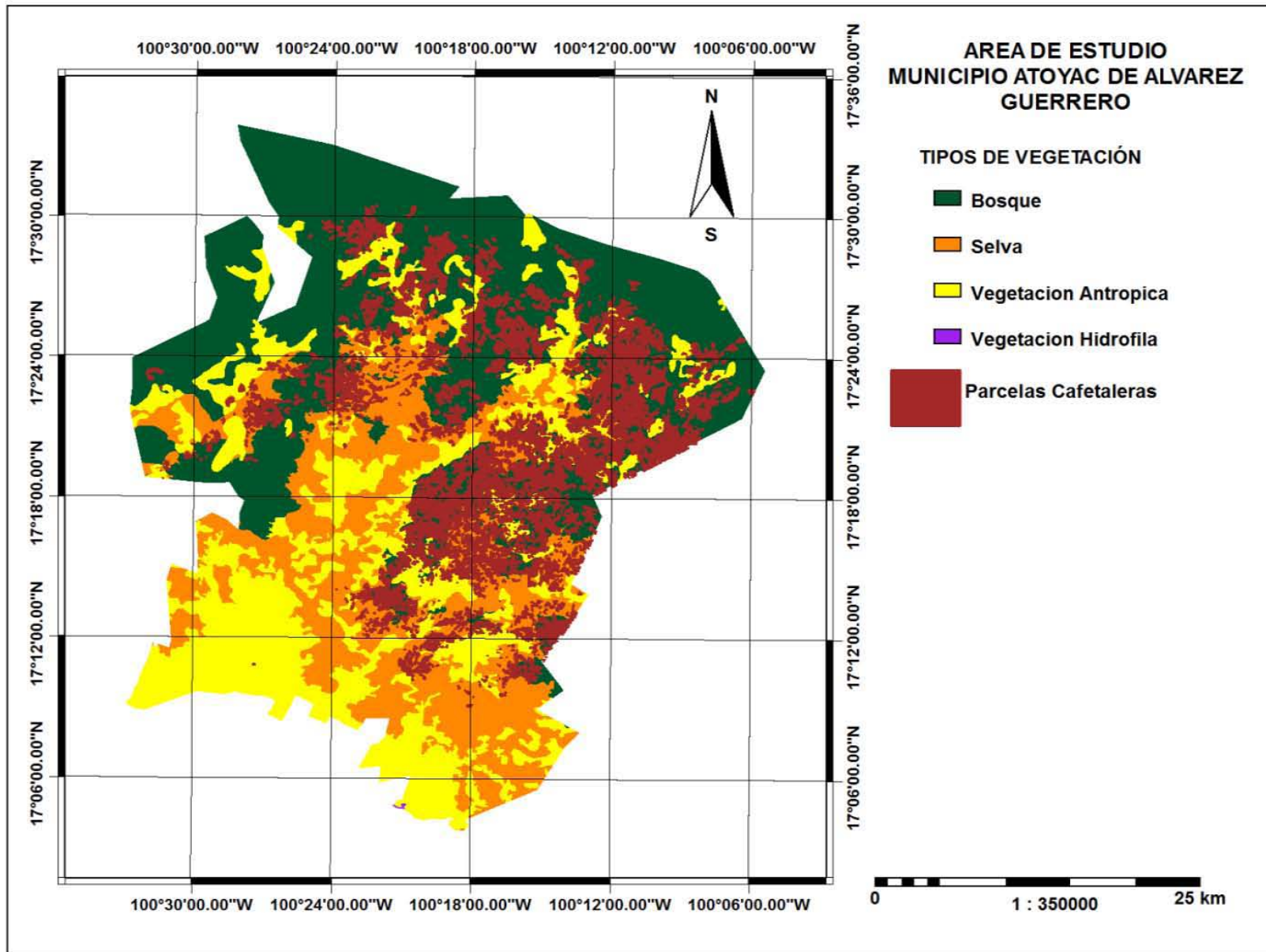


Figura II.11. Tipos de vegetación donde se encuentran las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

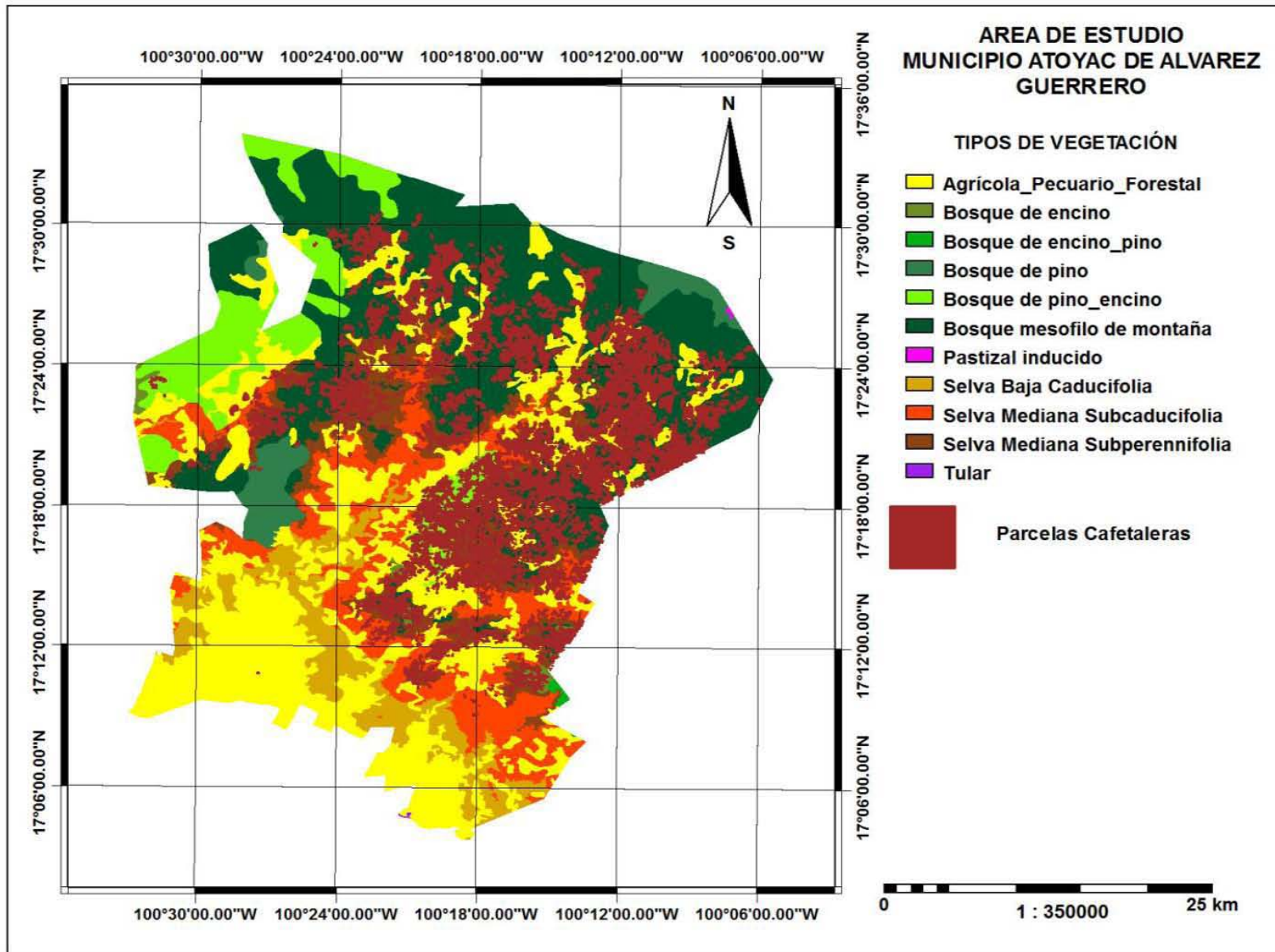


Figura II.12. Tipos de vegetación donde se encuentran las parcelas cafetaleras existentes dentro del área de estudio.

CAPÍTULO III

Capítulo III: ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL COFFEA ARABICA EN LAS MONTAÑAS DEL MUNICIPIO ATOYAC DE ÁLVAREZ, GUERRERO, MÉXICO.

III.1. Introducción

En Guerrero, el cultivo del café tuvo sus inicios durante la última década del siglo XIX. En la Costa Grande las primeras plantas fueron introducidas por Claudio Blanco, en la finca “El Gambito”, actualmente conocido como “El Porvenir”, y fue hasta 1890 que la finca “El Estudio” inició la explotación comercial del grano (UAGro b, 2009).

El cultivo se extendió rápidamente por la Sierra de Atoyac, aunque la producción era controlada por hacendados y terratenientes, por lo que los campesinos solo participaban como jornaleros en las labores de recolección y el cuidado de las parcelas. Fue hasta el año 1939, cuando fue entregada a los campesinos la Unidad Agraria Cafetera de la Sierra de Atoyac, por el entonces Presidente de la República Mexicana, Lázaro Cárdenas del Río (UAGro b, 2009).

Las primeras huertas de café se instalaron en las comunidades de San Vicente de Benítez y San Vicente de Jesús, y años después personas de El Paraíso lo

introdujeron a sus terrenos. Se empezó cultivando la variedad típica de la especie *Coffea arabica* L., conocida localmente como café criollo (UAGro b, 2009).

La introducción de las variedades de café en el área ocurrió con la llegada de la familia de apellido Avellaneda, mismos que instalaron viveros de variedades de café, tales como el bourbón, caturra, mundo novo y garnica. Por lo que se inició el cultivo de estas variedades (UAGro b, 2009).

Inicialmente la cosecha del café era vendida al Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), lo cual contribuyó a ampliar las opciones de los pequeños y medianos cafecultores. En la actualidad, la producción es vendida a personas de la misma comunidad y a empresarios de la ciudad de Atoyac de Álvarez, quienes acaparan el producto y realizan exportaciones a Estados Unidos de América (UAGro b, 2009).

III.2. Condiciones eco-geográficas.

El cultivo de café en México, se ubica en las sierras de las vertientes del Pacífico y del Golfo de México, con presencia de condiciones específicas. La predominante ubicación de los cafetales mexicanos en terrenos serranos con topografía accidentada, implica una alta susceptibilidad de los mismos a la erosión hídrica (SAGARPA, 2011b).

En el caso de altitud, se cuenta con una diversidad de zonas, desde las que se ubican casi a nivel del mar, como son predios en Nayarit y San Luis Potosí; hasta

aquéllas que tienen una altitud que rebasan los 900 metros sobre el nivel del mar. El 21.5% de las plantaciones se ubican hasta los 600 msnm, de 600 a 900 msnm el 43.5%, y el 35% restante son parcelas arriba de 900 msnm. Es importante destacar que el 78% de los cafetales mexicanos se encuentran arriba de los 600 msnm, lo que aunado a los microclimas y condiciones locales, permiten una alta calidad de café, aunque la mayor parte se sigue comercializando como café prima lavado y dicha calidad no se ha valorado en toda su magnitud (SAGARPA, 2011a).

Los problemas climáticos que en general afectan al sector cafetalero son: sequías, vientos, heladas y granizo. De manera específica, algunos ciclones han afectado a algunas regiones cafetaleras.

En efecto, en la cosecha 2004/2005, la distribución errática de las lluvias (sequia), propició dificultades de floración y ocasionó una merma considerable en la producción para algunos estados importantes, como Veracruz y Oaxaca.

III.3. Sistemas de Cultivos de Café

El café es producido de manera global bajo dos sistemas contrastantes: el sistema agroforestal, mixto y diversificado de café, conocido como policultivo tradicional y el agroecosistema cafetalero especializado o café bajo sol (Moguel, 2001).

Según Moguel (2001), existen diversos sistemas, que se explican a continuación:

- Sistema Rusticano. Mantiene íntegramente la cobertura arbórea del ecosistema forestal y sólo se modifica el sotobosque, a través de la sustitución de las especies arbustivas y algunas del estrato herbáceo, por los arbustos del café. Al producto que obtiene de las cosechas se le conoce como café natural, debido a que no se aplica ningún tipo de prácticas de mejoramientos del cultivo ni insumos. Es manejado por grupos indígenas y se localiza en las áreas marginales montañosas.

-Sistema Policultivo Tradicional. Es el sistema que integra diversos componentes agrícolas y forestales. El café es acompañado de numerosas especies de plantas útiles y existe un sofisticado manejo de las especies nativas e introducidas, al favorecer o eliminar ciertas especies de árboles. El resultado de ello es un exuberante jardín de café, con una gran variedad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, tanto de la vegetación natural como cultivadas, nativas e introducidas. Es el estado más avanzado de manipulación del ecosistema forestal nativo. Eventualmente se emplean insumos químicos. Existe un mayor grado de intensificación de las prácticas culturales empleadas. En el manejo del agroecosistema, así como una mayor diversificación en el aprovechamiento mismo del sistema. Este sistema está asociado a los pequeños productores, muchos de ellos indígenas.

- Sistema Policultivo Comercial. En este sistema se remueve completamente la cobertura forestal original y se introducen especies arbóreas con utilidad comercial o de sombreado (de dos a tres especies). Son plantaciones homogéneas, con

altas densidades de cafetos y menos porcentaje de sombras. Requieren, obligadamente insumos externos (agroquímicos) y, en general, serán medianos productores quienes lo manejen (mayores de cinco hectáreas). Son sistemas modernos porque surgen a partir de los criterios establecidos durante la modernización del agro, como el incremento de la productividad del café por los agroquímicos, mayor densidad d cafetos y empleo de nuevas variedades. Este sistema está compuesto por un mayor número y diversidad de especies arbóreas (todas introducidas), las cuales tendrán el doble propósito de restituir mínimamente el nicho original del café, así como obtener mayores beneficios económicos, al no depender exclusivamente de la venta de un solo producto.

- Sistema de Monocultivo Bajo Sombra y Sol. Representan los patrones productivos modernos que han eliminado por completo la diversidad, riqueza y complejidad estructural y funcional del ecosistema forestal nativo. Son plantaciones muy simples, homogéneas y especializadas, con un alto consumo de agroquímicos y está sostenido básicamente por medianos y grandes propietarios. En el caso del monocultivo bajo sombra, se introduce una sola especie (generalmente *Inga spp.*) para darle sombra al café y proporcionar el nitrógeno que la planta necesita. El monocultivo bajo sol es un sistema totalmente agrícola, donde se pierde el carácter agroforestal de los sistemas anteriores. El producto de estos tres últimos sistemas se denominan café convencional.

- Sistema de Café Orgánico. Obligadamente, incluyen prácticas de mejoramiento de cultivo y prácticas ligadas a la conservación del medioambiente. Las primeras se refieren al uso de variedades resistentes nativas e introducidas, rotación y diversificación de cultivos, descanso de la tierra, incremento de la diversidad genética y biológica, eficiencia energética, entre otras. En el segundo caso, las prácticas incluyen la sustitución de agroquímicos por compuestos orgánicos, reciclaje de nutrientes, control de la erosión de los suelos, manejo de plagas, enfermedades y malezas en forma manual, biológica y natural, y el control de la contaminación del agua por los desechos del café, así como su uso racional.

México es el primer país en Latinoamérica que lo produce y hoy, junto con Kenya, son los que generan mayores volúmenes de producción de café orgánico en todo el mundo (Verschuur, 1993).

III. 4. Cafetal bajo sombra

En los alrededores de los poblados El Molote y El Edén, se desarrollan cultivos de café bajo sombra, los cuales utilizan como sombra la vegetación nativa, esto ocurre de manera general en el rango altitudinal que va desde los 1450 m hasta los 1900 m. Ocupa una superficie aproximada de 455 ha, que representan el 5.41% de la superficie que ocupa el ejido (UAGro a, 2006).

En este tipo de cultivo se hacen aclareos controlados de la vegetación original, dando como resultado un bosque mesófilo abierto de hasta 20 m de alto, en el

cual dominan especies pioneras tales como: *Trema micrantha* (Capulín), *Alchornea latifolia* (Bandejo), *Inga eriocarpa* (Cajinicuil), *Licaria siphonantha* (aguacatillo) y *Zinowiewia concinna* (Palo blanco o Verdecillo). Esta asociación de bosque inducida, llega a presentar algunas otras especies de árboles de menor talla que los anteriores, sin embargo son menos comunes. El estrato arbustivo se presenta homogéneamente distribuido y se compone exclusivamente por plantas de café (UAGro a, 2006).

El estrato herbáceo solo está presente en la temporada lluviosa, y normalmente sólo alcanza 50 cm. de altura en el cual dominan hierbas anuales y helechos herbáceos, lo anterior ocurre debido a que en la época seca dicho estrato es segado, mediante la limpia que realizan los cafeticultores previo a la cosecha del café (UAGro a, 2006).

III. 5. Caracterización de los factores agroecológicos.

La zonificación del café siempre se considera desde diferentes factores; primero, se toma en consideración el aspecto espacial, donde se ubica o pudiera establecerse la especie, y el aspecto edafológico, tomando siempre en cuenta factores limitantes, como profundidad efectiva, nivel de erosión, salinidad o sodio, materia orgánica, pedregosidad o rocas, y otras cualidades del suelo. Por otra parte, las condiciones del relieve son muy importantes, siempre debe analizarse la altitud y los valores de inclinación de las laderas.

Los objetivos de la investigación estuvieron dirigidos, en primer lugar, a determinar qué factores físico-geográficos eran importantes para el fomento del cultivo cafetalero y la obtención de óptimos rendimientos, para de esta forma establecer la zonificación del *Coffea arabica*, teniendo en cuenta sus requerimientos agroecológicos y las características territoriales, en este caso, la zona montañosa del municipio de Atoyac de Álvarez, Guerrero, y en segundo término, a obtener dichas zonas de potencial agroecológico, mediante la implementación de un SIG.

III. 5.1. Relieve

La distribución del cultivo del café es diversa en México, es posible encontrarlo desde los 100 hasta casi los 2 000 msnm, sin embargo, la zona óptima para su desarrollo y producción se ubica entre los 700 a 1 300 msnm (Fundación PRODUCE de Chiapas e ITESM, 2003). El 21.5% de las plantaciones se ubican hasta los 600 msnm, de 600 a 900 msnm el 43.5%, y el 35% restante son parcelas arriba de 900 msnm (SAGARPA, 2005).

El relieve en el área de estudio es variada, encontrándose altitudes desde los 100 msnm hasta los 3 300 msnm, pero predominando, en este caso, alturas desde los 100, 700, 800, 900 y 1 000 msnm (Figura III. 1).

Las pendientes del área se encuentran dentro de los intervalos de 1° hasta 90°, predominando principalmente las pendientes dentro del intervalo de 18.1° hasta 25°, considerándose por su inclinación como pendientes medias, distribuida en

todo el gradiente altitudinal del área, desde los 100 msnm hasta los 3 300 msnm
(Figura. III. 2)

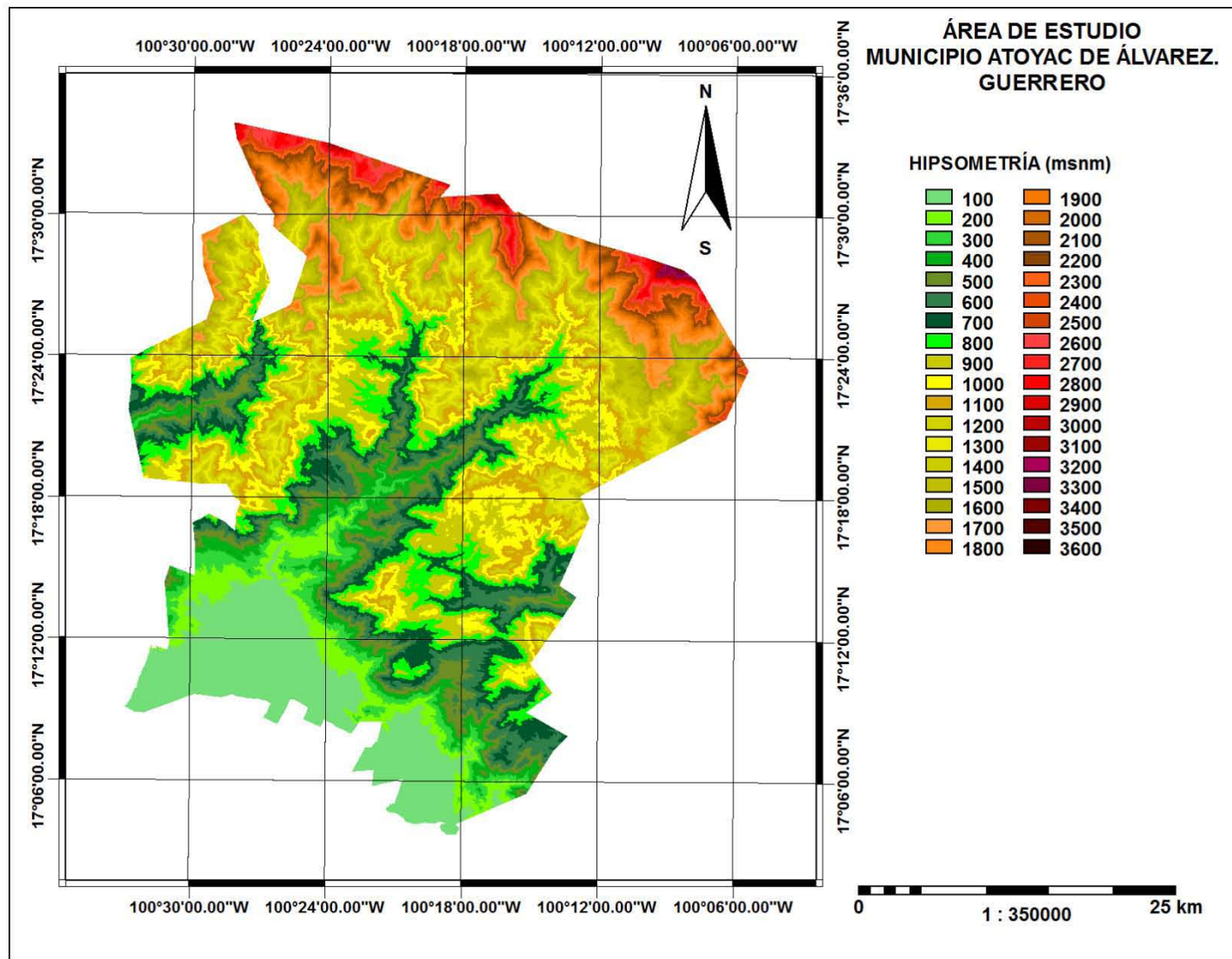


Figura III. 1. Distribución hipsométrica en la región de estudio. Esta distribución se obtuvo a partir de la confección del modelo digital de elevación que se elaboró por medio de las bases digitales de curvas de nivel del INEGI (2009).

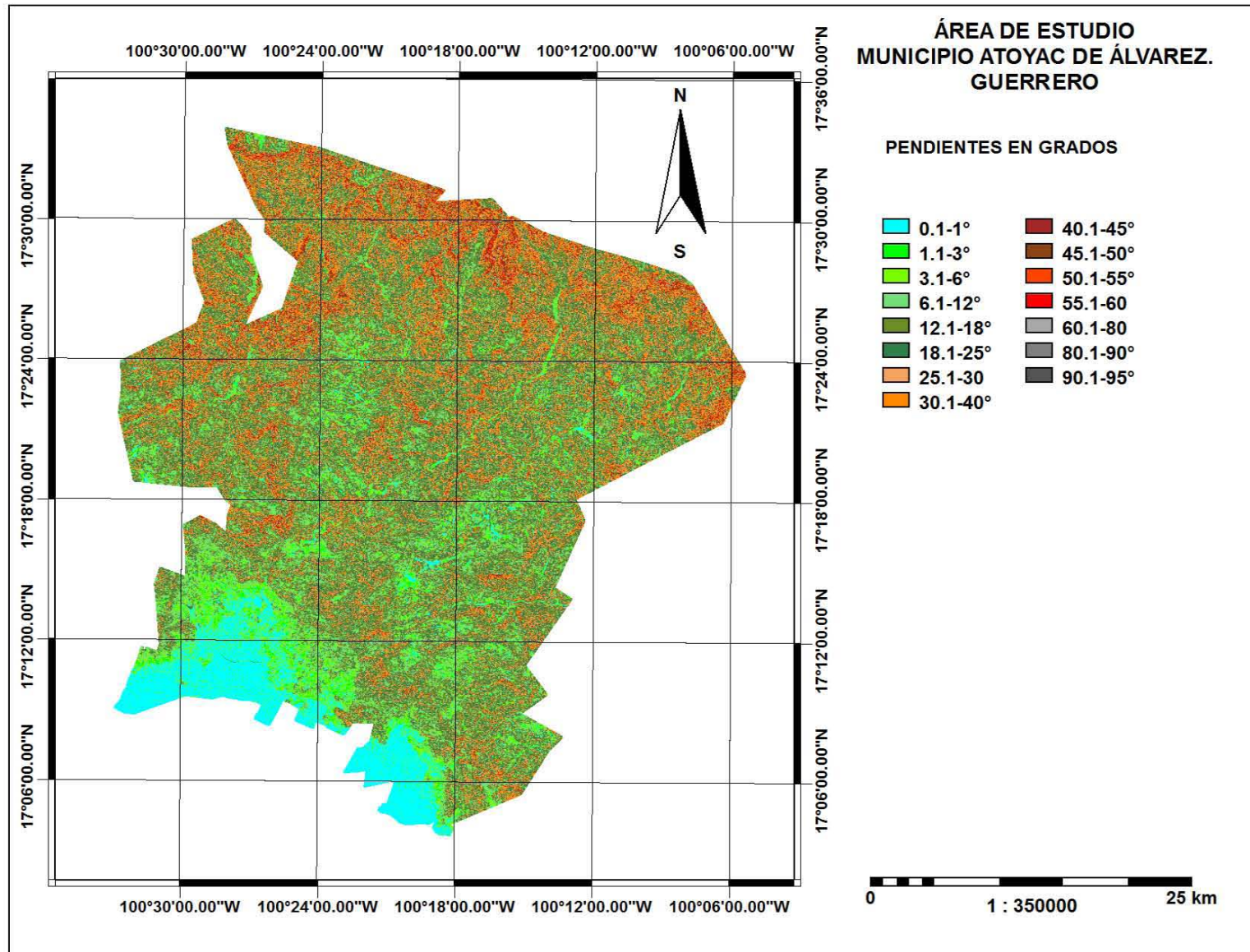


Figura III. 2. Distribución de la inclinación de las laderas en el área de estudio, en grados. Mapa obtenido a partir de la confección modelo digital de elevación que permitió elaborar este mapa por medio de las bases digitales de curvas de nivel del INEGI (2009).

III.5.2. Clima

El estado de Guerrero está expuesto a la influencia de masas de aire húmedo procedentes del Océano Pacífico en sus laderas de barlovento, lo que contribuye a la presencia de un clima en gran medida isotermal, salvándolo de los efectos de continentalidad, los cuales consisten en enfriamientos y calentamientos excesivos en invierno y verano, respectivamente (UAGro a, 2006).

El gradiente altitudinal del área de estudio comprende de 100 - 3400 msnm, se presentan varios tipos climáticos, de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (2004) (Figura III. 3).

El tipo climático es: (A)C(w2) se refiere a un clima semicálido (del grupo de los C) subhúmedo (García, 2004), considerado como el más húmedo de los climas subhúmedos, tiene un régimen de lluvias de verano, con canícula (se le denomina así a una pequeña temporada menos húmeda que se presenta en la mitad caliente y lluviosa del año; se manifiesta como una merma en las cantidades de lluvia de los meses veraniegos), presenta una temperatura media anual mayor a los 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C, con una oscilación de la temperatura menor a 5°C (isotermal), la marcha anual de la temperatura es de tipo Ganges, ya que el mes más caliente del año, se presenta antes del solsticio de verano. Se encuentra dentro del gradiente altitudinal de 700-3100 msnm, con una superficie de 38 615.21 hectáreas.

El tipo de clima Aw0 corresponde a cálido subhúmedo, considerándose el tipo más seco de los climas Aw (García, 2004). Posee una superficie de 19 890.21 hectáreas y se encuentran dentro del rango altitudinal de 100-900 msnm. Presenta un promedio de temperatura media anual de 25.2°C y un promedio de precipitación media anual de 930.8 mm, presentándose la temperatura máxima en el mes de mayo con 27.1°C y la mínima temperatura en el mes de enero con 22.6°C. Posee una oscilación de temperatura de 4.5°C, que lo ubica en la categoría de isotermal.

El tipo de clima Aw1 es cálido subhúmedo, de humedad intermedia con respecto a los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano (García, 2004), presenta canícula y una temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C, con una oscilación de la temperatura menor a 5°C (isotermal); el mes más caliente del año se presenta antes del solsticio de verano (marcha anual de la temperatura tipo Ganges). Presenta una superficie de 37 191.98 hectáreas y se encuentra entre los 100 -1400 msnm.

El tipo de clima Aw"2 se refiere a un clima cálido subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos (García, 2004), con régimen de lluvias típicamente de verano y presencia canícula; la temperatura media anual es de alrededor de 25.3°C, la variación de la temperatura del mes más caliente respecto al mes más frío es menor a 5°C (isotermal); la marcha anual de la temperatura es de tipo Ganges, ya que el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano y con una

oscilación térmica de 2.7°C entre el mes más frío y el más caliente del año, que lo ubica en la categoría de isotermal; la temperatura máxima se presenta en mayo con 26.7°C, por lo que la marcha anual de la temperatura es de tipo Ganges. La precipitación media anual es del orden de los 1 668.0 mm, siendo julio el mes de mayor precipitación (322.7 mm). Ocupa una superficie de 43 926.44 hectáreas y se encuentra dentro del gradiente altitudinal de 200-2100 m.

El clima seco BS1(h´)w es semiárido cálido con temperatura media anual sobre los 22.0°C y temperatura del mes más frío de 18.0°C. Presenta lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal entre un 5 al 10 % de la lluvia anual. Posee una superficie de 6 449.57 ha, y se localiza dentro del intervalo altitudinal de 100-200 msnm.

El clima C(w2) se refiere a un clima templado subhúmedo (el más húmedo de los subhúmedos), con régimen de lluvias típicamente de verano con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente 22°C, siendo enero el mes más frío y mayo el más caliente del año, con 11.6 y 16.1°C respectivamente; debido a que la temperatura media del mes más caliente está por debajo de los 18°C, presenta verano fresco y largo; posee una oscilación térmica de 4.5°C, que lo ubica en la categoría de isotermal. La precipitación anual oscila entre 200 a 1800 mm y la precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual, siendo los meses de junio a septiembre los de mayor precipitación (García,

2004). Se encuentra dentro las altitudes comprendidas de 1200- 3400 msnm y posee una superficie de 9 591.52 hectáreas (UAGro b, 2009).

El tipo de clima Cb(w2,) es un clima templado semifrío húmedo, con verano fresco y largo, el más húmedo de los templados, con lluvias en verano, presenta canícula, y temperatura media anual entre 5°C y 12°C , temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, menos de cuatro meses con temperatura mayor a 10°C, subhúmedo, precipitación anual entre 200 y 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual., la variación de la temperatura del mes más caliente respecto al mes más frío es menor a 5°C (isotermal), la marcha anual de la temperatura es de tipo Ganges, ya que el mes más caliente del año se presenta antes del solsticio de verano. Se localiza con una superficie de 186.64 hectáreas y se ubica en el rango altitudinal de 2600 -3400 msnm.

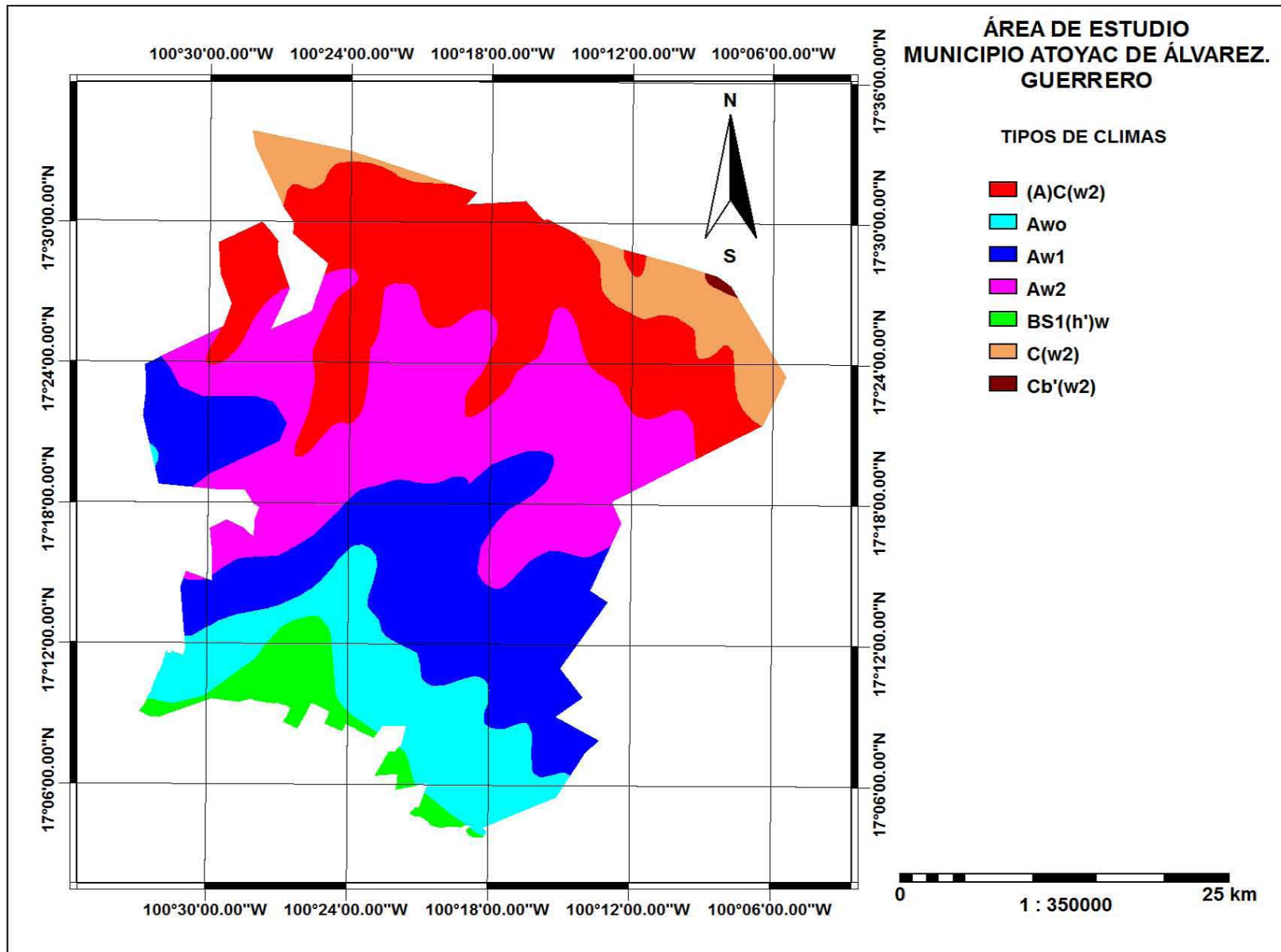


Figura III. 3. Distribución de los tipos de climas. Mapa obtenido a partir de las bases digitales del INEGI (2009).

III. 5.3. Temperaturas y Precipitación pluvial

Las temperaturas del área se encuentran dentro de los intervalos de 12°C hasta 28°C, encontrándose la zona con mayor distribución de temperaturas dentro del rango de 24°C hasta 26°C, se localiza en altitudes desde los 200 msnm hasta los 1 500 msnm (Figura III. 4).

Las precipitaciones del territorio se encuentran desde los intervalos de 800 mm hasta los 2 500 mm, predominando el rango de 1 500 a 1 800 mm, ubicado dentro de los gradientes altitudinales desde 300 msnm hasta los 3 300 msnm. Las precipitaciones se encuentran entre los elementos climáticos de mayor variabilidad temporal y espacial. Su ubicación con respecto a los gradientes altitudinales fluctúa desde los 100 msnm hasta los 2 100 msnm (Figura III. 5).

El área de estudio posee cinco zonas térmicas, una zona muy cálida, una cálida, una semicálida, una templada y una semifría, predominando la zona cálida, con una superficie de 69,050.14 ha y con un gradiente altitudinal, que va desde los 200 msnm hasta los 2 100 msnm (Figura III. 6).

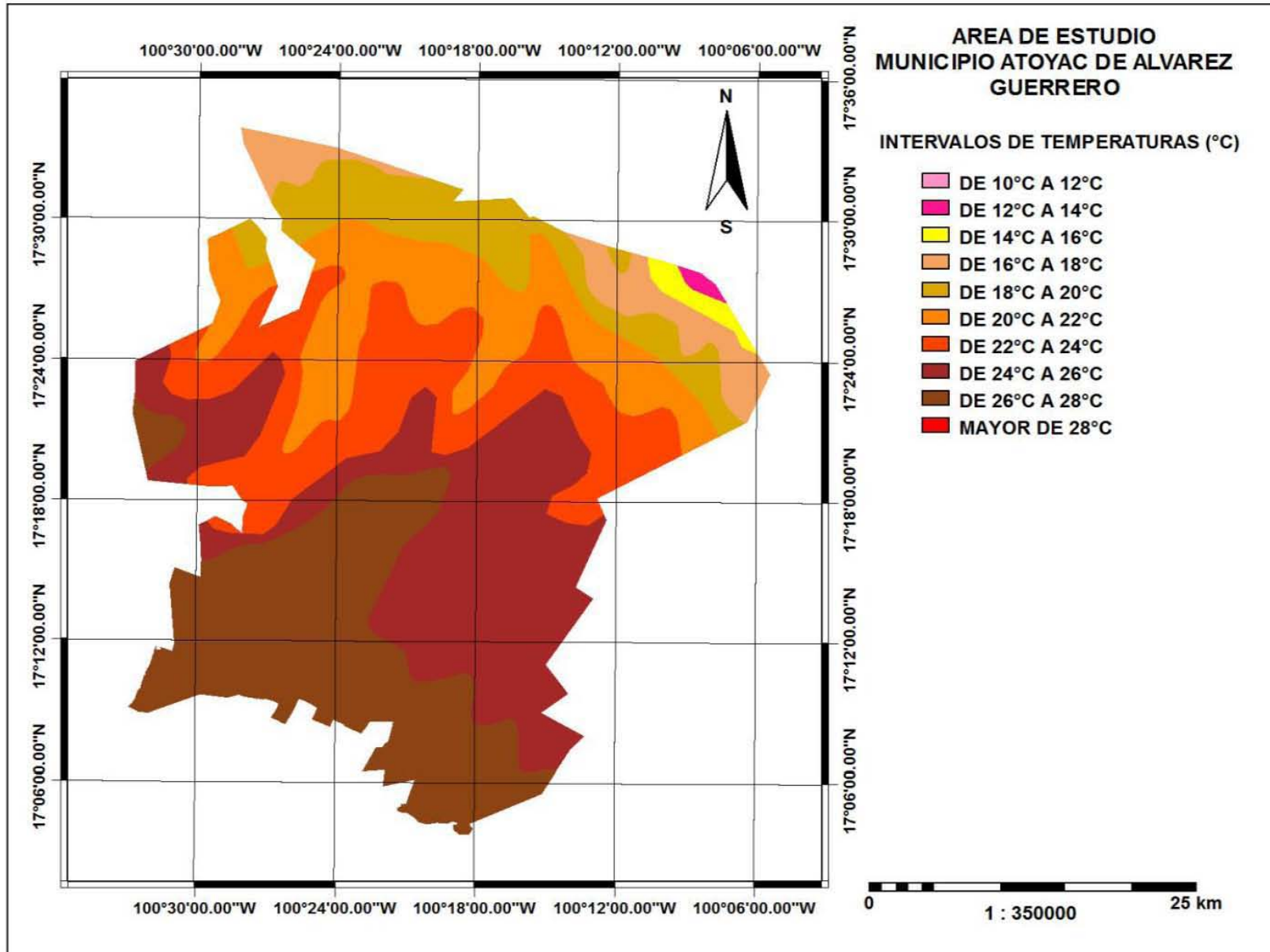


Figura III. 4. Distribución de la temperatura del aire, según INEGI (2009).

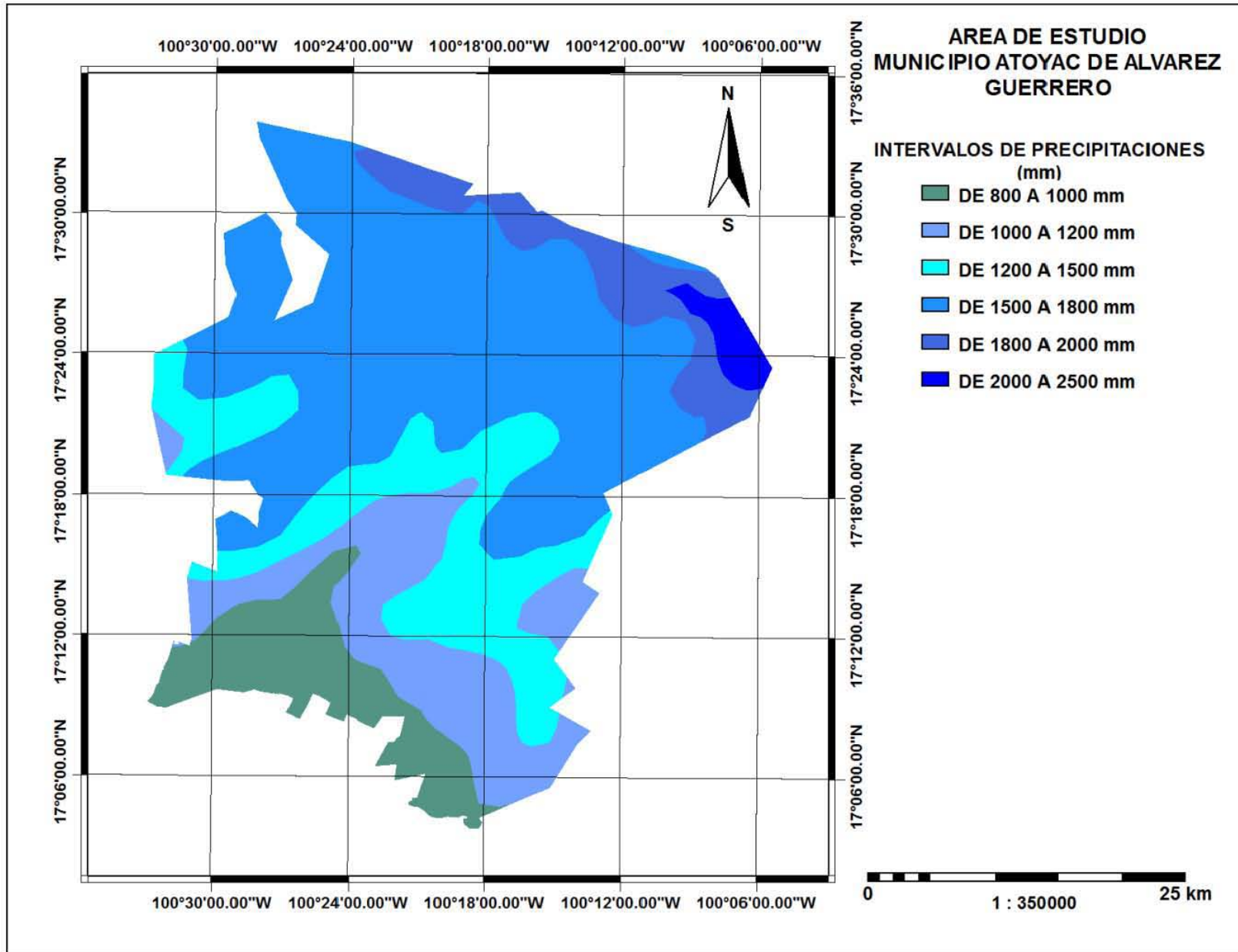


Figura III. 5. Distribución de la precipitación media anual (mm), según INEGI (2009).

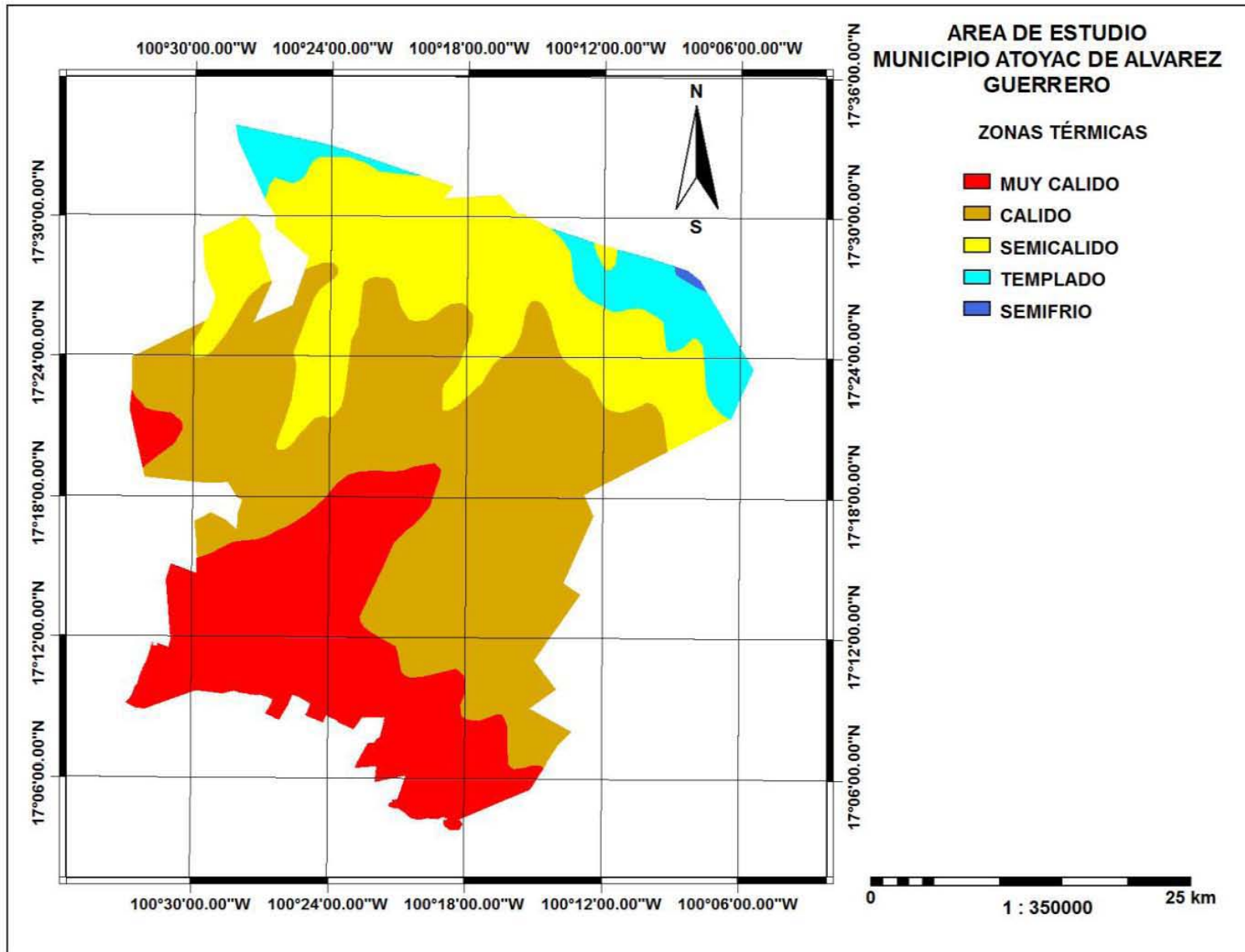


Figura III. 6. Distribución de las zonas térmicas, según INEGI (2009).

III.5.4. Suelos

La unidad cartográfica de suelos es la unidad básica de un mapa de suelos. En mapas de pequeña escala, las unidades cartográficas de suelos raramente comprenden suelos individuales, puesto que normalmente consisten en una combinación de un suelo dominante con suelos asociados. Cuando varios suelos de una unidad cartográfica se presentan en proporciones definidas en un determinado modelo geográfico, constituyen una asociación de suelos. Si tal modelo no existe, forman un suelo complejo (FAO, 1997).

La presencia de cada tipo de suelo en cada unidad cartográfica se establece en términos de sus características y cualidades, que hacen referencia a los requisitos edáficos de las plantas o de los usos de tierras para su manejo y conservación (FAO, 1997).

Las unidades edafológicas que conforman el territorio son Acrisol, Cambisol, Feozem, Litosol y Regosol. Las características más importantes de estas unidades de suelos que se describen a continuación, se basaron en la descripción de la Guía para la Interpretación Cartográfica de Edafología, Serie I, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), segunda edición (2008), presentándose a su vez la constitución de las claves edafológicas correspondiente a cada unidad principal, donde se componen por una clave jerarquizada constituida por uno, dos o hasta tres tipos de suelos, siendo predominante la primera unidad, así como mostrando su clase textural y sus fases físicas en

función de la presencia de fragmentos de rocas y materiales cementados, que limitan el uso agrícola del suelo y fases químicas que se refieren a la presencia de sales solubles en el suelo que limitan o impiden el desarrollo del cultivo, donde se destacan la fase salina y sódica, (Figura III. 7) y (Figura III. 8), Anexo 1.

Acrisol

Del latín acris, “agrío”, “ácido”, y solum, “suelo”; literalmente, suelo ácido. Es un suelo viejo, acre, pobre en nutrientes, fácilmente erosionable y arcilloso en su parte inferior. Localizado en zonas montañosas principalmente de origen volcánico (INEGI, 2008). Presenta color rojo o amarillo claro. Sustenta vegetación de bosque templado o tropical, por lo que es ampliamente usado para fines forestales. Son moderadamente susceptibles a la erosión. Dentro de ellos, se encuentra la subunidad Acrisol húmico que tiene como característica principal un alto contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo y con poco menos contenido de materia orgánica en las capas inferiores. Es la unidad que más predomina en el área, con una superficie de 12 3872.2 ha, ubicándose dentro en el gradiente altitudinal desde 100 msnm hasta los 2 800 msnm. Estos son suelos que se utilizan mucho en esta zona para el uso de la agricultura de frutales tropicales, incluyendo específicamente el café en la región; poseen textura media, con buena retención de agua y de nutrientes y con una profundidad efectiva aceptable, más de 50 cm de profundidad, que le permite el establecimiento del cultivo del café. Se encuentra la clave Ah+Bh+Hh/2, que se refiere a la unidad Acrisol húmico (Ah),

presenta textura media (2), considerándose suelos francos y posee en segundo y tercer orden las unidades de Cambisol húmico (Bh) y Feozem húmico (Hh) (INEGI, 2008).

Cambisol

Proviene del latín *cambiare* que significa “cambiar”, es decir suelo que cambia. Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados que se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima, excepto en zonas áridas. La principal característica de este tipo de suelos es que no presenta diferencias significativas entre el suelo y la roca que le dio origen; son moderadamente susceptibles a la erosión (INEGI, 2008). En el ejido abarcan una superficie aproximada de 10 313.17 ha, se encuentra distribuido en todo el gradiente altitudinal de 100 – 3 400 msnm. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que, además, puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. De acuerdo a su aptitud, puede ser utilizado para actividades silvopastoriles y agropecuarias, bajo acciones que ayuden a su conservación (líneas a nivel con piedras y plantas). La clave Bc+Be+Ao/2, predomina la unidad Cambisol cálcico (Bc) y, en segundo lugar, predomina la unidad Cambisol eútrico (Be); en tercer lugar aparece la unidad Acrisol órtico (Ao), que presenta textura media (2). La siguiente clave Bc+Hh+Re/2; presenta una unidad de Cambisol cálcico (Bc), como predominante, le continúa la unidad de Feozem háplico (Hh) como segunda

unidad y como tercera unidad presenta a Regosol eútrico (Re), su clase textura es media (2). Para el caso de la clave de suelo Bc+Re+I/2/LP; posee como unidad primaria a la de Cambisol cálcico (Bc), como segunda unidad a la de Regosol eútrico (Re) y tercera unidad aparece Litosol (I), presenta una fase lítica profunda (LP) y una clase textural media (2). La clave de suelo Bh+Hh/3; presenta como unidad primaria a la de Cambisol húmico (Bh), presenta una sola segunda unidad que es Feozem háplico (Hh) y su clase textural es fina (3). La clave de suelo Bh+Ah/3 tiene como unidad primaria a la de Cambisol húmico (Bh) y la de Acrisol húmico (Ah) como única unidad secundaria, su clase textural es fina (3) (INEGI, 2008).

Feozem

Proviene de la raíz griega Phaeo, 'pardo' y del ruso Zemljá, 'tierra', es decir, tierra parda. Son suelos ricos en materia orgánica y nutrimentos, con una amplia distribución ya que se les localiza desde zonas semiáridas, hasta templadas o tropicales. En condiciones normales mantienen casi cualquier tipo de vegetación, desarrollándose tanto en los terrenos planos como en los montañosos; su susceptibilidad a la erosión está relacionada con el terreno donde se encuentran. Cuando estos suelos son especialmente profundos, se utilizan con éxito en el desarrollo de actividades agrícolas de riego y de temporal, mientras que, localizados en laderas o pendientes, los Feozem se emplean en actividades pecuarias con resultados aceptables. La susceptibilidad a la erosión que

presentan es variable (INEGI, 2008). Posee una superficie de 11 384.10 ha, se encuentra en alturas comprendidas entre 100 y 200 msnm. La clave Hh+Re+Bc/2/n, pertenece a la unidad primaria de Feozem háplico (Hh), le suceden la unidad de Regosol eútrico (Re) y la de Cambisol cálcico (Bc), presenta una textura media (2) y una fase sódica (n). La clave edafológica de Hh+Re/2, posee una unidad primaria de Feozem háplico (Hh), presentan como segunda unidad al Regosol eútrico (Re) y una clase textural media (2) (INEGI, 2008).

Litosol

Proviene del griego lithos: piedra y solum: suelo, es decir, suelo de piedra. Son suelos muy delgados, con espesores menores a los 10 cm. Descansan sobre un estrato duro y continuo, como roca madre, tepetate o caliche, según el clima predominante soportan diversos tipos de vegetación. De amplia distribución en el país, son suelos poco aptos para el desarrollo de actividades agropecuarias. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión son muy variables dependiendo entre otros factores ambientales de la pendiente del terreno. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre (INEGI, 2008). En bosques y selvas su uso es forestal, sin embargo, si la pendiente del terreno es fuerte, la alternativa de uso es la conservación de la vida silvestre; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado. Posee una superficie de 8 380.04 ha, su distribución en cuanto a la altitud lo encontramos de 1200 a 3200 msnm, en el área de estudio. Se presenta la clave

de I+Re+Bc/2 donde la unidad primaria es Litosol (I) y como segunda unidad aparece la unidad de Regosol eútrico (Re) y como tercera la Cambisol cálcico (Bc), poseen textura media (2). Para el caso de la clave I+Re/2, pertenece a la unidad primaria de Litosol (I), como segunda unidad aparece la unidad de Regosol eútrico (Re) y poseen un textura media (2) (INEGI, 2008).

Regosol

Proviene del griego rhegos, 'manto', 'cobija'; se denomina así por ser la capa de material suelto que cubre la roca. Son suelos someros y claros similares a la roca que les dio origen. Se presentan en diferentes climas y asociados a vegetación muy diversa. Poseen una alta susceptibilidad a la erosión. Sus características de profundidad y pedregosidad los hacen poco atractivos para el desarrollo de la agricultura (INEGI, 2008). Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general, son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. Este suelo posee pendientes de 1° a 80°, se encuentra dentro del gradiente altitudinal de 100- 500 msnm, posee una superficie de 1899.72 hectáreas. La clave Re+Hh+Lc/2 presenta la unidad primaria de Regosol eútrico (Re), donde aparecen como segunda unidad la de Feozem háplico (Hh) y tercera unidad Luvisol cálcico (Lc), presenta una clase textural

media (2), esta última constituye suelos arcillosos, con mal drenaje, escasa porosidad, duros al secarse, donde se inundan fácilmente, posee una fase física lítica profunda, constituido por abundantes rocas que impiden la penetración de las raíces, también poseen una fase sódica con concentración de sodio, que limita el desarrollo de cultivos (INEGI, 2008).

Texturas

Con respecto a la textura de los suelos del área de estudio, existen dos tipos de texturas principales; la textura media (2) que abarca la mayor superficie con 149 870.22 ha, y suelos con texturas finas (3) que se encuentran con un área de 5 979.03 ha. (Figura III. 9)

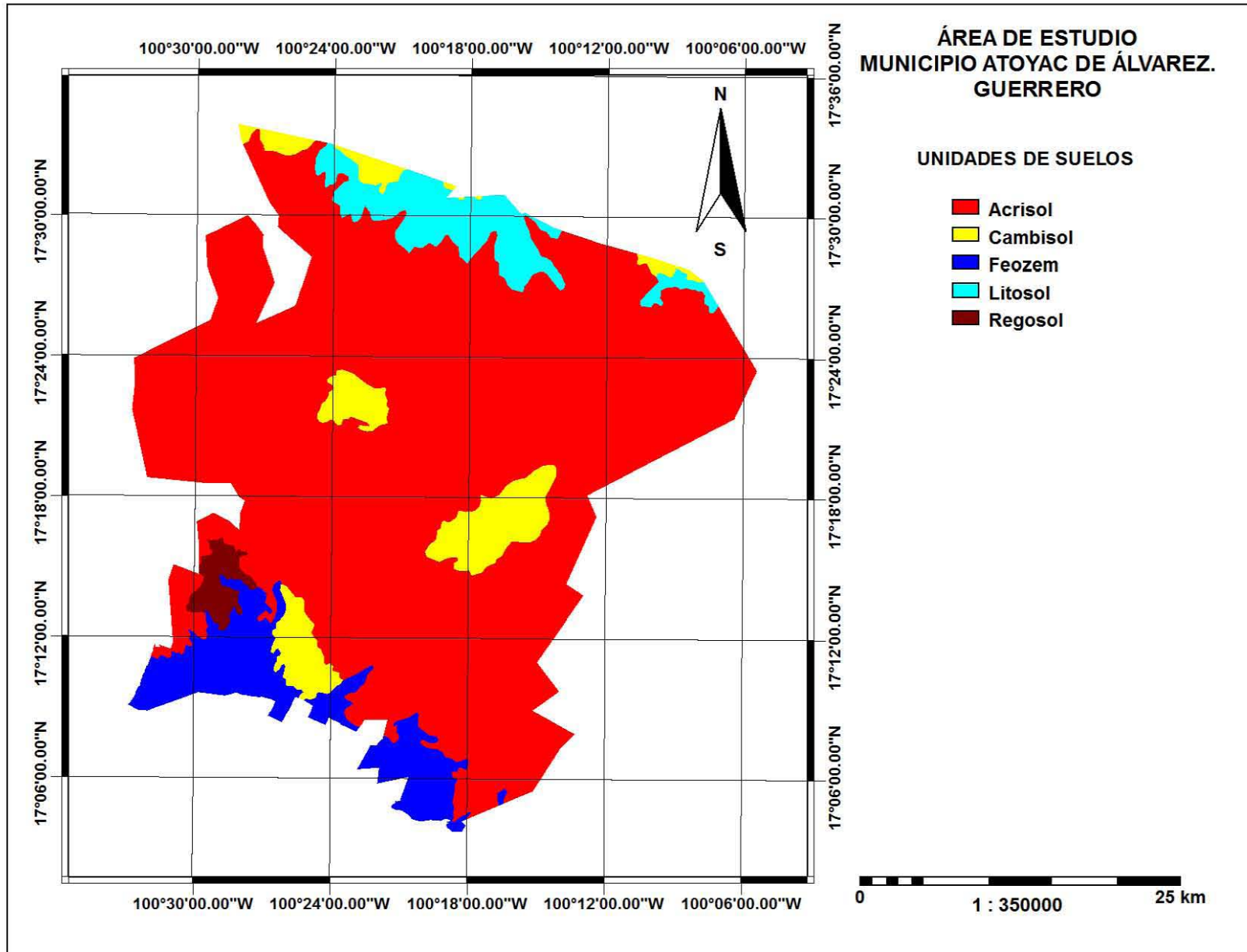


Figura III. 7. Distribución de las unidades de suelos. Según INEGI (2009).

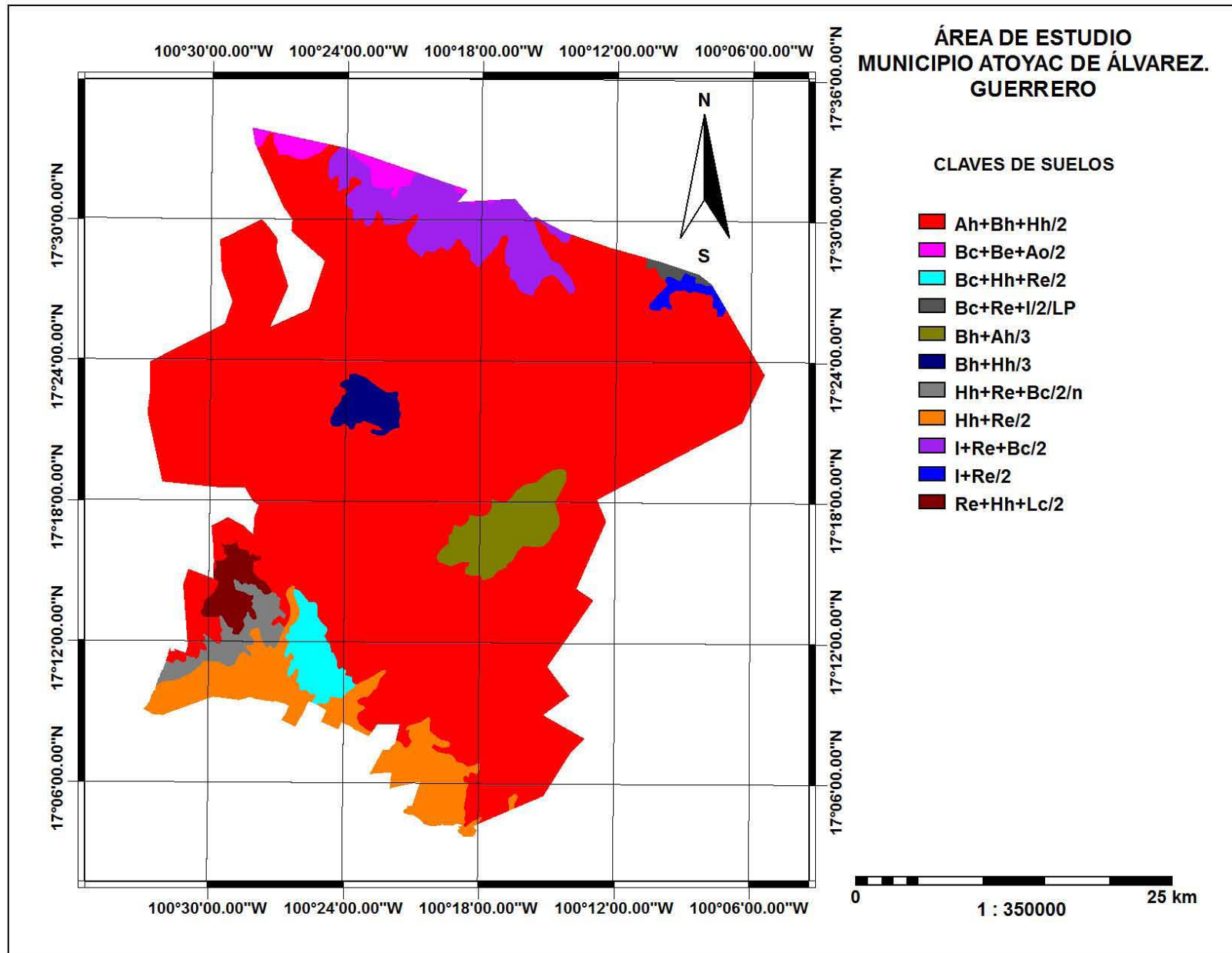


Figura III. 8. Distribución de las claves de las unidades de suelos asociadas en el área de estudio. Según INEGI (2009).

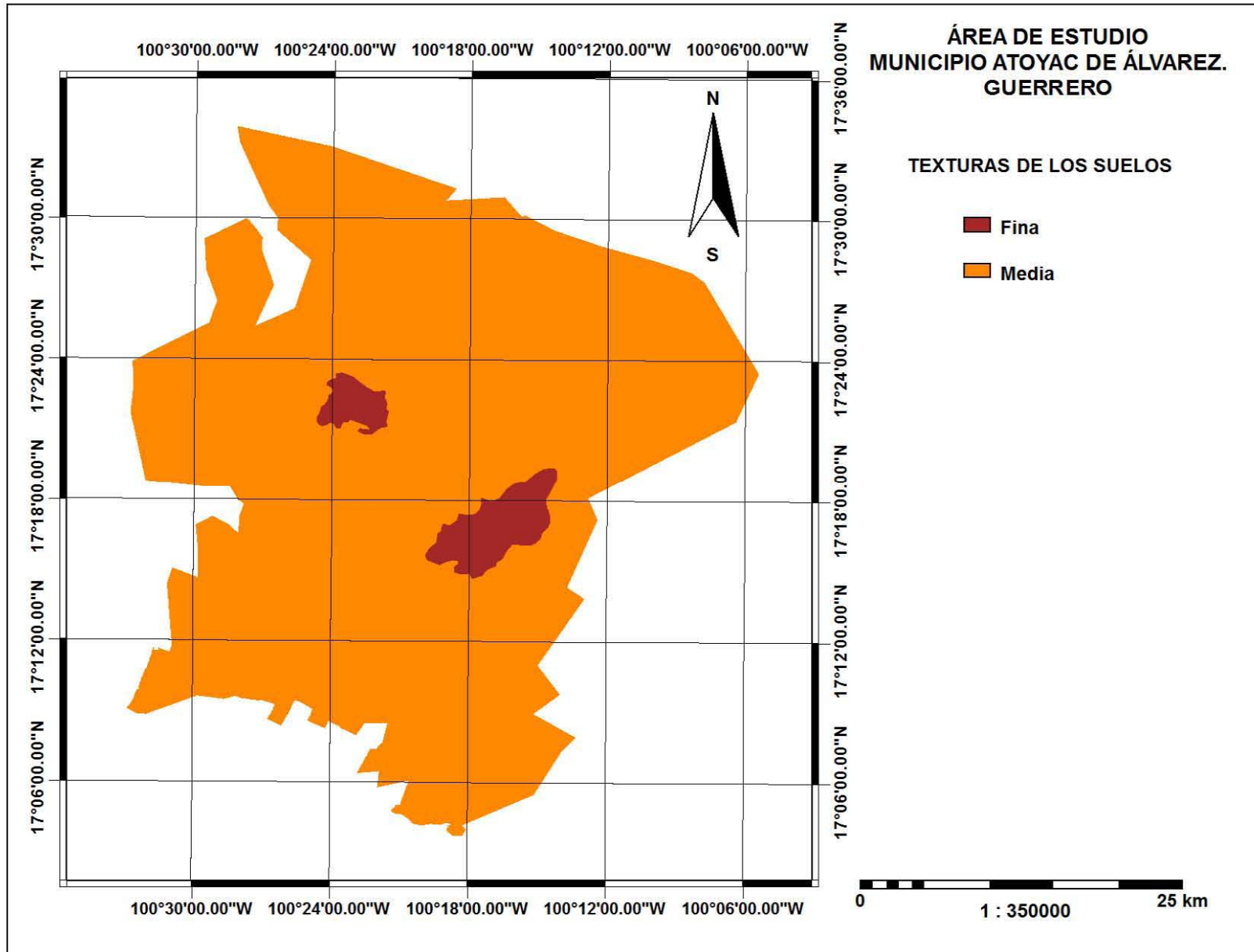


Figura III. 9. Distribución de las texturas de los suelos en el territorio de estudio. Según INEGI (2009).

III.6. Elaboración de las bases digitales principales.

La metodología establecida para las relaciones entre los diferentes parámetros, la determinación de los potenciales físicos y la zonificación de *Coffea arabica*, se desarrolló con el empleo del SIG ILWIS v. 3.31 y sus operaciones *Slope, Dem Visualization, Slicing, Polygon to Raster, Attribute Map y Cross*, como herramientas básicas. Los datos para la obtención de los diferentes potenciales naturales, se obtuvieron a partir de las bases digitales sobre relieve, precipitación, temperatura y edafología del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2009), a una escala de 1: 250 000.

III.6.1. Relieve

El empleo de operaciones propias del software del SIG utilizado permitieron obtener y procesar un modelo digital de elevación, a partir de las curvas de nivel, con una equidistancia de 20, y obtener la hipsometría del relieve con un intervalo altitudinal de 100 y sus pendientes clasificadas en cuatro intervalos: 0.1° a 18°, 18.1° a 25°, 25.1° a 40° y mayores de 40°.

III.6.2. Precipitación

La representación cartográfica de la precipitación pluvial media anual y de la temperatura, según INEGI (2009), fueron procesadas a partir de la tabla asociada en cada mapa para obtener su expresión *raster*. En este aspecto se obtuvo un

mapa de intervalos de precipitación, a partir del mapa vectorial de precipitación anual de la zona.

III.6.3. Temperatura

La representación cartográfica de la temperatura, según INEGI (2009) fueron procesadas a partir de la tabla asociada que contiene el mapa con sus atributos. Se adquirió un mapa de intervalos de temperaturas, a partir del mapa vectorial de temperatura anual de la zona, donde más tarde se convirtió dicho mapa a formato raster.

III.6.4. Edafología

La información edafológica (INEGI, 2009) fue procesada en dos bases de datos, la primera sobre las unidades de suelo del área y, la segunda, sobre las claves de suelos, donde aparecen los suelos jerarquizados, según el predominio de una unidad y subunidad, sobre otras unidades, reflejando sus fases químicas y líticas, y la clase textural (fina, media o gruesa). Estas bases de datos digitalizadas fueron procesadas también a partir de la tabla asociada en el mapa edafológico con sus atributos. Se definieron dos mapas, a partir del mapa vectorial de suelo de la zona, utilizando la operación *Attribute Map* y luego convirtiéndolos a mapa raster por la operación *Polygon to Raster*. Un mapa que se obtuvo fue el de unidades de suelo, donde muestra las distintas unidades de suelo distribuidas en las áreas de estudio y el mapa de claves de suelos, donde aparecen las distintas claves jerarquizadas

de suelos con el predominio de una unidad y subunidad, sobre otra unidad, así como sus fases químicas y líticas que poseen, y la clase textural, en este caso si es fina, media o gruesa. Ambos mapas se convirtieron a formato raster con sus respectivos atributos.

III.7. Bases para la obtención de los potenciales físico-geográficos.

La obtención de los distintos mapas temáticos del territorio permite hacer un análisis objetivo de las zonas de potencial elevado para el café, a partir de las diferentes operaciones del SIG, relacionándola a su vez, con una base de datos sustentada, mediante una tabla de atributos que viene asociada a cada mapa temático, lo que establecería una interrelación con los distintos elementos naturales reflejados en cada uno de los mismos y la especie de café, donde se obtendría realmente un ordenamiento agroecológico apropiado para el cultivo de esta planta y permitiría una mejor definición de los potenciales físicos del territorio.

Una vez procesadas y analizadas las diferentes variables anteriores, se realizó un análisis para cada mapa temático con su tabla de atributo y se definió para cada variable qué potencial le correspondería en función del tipo de mapa temático que estuviéramos analizando; los potenciales definidos para este trabajo fueron denominados como: Óptimos, Medios, Bajos y Muy Bajos. Los valores de estos componentes seleccionados se sintetizan (partiendo de los mapas originales), para adecuar sus parámetros con los límites, que según los criterios más aceptados, producen cambios importantes para la agroecología de *Coffea arabica*.

III.7.1. Establecimiento de potenciales físico-geográficos para la zonificación agroecológica de *Coffea arabica*.

A partir de los resultados obtenidos de los mapas temáticos de hipsometría y las pendientes, por la componente geomorfológica; los rangos de precipitaciones y de temperaturas media anuales, así como, las zonas de temperaturas, como aspectos climáticos; y las unidades de suelos y sus claves jerarquizadas en el tema edafológico, se llevó a cabo el trabajo de determinación de los potenciales físicos. Sus respectivas tablas de atributos asociadas a cada mapa temático, permitieron analizar y delimitar las áreas potenciales para el café, estableciendo una nueva columna con un nuevo campo o dominio (*domain*) para establecer cuatro tipos de potenciales, donde se obtuvieron los mapas de clases de potenciales para cada mapa temático, los potenciales definidos para este trabajo fueron denominados como: Óptimos, Medios, Bajos y Muy Bajos, lo que establecería una interrelación con los distintos elementos naturales reflejados en cada uno de los mismos y la especie de café, donde se obtendría realmente un ordenamiento agroecológico apropiado para el cultivo de esta planta y permitiría una mejor definición de los potenciales físicos del territorio.

Los valores de estos componentes seleccionados se sintetizan (partiendo de los mapas temáticos originales), para adecuar sus parámetros con los límites, que según los criterios más aceptados, producen cambios importantes para la agroecología de *Coffea arabica*.

Para determinar las condiciones favorables para la especie *Coffea arabica* en un lugar determinado es indispensable analizar las condiciones edafo-climáticas y geomorfológicas, que influyen en su cultivo, con vistas al establecimiento de una zonificación agroecológica. Es importante destacar que el 78% de los cafetales mexicanos se encuentran arriba de los 600 msnm, lo que aunado a los microclimas y condiciones locales, permiten una alta calidad de café (SAGARPA, 2005). Un elemento importante del relieve a tener en cuenta es la pendiente, pues cuando esta rebasa un límite donde las labores de cultivo se hacen extremadamente difíciles, ocurre erosión en los suelos y, por ende, se reducen los rendimientos (Soto et al., 2001). En este sentido, la productividad de la especie *Coffea arabica* depende de la pendiente, prefiriendo las zonas ligeramente onduladas, que faciliten la infiltración del agua y no incrementen la erosión. Cuando la pendiente es igual o menor a 18°, se puede plantar con cualquier densidad; mientras en pendientes superiores a 18° sólo se siembra con densidades medias, siendo requisito indispensable, utilizar medidas de conservación de suelos, incluida la cobertura viva.

Las zonas cafetaleras están situadas en un rango altitudinal que varía de los 400 a los 1 600 msnm. El mayor porcentaje de los cafetales se ubican a una altura superior a los 700 msnm, lo que aunado a factores de baja luminosidad, temperaturas frescas, precipitación suficiente y efectos de latitud, favorecen la fructificación, crecimiento y calidad del café (SAGARPA, 2008). El factor referido a

la altura sobre el nivel del mar, incide en forma directa en la temperatura e indirectamente en la precipitación, principalmente en la distribución de lluvia (Vega, 1995). La altitud óptima para el cultivo de café se localiza entre los 1 200 a 1 700 msnm, no obstante en costa rica se desarrolla café entre 500 a 1 700 msnm (Vega, 1995). Guerrero posee zonas aptas para la producción de cafés de estricta altura y especiales porque las condiciones en que se produce café son únicas y favorables para una estrategia de diferenciación de calidades (SAGARPA, 2008). Al respecto, el 35% de la superficie de café está sembrada a una altitud superior a los 900 metros, donde se producen cafés de altura y estrictamente altura, el 43.5% se encuentra a una altura entre los 600 y 900 msnm, con potencial para producir café con calidad de exportación prima lavado y el restante 21.5% de la superficie se encuentra por debajo de los 600 msnm., donde generalmente se producen cafés de calidades inferiores (SAGARPA, 2008).

Potencial hipsométrico

Respecto al relieve, se consideraron los criterios de optimización altitudinal comprendida entre 1 000 y 1 500 msnm, y de pendiente, entre 0.1° y 18°, adecuada para el establecimiento del cultivo (Fundación PRODUCE de Chiapas e ITESM, 2003), lo que permitió establecer los potenciales siguientes según la hipsometría. Se consideraron las altitudes entre 1 000 y 1 500 msnm como potenciales Óptimos, considerando este gradiente en la zona. Los potenciales Medios se consideraron entre 600 a 900 msnm y entre 1 600 y 1 800 msnm. Para

los potenciales Bajos se consideraron los valores entre 400 a 500 msnm y 1 900 a 2 000 msnm. El resto de los valores de altitudes se consideraron como potenciales Muy Bajos. Esta clasificación permitió la representación cartográfica de la distribución de los potenciales para este nuevo mapa temático (Tabla III.1) y (Figura III. 10).

Tabla III. 1. Potenciales hipsométricos del territorio para el cultivo de *Coffea arabica*.

Hipsometría	Potencial hipsométrico
10	Muy Bajo
50	Muy Bajo
100	Muy Bajo
200	Muy Bajo
300	Muy Bajo
400	Bajo
500	Bajo
600	Medio
700	Medio
800	Medio
900	Medio
1000	Optimo
1100	Optimo
1200	Optimo
1300	Optimo
1400	Optimo
1500	Optimo
1600	Medio
1700	Medio
1800	Medio
1900	Bajo
2000	Bajo
2100	Muy Bajo
2200	Muy Bajo
2300	Muy Bajo

2400	Muy Bajo
2500	Muy Bajo
2600	Muy Bajo
2700	Muy Bajo
2800	Muy Bajo
2900	Muy Bajo
3000	Muy Bajo
3100	Muy Bajo
3200	Muy Bajo
3300	Muy Bajo
3400	Muy Bajo
3500	Muy Bajo
3600	Muy Bajo

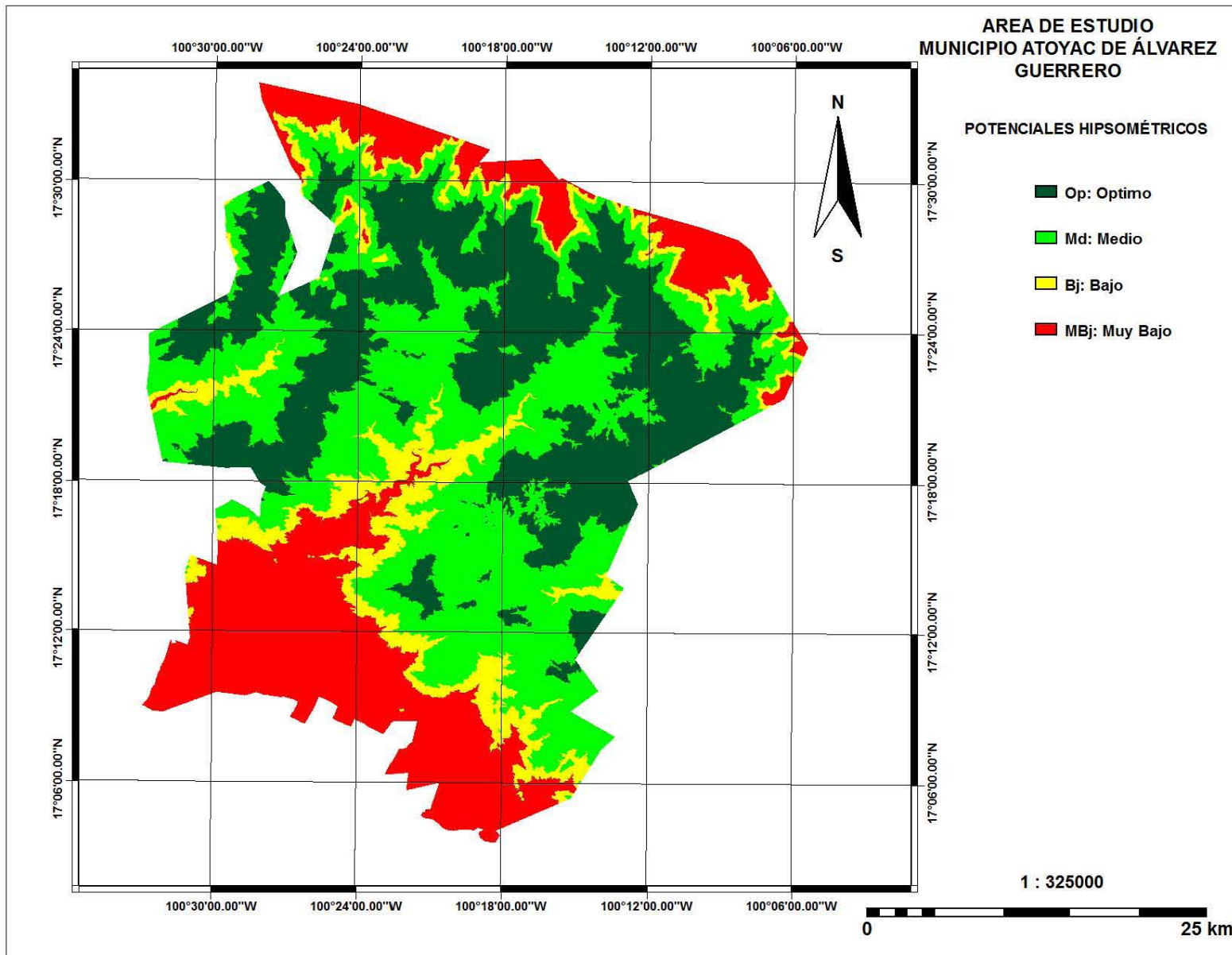


Figura III. 10. Potencial de cultivo de café con base en la hipsometría del territorio.

Potencial de pendiente

Los suelos en condiciones topográficas inadecuadas, como alta pendiente, tienen problemas con la erosión hídrica, reduciendo la fertilidad del suelo (Cabezas, 1999). El declive del suelo no debe exceder el 50 % (27°) de inclinación para que se faciliten las labores agronómicas (Arango, 2007). Se sugieren suelos ligeramente ondulados, que posean pendientes menores del 40 % (21°) (Zuviria & Valenzuela, 1994, citado por Portilla & Geissrt Kientz, 2006).

La magnitud de la pendiente influye en el escurrimiento y en las propiedades físicas del suelo, principalmente en la textura. En áreas con altas pendientes, la infiltración del agua es menor, por lo que el escurrimiento del agua es mayor, ocasionando un efecto erosivo más fuerte, transportando con mayor facilidad las partículas finas de la superficie del suelo (Krasilnikov et al. 2011). La textura en las capas superficiales es más gruesa, la porosidad total y la capacidad de retención de humedad son menores, el tamaño de los poros y la densidad aparente son más altas, y el intercambio gaseoso es mayor (Krasilnikov et al. 2011).

En las zonas con bajas pendientes la infiltración del agua aumenta y el escurrimiento superficial es menor (Krasilnikov et al. 2011). La textura de las capas superficiales tienden a ser más fina, la porosidad total y la capacidad de retención de humedad son mayores, el tamaño de los poros y la densidad aparente son más bajas, y el intercambio gaseoso es mas tortuoso (Krasilnikov et al. 2011). La longitud de la pendiente contribuye a aminorar o acrecentar el efecto

erosivo sobre la superficie del suelo; en terrenos con longitudes grandes el efecto erosivo es mayor, mientras que en longitudes pequeñas el efecto erosivo sobre la superficie del terreno es menor (Krasilnikov et al. 2011).

Las pendientes que se consideraron como potencial Óptimo se encuentran desde 0.1° hasta 18° de tipo suave y tendida. Como potencial Medio, se estimó a las pendientes que se encontraban dentro de los intervalos de 18.1° a 25°; los potenciales Bajos se ubicaron dentro del rango de 25.1° hasta 40°; y el resto se consideró como potencial Muy Bajo (Tabla III.2) y (Figura III.11).

Tabla III. 2. Potencial de las pendientes del territorio para el cultivo de *Coffea arabica*.

Pendientes en grados	Potenciales de pendientes en grados
0.1°-1°	Optimo
1.1°-3°	Optimo
3.1°-6°	Optimo
6.1°-12°	Optimo
12.1°-18°	Optimo
18.1°-25°	Medio
25.1°-30°	Bajo
30.1°-40°	Bajo
40.1°-45°	Muy Bajo
45.1°-50°	Muy Bajo
50.1-55°	Muy Bajo
55.1°-60°	Muy Bajo
60.1°-80°	Muy Bajo
80.1°-90°	Muy Bajo

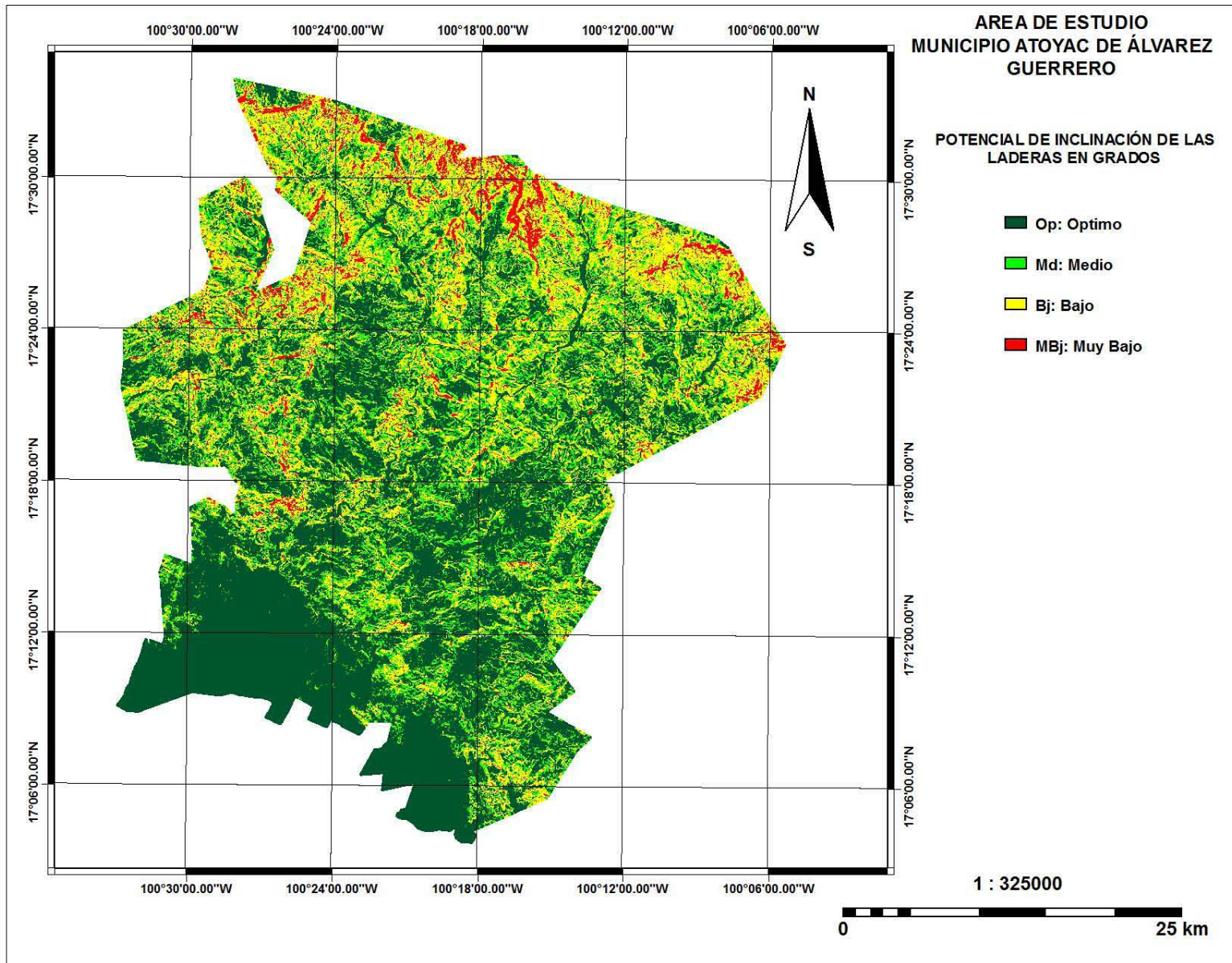


Figura III. 11. Potencial de cultivo de café con base en la inclinación de las laderas, en grados.

Potencial de precipitación pluvial

Para la evaluación de la precipitación y la temperatura, se consideraron los rangos de precipitación, en mm, y los rangos de temperaturas, en °C, adecuados para el desarrollo del cultivo.

El café se adapta a diferentes regímenes de lluvia inclusive se considera que posee cierta tolerancia a la sequía (Vega, 1995). El intervalo de precipitaciones óptimas para el café varía desde los 1 000 a 3 000 mm, por lo que es una especie adaptada a diferentes regímenes de lluvia, tolerando incluso épocas no muy prolongadas de sequía (López, 2011). El café crece bajo una gran variedad de regímenes de lluvia (Maestri y Barros, 1981). Existe diversidad de opiniones sobre los intervalos óptimos de precipitación para el cafeto (Rojas, 1987). Una precipitación entre 1600 mm y 1800 mm es ideal, el mínimo absoluto es cerca de 1000 mm (Carvajal, 1972, citado por Rojas, 1987). Diferentes estudios ubican rangos óptimos variables que van desde los 1 600 a 1 800 mm al año hasta un rango más complejo de 1 800 a 2 800 mm (Vega, 1995). Una buena distribución de la lluvia y la existencia de un período seco corto favorecen el crecimiento del café (Maestri y Barros, 1981). La precipitación óptima está entre 1200 mm y 1800 (Alegre, 1959, citado por Maestri y Barros, 1981). Las lluvias intensas durante todo el año, son responsables por varias cosechas sucesivas y baja productividad (Maestri y Barros, 1981). Se determinaron como potenciales Óptimos, aquellos que se encuentran dentro de los 1 500 a 1 800 mm y de 1 800 a 2 000 mm. Los

potenciales Medios se ubican en los intervalos de 1 200 a 1 500 mm; los potenciales Bajos en el rango de 1 000 a 1 200 mm y de 2 000 a 2 500 mm; y el potencial Muy Bajo se ubicó dentro del rango de 800 a 1 000 mm (Tabla III. 3) y (Figura III. 12).

Tabla III. 3. Potencial de cultivo de café con base en la precipitación.

Intervalos de precipitación pluvial	Potenciales de intervalos de precipitación pluvial
DE 800 A 1000 mm	Muy Bajo
DE 1000 A 1200 mm	Bajo
DE 1200 A 1500 mm	Medio
DE 1500 A 1800 mm	Optimo
DE 1800 A 2000 mm	Optimo
DE 2000 A 2500 mm	Bajo

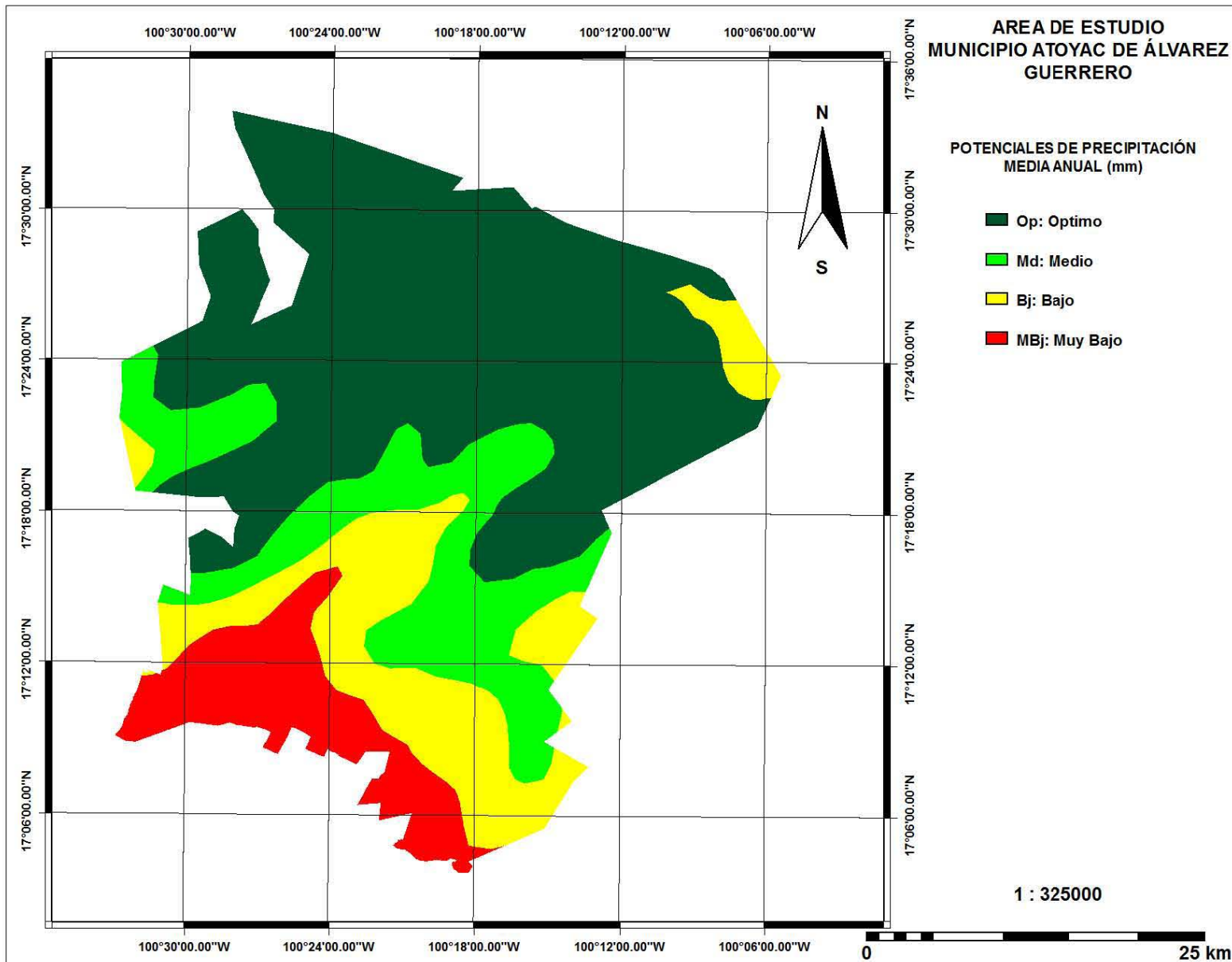


Figura III. 12. Potencial de cultivo de café con base en la precipitación pluvial (mm).

Potencial de temperatura

La temperatura, es el factor ambiental que se correlaciona más estrechamente con el crecimiento de la planta (Maestri y Barros, 1981). Al igual que en otras plantas el cafeto necesita crecer bajo un régimen de termo-período que beneficie el crecimiento vegetativo y el sistema radicular (Carvajal, 1972.). La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica en el rango de 17 a 23°C, con una oscilación diaria máxima de 10°C, la mínima media entre 15 a 17°C y máxima media entre 25 a 27°C (Vega, 1995). La temperatura es el componente más interrelacionado con el crecimiento de las plantas, con temperaturas bajas la planta se desarrolla lentamente, por lo que el fruto también; por el contrario, con temperaturas elevadas, el nacimiento de los frutos es muy rápido y se producen anomalías en las flores, además la incidencia de plagas y enfermedades es mayor (López, 2011). Según el estado fenológico, los requerimientos de temperatura pueden variar, ya que, en la germinación, es conveniente temperaturas cercanas a los 24°C para que de este modo la semilla germine en tres semanas, mientras que con temperaturas de 15°C puede llegar a tardar hasta tres meses (López, 2011). El café no tolera un ámbito muy amplio de temperaturas (Maestri y Barros, 1981). Promedios de temperaturas por debajo de los 16°C y sobre los 23°C no son adecuadas, encontrándose el óptimo entre 18 y 21°C (Alegre, 1959, citado por Maestri y Barros, 1981). El crecimiento vegetativo parece favorecerse más con la disminución de temperatura que el aumento de la misma (Rojas, 1987). Las altas

temperaturas inhiben el crecimiento, ya que arriba de 24°C comienza a disminuir la fotosíntesis neta, tornándose insignificante a 34°C (Rojas, 1987). Se determinó como potencial Óptimo tenemos aquellas zonas que se encuentran dentro de los rangos de 18°C a 22°C. Para el potencial Medio se identificaron las zonas entre 14°C a 18°C y de 22°C a 24°C. El potencial Bajo se localizó entre los 12°C a 14°C y los 24°C a 26°C. Finalmente, como potencial Muy Bajo se distribuye entre los 26°C a 28°C. (Tabla III. 4) y (Figura III.13).

Tabla III. 4. Potencial térmico para el cultivo del café (*Coffea arabica*).

Intervalos de temperaturas (°C)	Potenciales de intervalos de temperaturas
DE 10 A 12°C	Muy Bajo
DE 12 A 14°C	Bajo
DE 14 A 16°C	Medio
DE 16 A 18°C	Medio
DE 18 A 20°C	Optimo
DE 20 A 22°C	Optimo
DE 22 A 24°C	Medio
DE 24 A 26°C	Bajo
DE 26 A 28°C	Muy Bajo
MAYOR DE 28°C	Muy Bajo

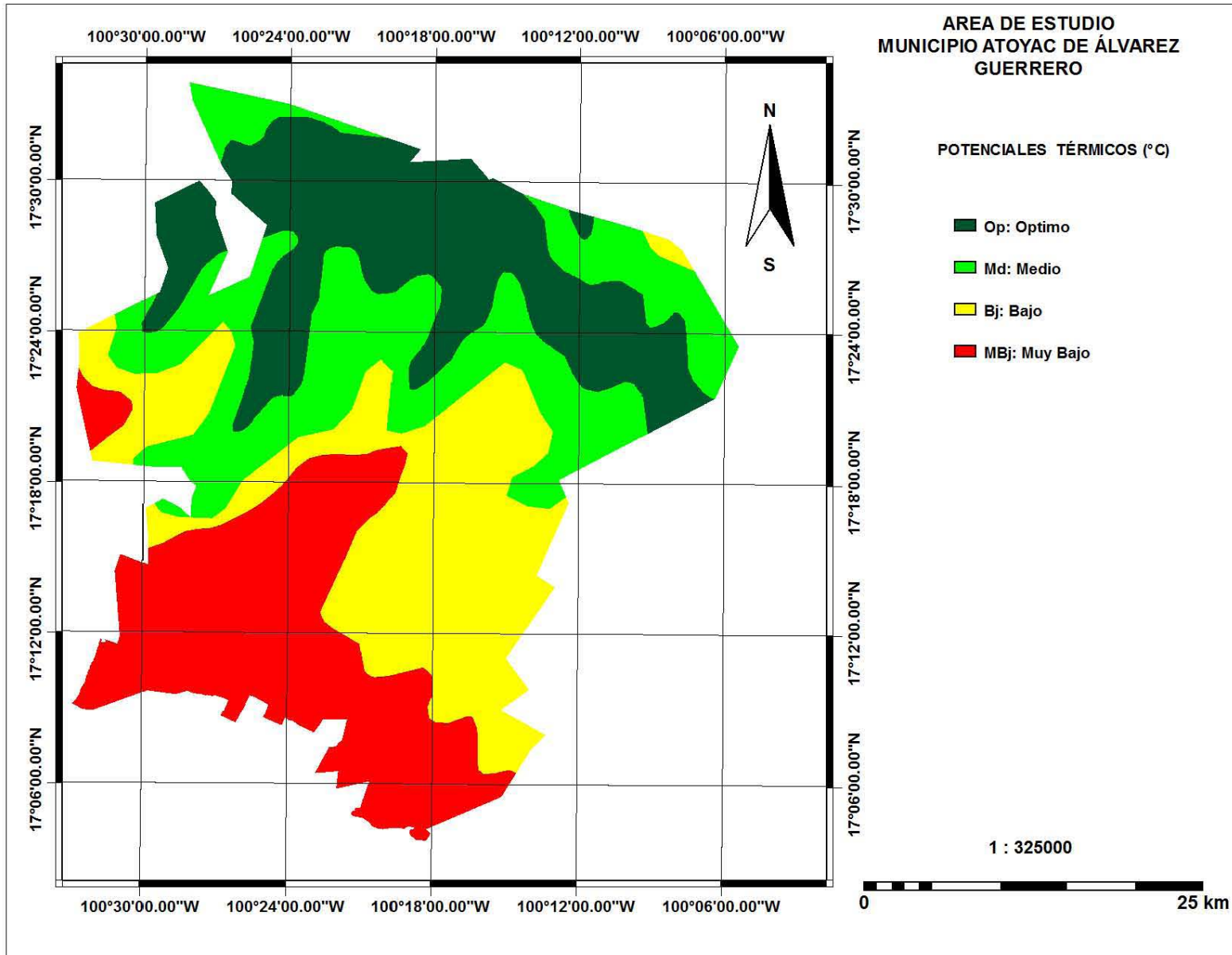


Figura III. 13. Potencial de cultivo de café en función de la temperatura.

Potenciales de suelos

Los suelos dedicados al cultivo del cafeto son de muy variado origen en el mundo (Rojas, 1987). Algunos son derivados de cenizas volcánicas, a menudo laterizados, como ocurren en América Central, México, Java, Colombia, Hawai, Camerún y Malaya (Rojas, 1987). Los suelos cafetaleros requieren ser profundos, permeables, friables y de buena textura (Vega, 1995), mientras que los suelos de mal drenaje y los pesados no son muy aconsejables (Rojas, 1987). Los suelos arenosos, sueltos, que no retienen humedad, no son adecuados, así como tampoco lo son los suelos compactos, arcillosos y de escaso drenaje (López, 2011). Las tierras compactas arcillosas y de escasos drenajes no son aptas para el cultivo, la textura que se ubica como apta para los suelos debe ser textura media o limosa (Vega, 1995). Se considera dentro de los requerimientos agroecológicos para el café que la textura sea media, con buena estructura y alta cantidad de macro y microporos (Küpper, 1981 citado por Portilla & Geissrt Kientz, 2006).

De los suelos existentes en el área de estudio, se consideró a la unidad de suelos de Acrisol como potencial Óptimo, pues poseen una textura media, con buena retención de agua y de nutrientes, y con una profundidad efectiva aceptable, que permite el establecimiento óptimo del cultivo, donde se pueden obtener rendimientos de medios a altos (INEGI, 2008). Su distribución en el área de estudio es bosque mesófilo de montaña, bosque pino-encino, selva mediana

subcaducifolia y subperennifolia y en zonas agrícolas que es principalmente donde se encuentran la mayoría de las parcelas de café plantadas. Es la unidad que más predomina en el área, con una superficie de 123 872.2 hectáreas, ubicándose dentro en el gradiente altitudinal desde 100 msnm hasta los 2 800 msnm, se encuentra en diferentes intervalos de pendientes; desde 1° hasta >45°. Se encuentra la subunidad Acrisol húmico (Ah), que tiene como característica principal un alto contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo (INEGI, 2008), o sea en su horizonte úmbrico (A) (FitzPatrick, 1996). La unidad de suelo Cambisol se consideró como potencial Medio, debido a que son suelos que se emplean en la zona para el cultivo del café, presentan rendimientos variables, de acuerdo con su localización. La principal característica de este tipo de suelos es que no presenta diferencias significativas entre el suelo y la roca que le dio origen; son moderadamente susceptibles a la erosión (INEGI, 2008) y poseen una superficie aproximada de 10 313.17 hectáreas, se encuentra distribuido en todo el gradiente altitudinal de 100 - 3400 msnm, presentando diferentes grados de pendientes, y texturas medias y finas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso (INEGI, 2008). De acuerdo a su aptitud, puede ser utilizado para actividades silvopastoriles y agropecuarias, bajo acciones que ayuden a su conservación (líneas a nivel con piedras y plantas) (INEGI, 2008).

Se consideran como potenciales Bajos las unidades de suelos Feozem y Regosol. Los suelos Feozem están distribuidos entre los 100 y 200 msnm, con pendientes desde 0.1° hasta 60°, con una superficie de 11 384.10 hectáreas, presenta profundidad muy variable y presentan serios problemas de cementación en las laderas, facilitando procesos erosivos (INEGI, 2008). Poseen textura media, los suelos menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables (INEGI, 2008). Los suelos de tipo Regosol se encuentran entre los 100 y 500 msnm, con pendientes superiores a 45°, posee una superficie de 1899.72 hectáreas. Son suelos pocos desarrollados, pobres en materia orgánica, con pedregosidad y fertilidad variable, lo que hace que tengan poca productividad condicionada a la profundidad y pedregosidad (INEGI, 2008). Son suelos someros y claros similares a la roca que les dio origen (INEGI, 2008). Se presentan en diferentes climas y asociados a vegetación muy diversa. Poseen una alta susceptibilidad a la erosión. Sus características de profundidad y pedregosidad los hacen poco atractivos para el desarrollo de la agricultura (INEGI, 2008). No presentan capas muy diferenciadas entre sí (INEGI, 2008). En general, son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen (INEGI, 2008). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate

(INEGI, 2008). El potencial Muy Bajo corresponde a la unidad de suelo Litosol, localizados entre los 1 200 y 3 300 msnm, con pendientes desde 0.1° hasta 80°, posee una superficie de 8380.04 hectáreas. Son suelos muy delgados, con espesores menores a los 10 cm (INEGI, 2008). Descansan sobre un estrato duro y continuo, como roca madre, tepetate o caliche, según el clima predominante soportan diversos tipos de vegetación (INEGI, 2008). Son suelos muy poco profundos, son muy susceptibles a la erosión y presentan baja fertilidad, por lo que su uso es muy limitado Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión son muy variables dependiendo entre otros factores ambientales de la pendiente del terreno (INEGI, 2008). El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre (INEGI, 2008). (Tabla III. 5) y (Figura III. 14).

Tabla III. 5. Tabla mostrando los potenciales de las unidades de suelos.

Unidades de suelos	Potenciales de las unidades de suelos
Acrisol	Optimo
Cambisol	Medio
Feozem	Bajo
Litosol	Muy Bajo
Regosol	Bajo

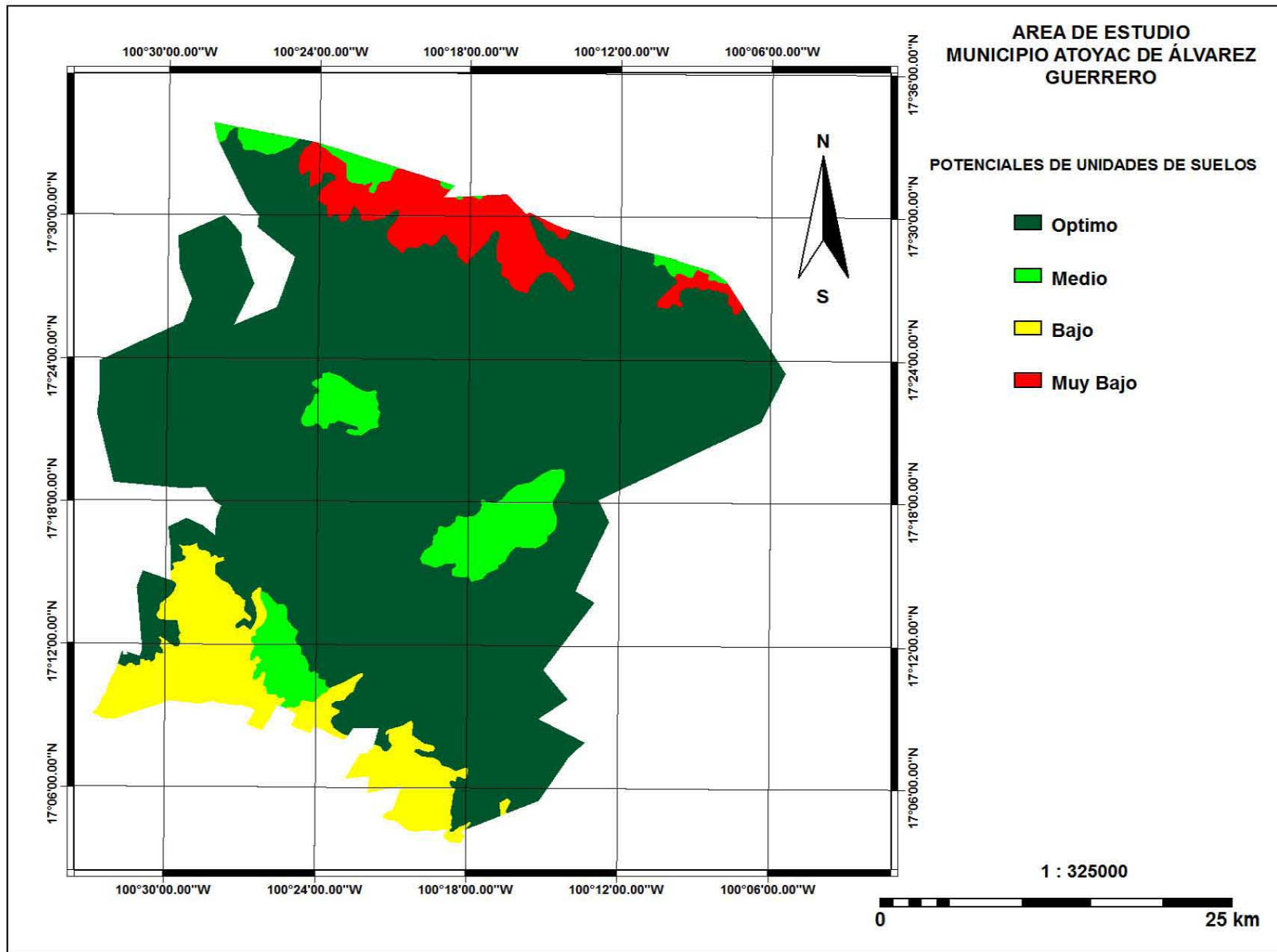


Figura III. 14. Potencial de cultivo de café con respecto a las unidades de suelos.

Potencial para las claves de suelos

Se consideró para la definición de los potenciales, en este caso, no sólo la unidad primaria que compone la clave jerarquizada, se tomaron en cuenta las unidades que aparecen en segundo y tercer lugar, así como la clase textural, la fase física y química que componen esta clave. Como potencial Óptimo, se encuentra la clave Ah+Bh+Hh/2, se refiere a la unidad primaria Acrisol, presenta textura media, considerándose suelos francos, y posee en segundo y tercer orden las unidades de Cambisol y Feozem, su gradiente altitudinal es desde los 100 hasta los 2 800 msnm, presentando un espectro diverso de pendientes. Se encuentra la subunidad Acrisol húmico, que tiene como característica principal un alto contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo (INEGI, 2008), o sea en su horizonte úmblico A (FitzPatrick, 1996).

El potencial Medio corresponde a la clave Bc+Be+Ao/2, predominando la unidad Cambisol cálcico (Bc) y, en segundo lugar Cambisol eútrico (Be), y tercer lugar la unidad Acrisol órtico (Ao), presenta textura media (2), se encuentra en alturas entre 2 200 hasta 3 100 msnm, con pendientes desde suaves hasta abruptas.

Para el potencial Bajo se definieron las claves como Bc+Hh+Re/2 y Bc+Re+l/2/LP, donde esta última clave presenta una fase lítica profunda (LP) constituida por abundantes rocas, que impiden la penetración de las raíces; estas claves presentan como unidad primaria a la unidad Cambisol cálcico (Bc), las unidades que le suceden como secundarias son Feozem háplico (Hh) y Regosol eútrico

(Re), como terceras unidades encontramos a Regosol eútrico (Re) y Litosol (I), ambas claves poseen clase textural media (2). Se encuentran las claves Bh+Hh/3 y Bh+Ah/3, que presentan como unidad primaria a la de Cambisol húmico (Bh), las unidades que aparecen después de esta unidad primaria son Feozem háplico (Hh) y Acrisol húmico (Ah), presentan una clase textural fina (3), que constituyen suelos arcillosos, con mal drenaje, escasa porosidad, duros al secarse, inundables fácilmente. La clave Hh+Re+Bc/2/n presentan tres unidades y posee una fase sódica (n) con concentración de sodio, que limita el desarrollo de cultivos; la clave de Hh+Re/2, ambas claves tienen como unidad primaria a la de Feozem háplico (Hh), también presentan como unidades secundarias a las de Regosol eútrico (Re) y como tercera unidad tenemos a la de Cambisol cálcico (Bc), ambas claves poseen una clave textural media (2). La clave Re+Hh+Lc/2 tiene como unidad primaria a la de Regosol eútrico (Re), presentan como segunda y tercera unidades Feozem háplico (Hh) y Luvisol cálcico (Lc), presenta una clase textural media (2). El gradiente altitudinal de estos suelos fluctúa desde los 100 hasta los 3 300 msnm, con pendientes muy variables.

El potencial Muy Bajo se define con las claves I+Re+Bc/2 y I+Re/2, que pertenecen a la unidad primaria de Litosol, como segunda unidad aparece la unidad de Regosol eútrico (Re) y como tercera unidad a la Cambisol cálcico (Bc), para el caso de la primera clave y para la segunda clave tenemos la unidad secundaria a la de Regosol eútrico (Re) como secundaria e única, ambas poseen

una clase textural media (2); ambas claves se encuentran en un gradiente altitudinal entre los 1 200 y 3 100 msnm y presentan pendientes muy variables (Tabla III. 6) y (Figura III.15).

Tabla III. 6. Potencial de cultivo de café con respecto a las claves de las unidades de suelos.

Claves de suelos	Potencial de las claves de suelos
Ah+Bh+Hh/2	Optimo
Bc+Be+Ao/2	Medio
Bc+Hh+Re/2	Bajo
Bc+Re+l/2/LP	Bajo
Bh+Ah/3	Bajo
Bh+Hh/3	Bajo
Hh+Re+Bc/2/n	Bajo
Hh+Re/2	Bajo
l+Re+Bc/2	Muy Bajo
l+Re/2	Muy Bajo
Re+Hh+Lc/2	Bajo

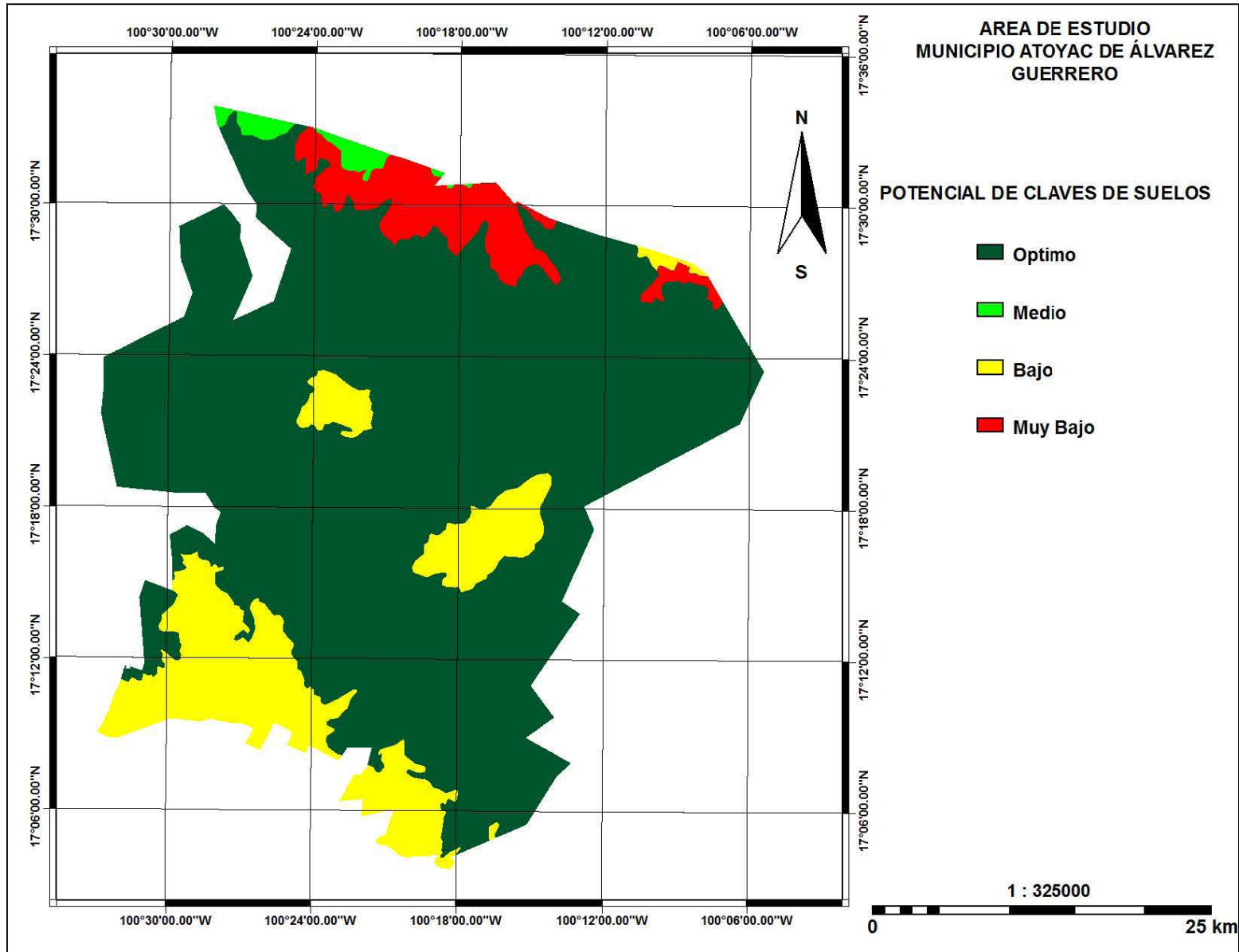


Figura III. 15. Potencial de cultivo de café con respecto a las claves de suelos.

III.8. Zonificación Agroecológica del *Coffea arabica*.

A partir del análisis de los requerimientos agroecológicos, como fue para el caso de la hipsometría, alturas comprendidas entre 1 000 y 1 500 msnm, las pendientes desde 0.1 a 18°, las precipitaciones medias anuales comprendidas dentro de los rangos de 1 500 a 2 000 mm, las temperaturas entre 18 a 22°C, las unidades de suelos Acrisoles, con textura media, profundidad mayor de 100 cm para la especie *Coffea arabica* y su representación espacial mediante el empleo del ILWIS, v. 3.31, así como el resultado de los distintos potenciales obtenidos como mapas temáticos en el área de estudio permitieron establecer tres variables para su zonificación agroecológica: variable de relieve, variable climática y variable edafológica. La variable de relieve sintetiza los potenciales de hipsometría y de inclinación de las laderas en grados, mientras que la variable climática contempla los potenciales de precipitación media anual, en mm, y los potenciales térmicos, en °C. En la variable edafológica se consideró el potencial de claves de suelo por presentar mayor detalle.

La zonificación del *Coffea arabica* se alcanzó mediante el cruce de los potenciales de las tres variables señaladas. A partir del empleo del SIG, se utilizó la operación *Cross* del software ILWIS 3.31, donde se ejecuta una superposición de capas de dos mapas rasters para comparar píxeles en la misma posición en ambos mapas y se mantienen el registro de todas las combinaciones que se presentan entre las clases temáticas de ambos mapas. Los mapas de entrada usados en la operación

Cross deben ser mapas rasters que tengan la misma de georreferencia. Durante esta operación, la combinación de nombres de clases, de ambos mapas que están clasificados temáticamente, el número de incidencia de píxeles es contada en esta combinación y las áreas de esta combinación son calculadas y registradas. Los resultados son almacenados en una *cross-table* (tabla de cruzamiento) de salida y un *cross-map* (mapa de cruzamiento) de salida. Estos resultados obtienen un domain ID con el mismo nombre que la *cross-table* de salida. El dominio contiene elementos los cuales son combinaciones de nombres de clases, IDs, grupos de nombres. El resultado de estos cruces permite establecer que zonas se encuentran dentro de los potenciales Óptimos, Medios, Bajos y Muy Bajos, para el establecimiento de la especie, tal como se presenta en el siguiente Flujograma (Figura III. 16)

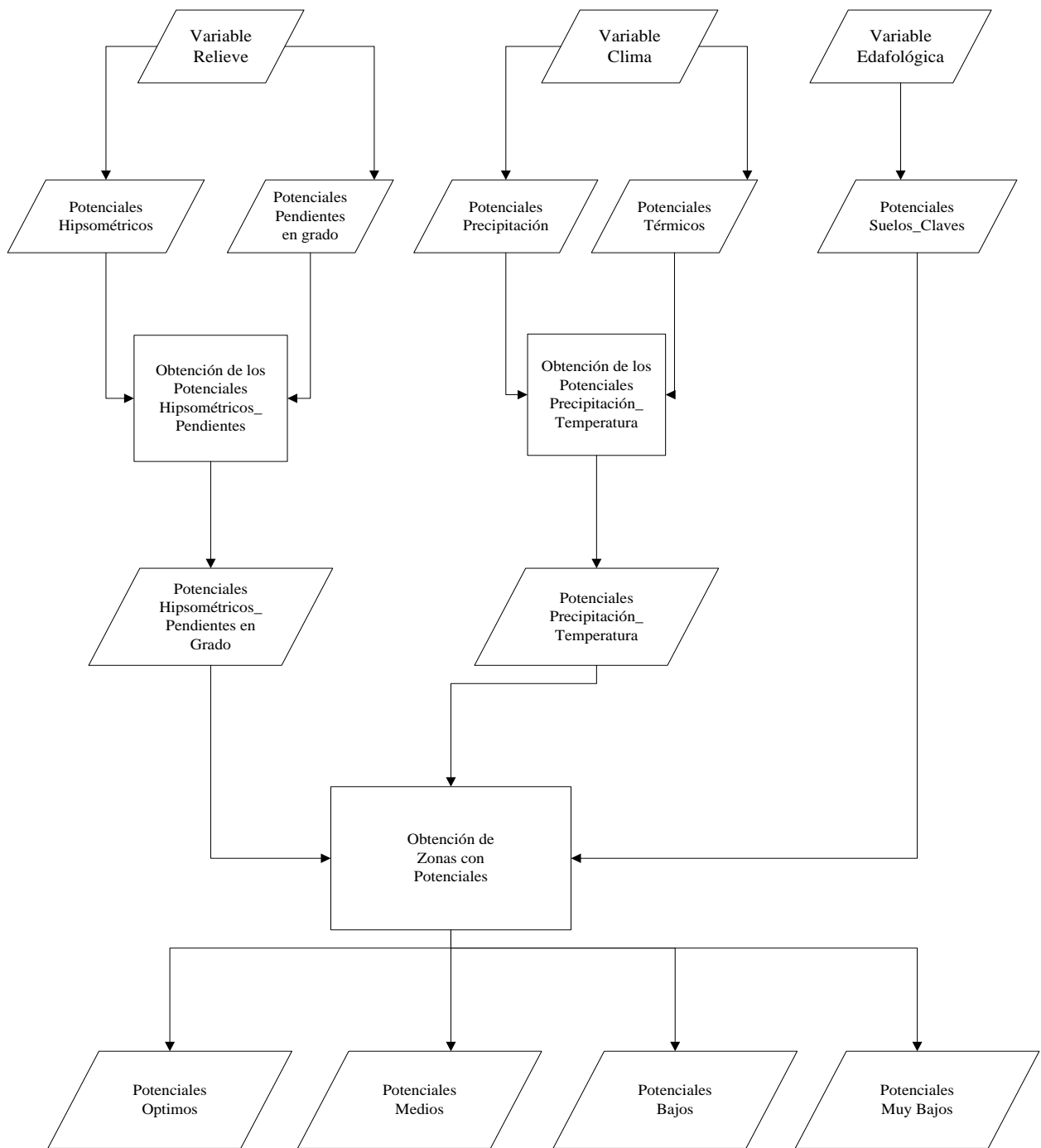


Figura III. 16. Diagrama de flujo final para la zonificación agroecológica de *Coffea arabica*.

III.8.1. Establecimientos de las variables

Variable de relieve

En la variable de Relieve, se cruzaron los mapas de potenciales hipsométricos y de pendientes en grados, con el empleo de los Sistemas de Información Geográficas, a partir de la operación *Cross* y de *Attribute Map of Raster*, lo que permitió definir el mapa potencial para esta variable (Figura. III. 17), considerando que tanto los gradientes altitudinales como los valores de las pendientes en grados, influyen bastante en este resultado. Se analizaron todos los cruces de los potenciales altitudinales con los potenciales de las pendientes en grados, considerando los potenciales óptimos para cada una de esas dos variables geomorfológicas. Todas estas operaciones permitieron la obtención de un mapa resultante para la variable de relieve, reflejando los valores para cada uno de sus potenciales para el cultivo del café (Tabla III. 7).

Tabla III. 7. Tabla mostrando el cruce de los mapas de potenciales hipsométricos y de pendiente, y el resultado final de los potenciales entre estos dos mapas.

Tipo de cruce entre los mapas	Potenciales hipsométricos	Potenciales de pendientes en grados	Variable relieve. Potenciales hipsometría pendiente entre y en grados.	Superficie (ha)
Op * Op	Optimo	Optimo	Optimo	17551.95
Op * Md	Optimo	Medio	Medio	24443.68
Op * Bj	Optimo	Bajo	Bajo	6413.28
Op * MBj	Optimo	Muy Bajo	Muy Bajo	24267.1
Md * Op	Medio	Optimo	Medio	12314.08
Md * Md	Medio	Medio	Medio	13677.67
Md * Bj	Medio	Bajo	Bajo	3879.77
Md * MBj	Medio	Muy Bajo	Muy Bajo	3947.25
Bj * Op	Bajo	Optimo	Bajo	14137.21
Bj * Md	Bajo	Medio	Bajo	14453.76
Bj * Bj	Bajo	Bajo	Bajo	4863.53
Bj * MBj	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	5675.37
MBj * Op	Muy Bajo	Optimo	Muy Bajo	3045.08
MBj * Md	Muy Bajo	Medio	Muy Bajo	3145.78
MBj * Bj	Muy Bajo	Bajo	Muy Bajo	1352.3
MBj * MBj	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	2683.75

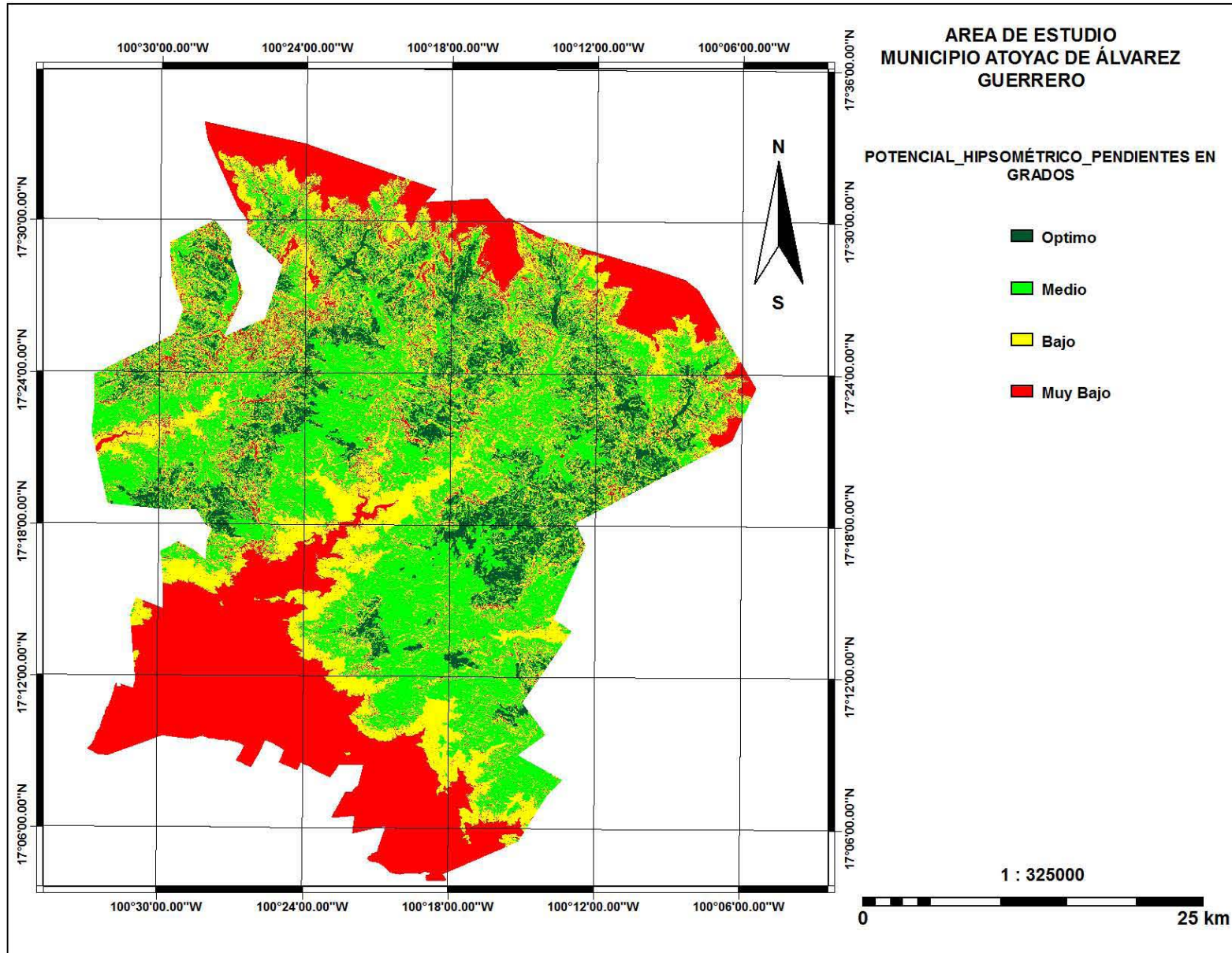


Figura III. 17. Potencial de cultivo de café con base en la variable de relieve.

Variable de clima

En la variable de Clima, se cruzaron los mapas de potenciales de precipitaciones medias anuales y térmicas en grado, utilizando las operaciones de *Cross* y de *Attribute Map of Raster*, lo que permitió definir el mapa potencial para esta variable, considerando que los valores de precipitación media anual y las temperaturas medias anuales, influyen bastante en este resultado, los potenciales óptimos tanto de precipitación media anual como de temperatura media anual permitieron la definición del potencial óptimo para el caso de la variable precipitación media anual y temperatura media anual. (Tabla III. 8) y (Figura III. 18).

Tabla III. 8. Tabla mostrando el cruce de los mapas de potenciales intervalos de precipitación y de temperatura y el resultado final de los potenciales entre estos dos mapas.

Tipo de cruce entre los mapas	Potenciales de intervalos de precipitación	Potenciales de intervalos de temperaturas	Variable de potenciales de intervalos de precipitación y temperatura.	Superficie (ha)
Op * Op	Optimo	Optimo	Optimo	38503.98
Op * Md	Optimo	Medio	Medio	35850.25
Op * Bj	Optimo	Bajo	Bajo	9992.53
Op * MBj	Optimo	Muy Bajo	Muy Bajo	102.2
Md * Md	Medio	Medio	Medio	420.37
Md * Bj	Medio	Bajo	Bajo	22678.46
Md * MBj	Medio	Muy Bajo	Muy Bajo	5023.28
Bj * Op	Bajo	Optimo	Bajo	101.11
Bj * Md	Bajo	Medio	Bajo	2578.93
Bj * Bj	Bajo	Bajo	Bajo	7242
Bj * MBj	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	16676.97
MBj * MBj	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	16681.5

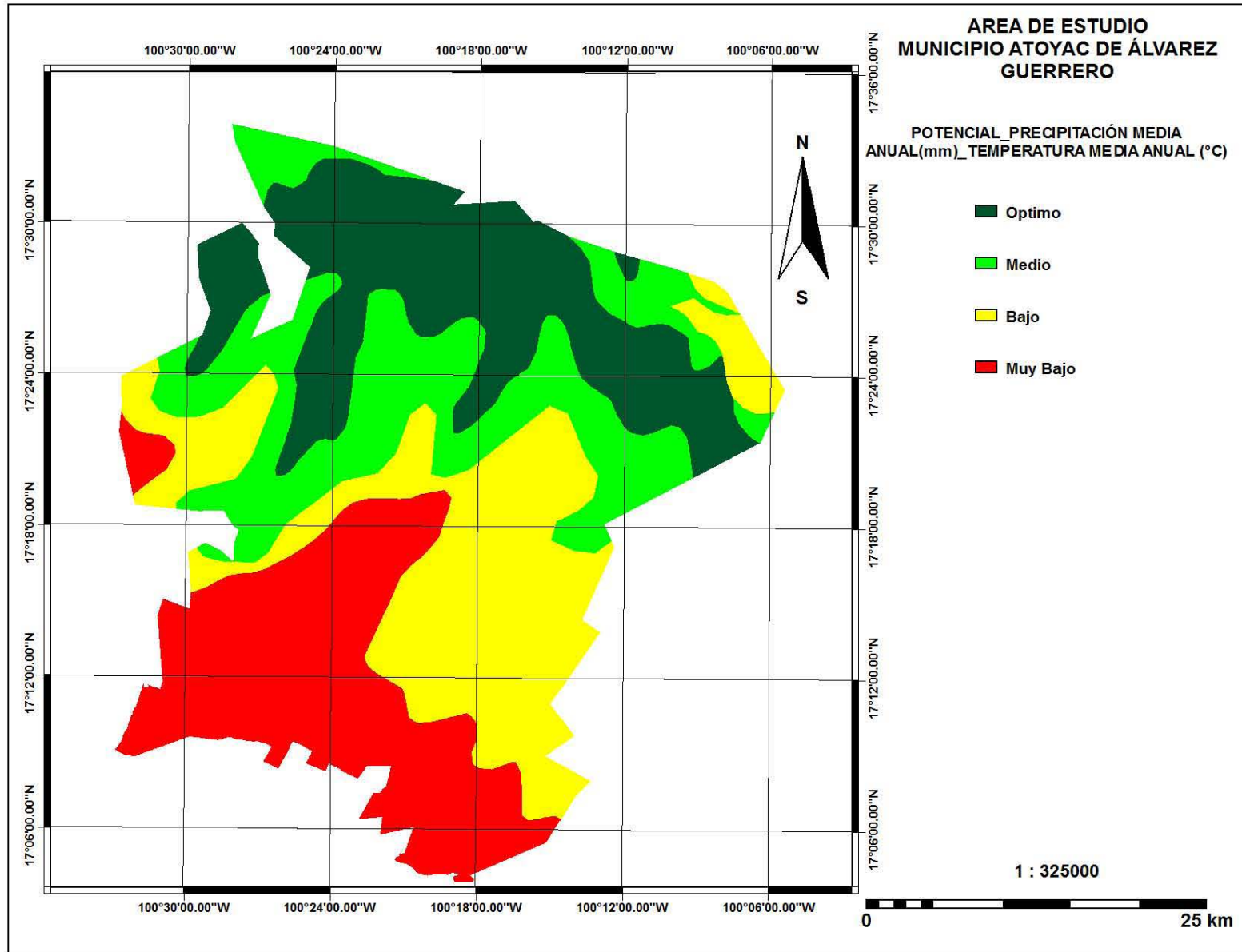


Figura III. 18. Mapa de potenciales de la variable de clima.

III.8.2. Cruce de las variables

El resultado de dos mapas con dos variables importantes, la de relieve donde se obtuvo un mapa de potenciales entre el cruce de mapas potenciales hipsométricos y potenciales de pendientes y la variable climática, donde se obtuvo un mapa de potenciales entre el cruce de mapas potenciales de precipitación media anual y el de temperatura media anual, permitió que se realizará a través de la operación *Cross operation*, el cruce de estos dos mapas resultantes y valorar los potenciales óptimos, para obtener un nuevo mapa de potenciales en función de estas dos variables ya una vez cruzadas. (Tabla III. 9).

Una vez definidos los potenciales para el café de las variables de relieve (hipsometría y pendientes) y de clima (precipitaciones medias anuales y temperaturas medias anuales), se realizó el cruce de estas variables y se obtuvo una representación cartográfica de sus combinaciones, obteniéndose un mapa resultante de relieve-clima (Figura III. 19).

Tabla III. 9. Tabla mostrando el cruce de los mapas de potenciales de intervalos de precipitación y de temperatura con los mapas de potenciales hipsométricos y de pendiente, y el resultado final de los potenciales.

Tipos de cruces entre los mapas	Variable de clima. Potenciales entre intervalos de precipitación y temperatura.	Variable Relieve. Potenciales entre hipsometría y pendiente en grados.	Variable clima-relieve. Potenciales entre intervalos de precipitación –temperatura y potenciales entre hipsometría - pendiente en grados.	Superficie (ha)
Optimo * Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	7456.67
Optimo * Medio	Optimo	Medio	Medio	10430.2
Optimo * Bajo	Optimo	Bajo	Bajo	12855.71
Optimo * Muy Bajo	Optimo	Muy Bajo	Muy Bajo	7761.4
Medio * Optimo	Medio	Optimo	Medio	5693.35
Medio * Medio	Medio	Medio	Medio	14227.37
Medio * Bajo	Medio	Bajo	Bajo	10400.76
Medio * Muy Bajo	Medio	Muy Bajo	Muy Bajo	5949.15
Bajo * Optimo	Bajo	Optimo	Bajo	4390.12
Bajo * Medio	Bajo	Medio	Bajo	22780.56
Bajo * Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	12437.71

Bajo * Muy Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	2984.62
Muy Bajo * Optimo	Muy Bajo	Optimo	Muy Bajo	11.81
Muy Bajo * Medio	Muy Bajo	Medio	Muy Bajo	2997.3
Muy Bajo * Bajo	Muy Bajo	Bajo	Muy Bajo	8053.36
Muy Bajo * Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	27421.46

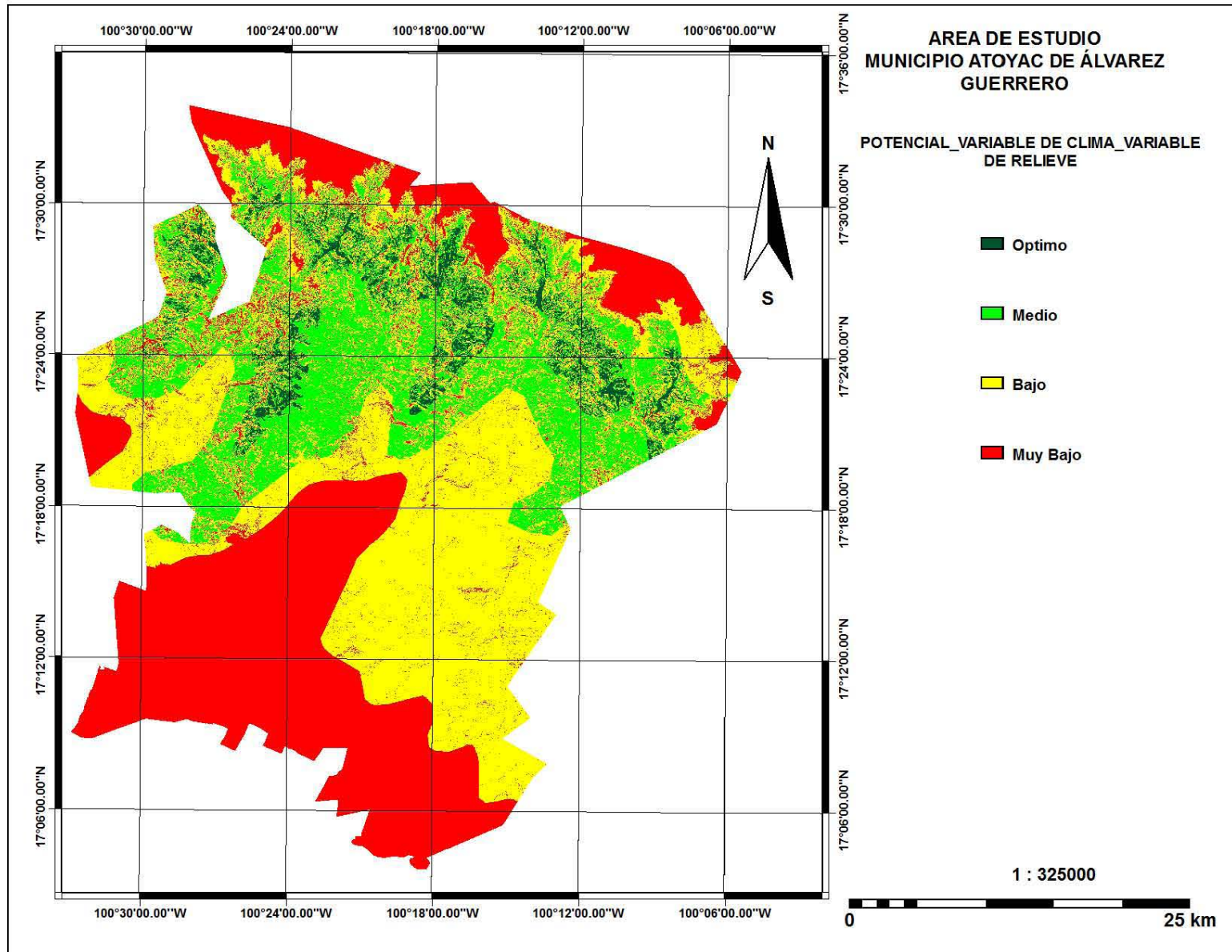


Figura III. 19. Mapa de potenciales de la variable de clima y relieve.

III.9. Zonificación agroecológica final

El resultado final de la zonificación, se obtuvo a partir del cruce final del mapa resultante entre la variable climática (precipitación y temperatura) y de relieve (hipsometría y pendientes), con el mapa de potenciales de claves edafológicas (Anexo 2) y (Figura III. 20).

Los potenciales físico-geográficos para el desarrollo del café, determinados por este método automatizado, mostraron áreas con potenciales óptimos en 7 163.47 ha, con potenciales medios en 28 143.75 ha, y bajos y muy bajos en 62 130.65 ha y 58 411.38 ha respectivamente. Esto demuestra que el fondo agrícola de tierras con condiciones favorables para este cultivo en el municipio se encuentra dentro del orden óptimo de un 5.0 %, áreas medias 18.0 %; mientras que las áreas bajas tienen el 40.0 % y las muy bajas 37.0 %, como se muestran en los siguientes gráficos (Gráfico III. 1).

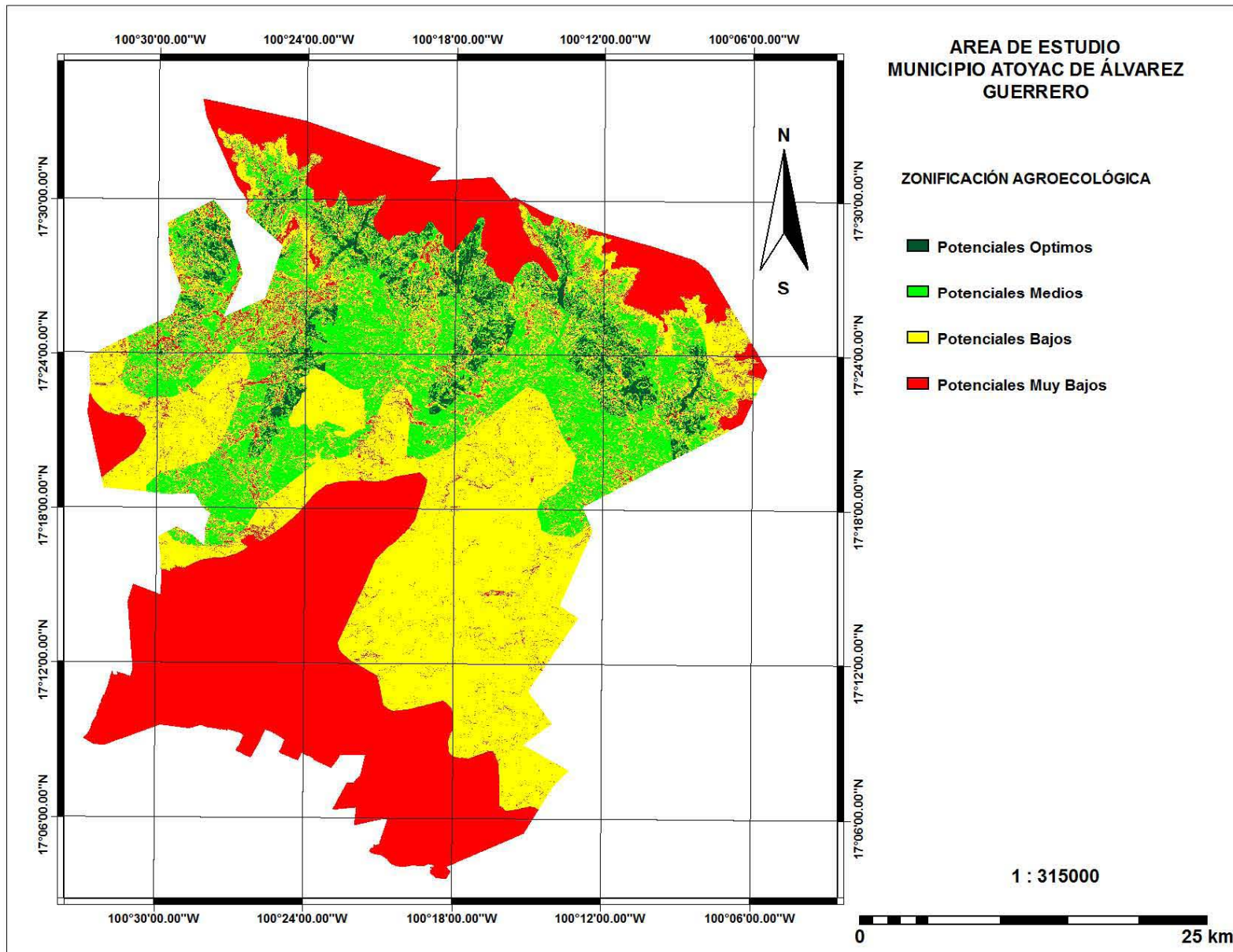


Figura III. 20. Zonificación Agroecológica del *Coffea arabica* en el área de estudio.

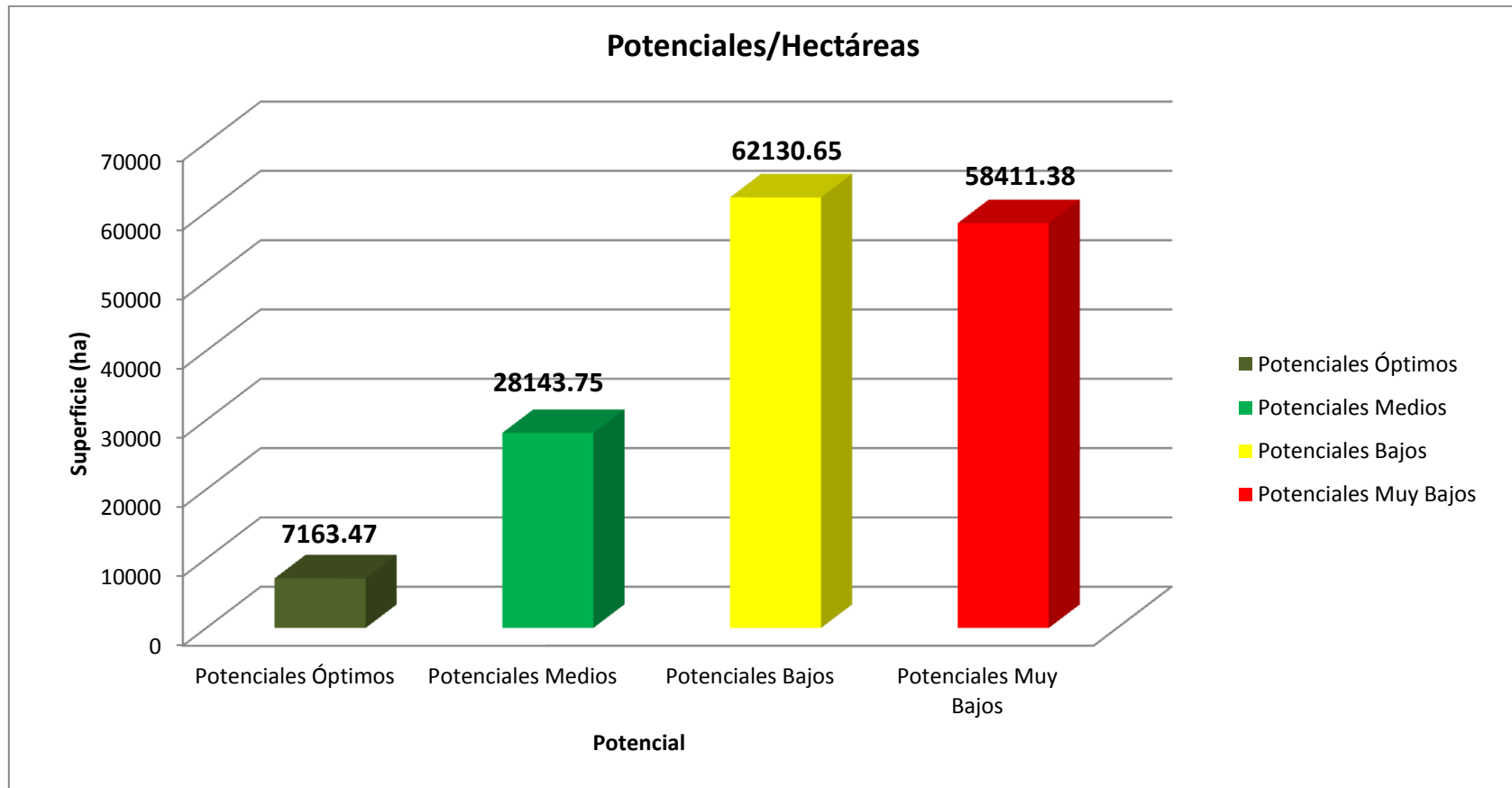


Gráfico III. 1. Relación de los potenciales de la zonificación agroecológica en función de la superficie que ocupan.

La determinación de los potenciales físico-geográficos óptimos para lograr una zonificación adecuada del cultivo del café, arrojaron que la mayor aptitud natural para su desarrollo queda comprendida en las zonas de montañas bajas, entre los intervalos hipsométricos de 1 000 a 1 500 msnm, con pendientes entre 0.1° hasta 18°; considerándose pendientes suaves, sobre suelos Acrisoles y con una clave jerarquizada Ah+Bh+Hh/2, constituida también como unidad primaria Acrisol húmico (Ah); con precipitaciones entre los 1 500 a 2 000 mm; en zonas semicálidas con espectro térmico de 18°C a 22°C.

III.9.1. Rendimientos esperados a partir de la zonificación agroecológica.

La región de la Costa Grande es la región de mayor importancia considerando la superficie registrada con café en el Padrón cafetalero; sin embargo, cabe mencionar que es la región donde las plantaciones presentan los menores rendimientos, teniendo un promedio de 2.49 Qq/ha, lo que equivale a 0.25 ton/ha, esto puede deberse principalmente a la baja densidad de población por hectárea, aproximadamente de 1,274 plantas; pero también a la falta de fertilización química, en donde el 99.8 % no aplica fertilizante, y únicamente el 3 % incorpora al suelo abono orgánico, siendo una problemática importante a tratar (SAGARPA *et al.*, 2011). La zona cafetalera de Guerrero corresponde a una de las pocas selvas tropicales existentes en el mundo, con altitudes de más de 1 000 msnm, donde el café bajo sombra se ha adaptado favorablemente (SAGARPA, 2008).

De acuerdo al nivel de tecnología aplicado por los productores, los máximos y mínimos rendimientos alcanzados según los diagnósticos, se pueden distinguir tres tipos de ésta: la tecnología alta, (más de 10 Qq), media (5-10 Qq) y la baja (menos de 5 Qq), (SAGARPA, 2011a). Las condiciones agroecológicas donde se cultiva café pueden considerarse aceptables, por lo que podemos plantear que se pueden obtener potenciales óptimos con 1 ton/ha (10 Qq/ha), potenciales medios con 0.7 ton/ha (7 Qq/ha), bajos con 0.4 ton/ha (4 Qq/ha) y muy bajos con 0.1 ton/ha (1Qq/ha). (Tabla III. 11 y Gráfico III.2)

Tabla III. 11. Superficie y porcentaje que ocupa cada potencial con respecto al área total de estudio y, los rendimientos esperados en ton/ha y en porcentaje de los rendimientos esperados con relación al total de rendimientos esperados en el área de estudio.

Potenciales	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Rendimientos esperados (Ton/ha)	Rendimientos esperados (%)
Potenciales óptimos 1 Ton/ha	7163.47	5	7163.5	12.45
Potenciales medios 0.7 Ton/ha	28143.75	18	19700.63	34.23
Potenciales bajos 0.4 Ton/ha	62130.65	40	24852.3	43.18
Potenciales muy bajos 0.1 Ton/ha	58411.38	37	5841.1	10.15
Total	155 849.25	100	57557.5	100

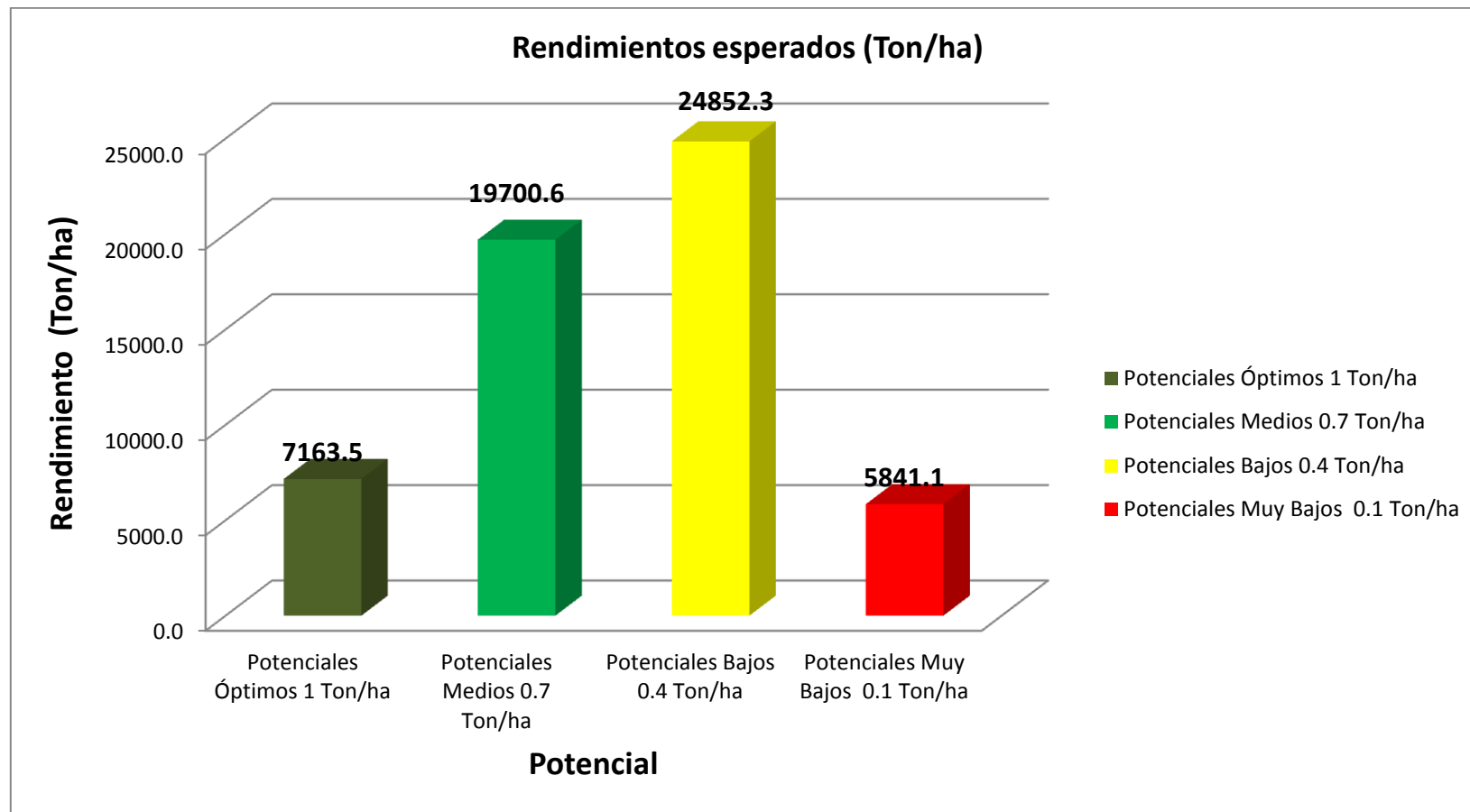


Gráfico III. 2. Rendimientos esperados de cada potencial con respecto a la superficie total.

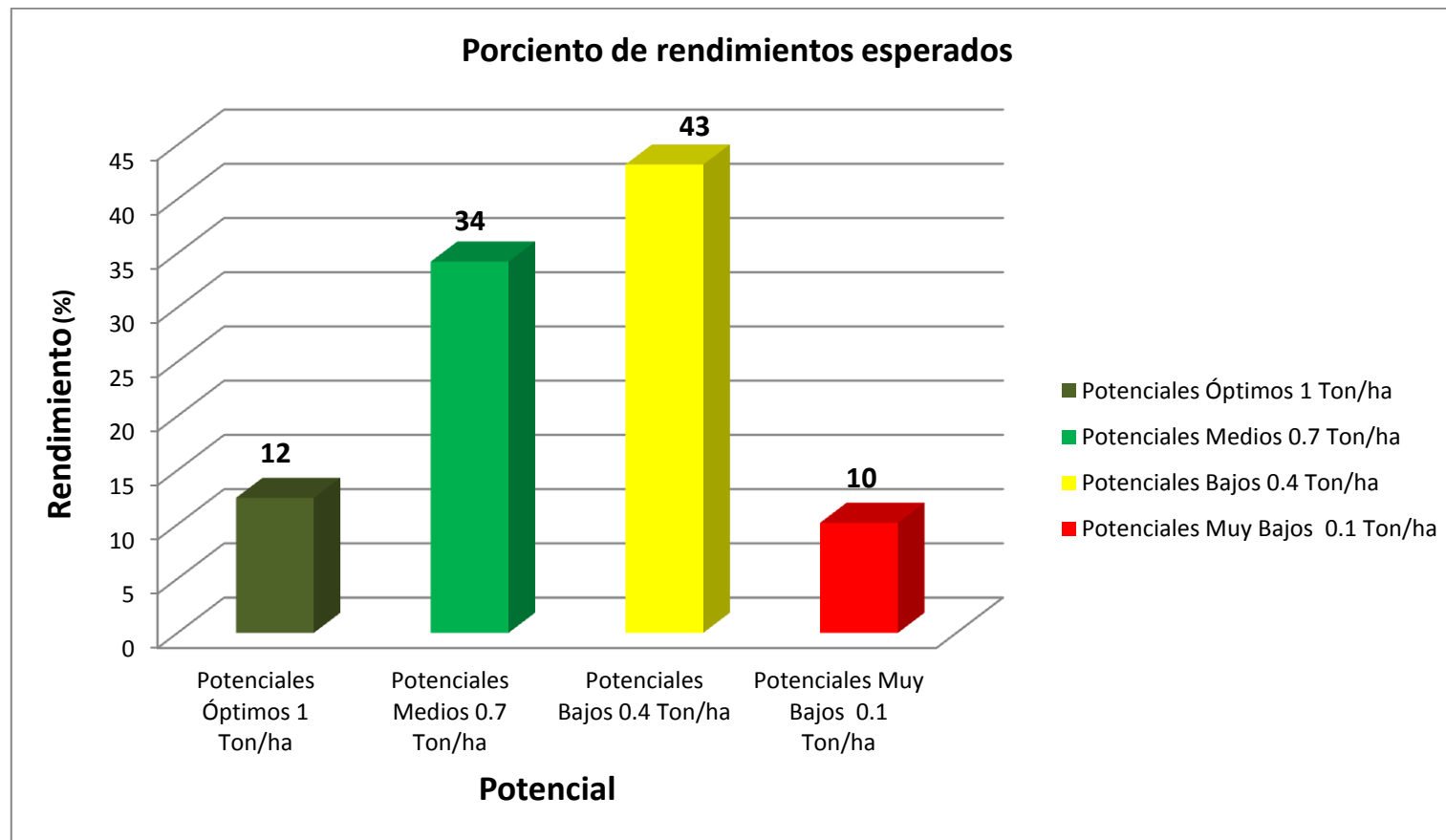


Gráfico III. 3. Porcentajes de los rendimientos esperados de cada potencial, con respecto a los rendimientos esperados totales.

La determinación de los potenciales físicos geográficos se llevó a cabo utilizando los Sistemas de Información Geográfica, empleándose como software al ILWIS v. 3.31 y con sus operaciones *Slope, Dem Visualization, Slicing, Polygon to Raster, Attribute Map*. La operación *Cross* constituyó una herramienta insustituible y muy útil para la zonificación agroecológica del *Coffea arabica*.

La presente zonificación agroecológica del *Coffea arabica* es un valioso instrumento de carácter técnico, basado en experiencias nacionales e internacionales, y en la información sobre las condiciones naturales básicas existentes en el municipio guerrerense de Atoyac de Álvarez, que indiscutiblemente ayudará en los procesos de optimización del uso de suelo y, en especial, en el fomento de las plantaciones cafetaleras, pero requiere del consenso de todos los actores sociales del territorio para su implementación como modelo de desarrollo de dicho renglón económico.

La metodología consideró las principales variables para el desarrollo del cultivo, tales como las condiciones del relieve, reflejadas en la altitud y sus pendientes, el régimen hidrotérmico medio anual, y los agrupamientos de suelos y sus atributos básicos, lo que ofrece solidez a los resultados.

La existencia de esta base de datos geomorfológica, climática y edafológica permite el establecimiento de estrategias certeras para alcanzar mayores rendimientos de las cosechas, en función de la zonificación agroecológica propuesta. La implementación del ILWIS, v. 3.31, como herramienta de análisis

espacial, contribuyó con precisión al proceso automatizado de evaluación de las potencialidades naturales para el fomento del café.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LAS PARCELAS CAFETALERAS CON RESPECTO A LA ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL COFFEA ARABICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

IV.1. Potenciales de las parcelas que se encuentran dentro de la zonificación agroecológica.

La distribución de los potenciales de la zonificación que se encuentran dentro de las parcelas mostró que la superficie de potenciales óptimos en las parcelas es de 1 939.11ha representando un 10 % del área total de las parcelas, para los potenciales medios su superficie es de 5 322.45 ha, lo que constituye el 26 % del área de todas las parcelas, con respecto a los potenciales bajos aparece la mayor superficie con 11 743.07 ha, que representa el 58% de la superficie total de todas las parcelas y para los potenciales muy bajos encontramos una extensión de 1 346.56ha, que representa el 6% del área total de toda la superficies de las parcelas. (Tabla IV. 1; Figuras IV. 1y IV. 2; Gráficos IV.1y IV. 2).

Tabla IV. 1. Áreas y porcentajes de los potenciales de las parcelas cafetaleras del área de estudio.

Potenciales de las parcelas	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Potencial óptimo	1 939.11	10
Potencial medio	5 322.45	26
Potencial bajo	11 743.07	58
Potencial muy bajo	1 346.56	6
Total	20 351.19	100

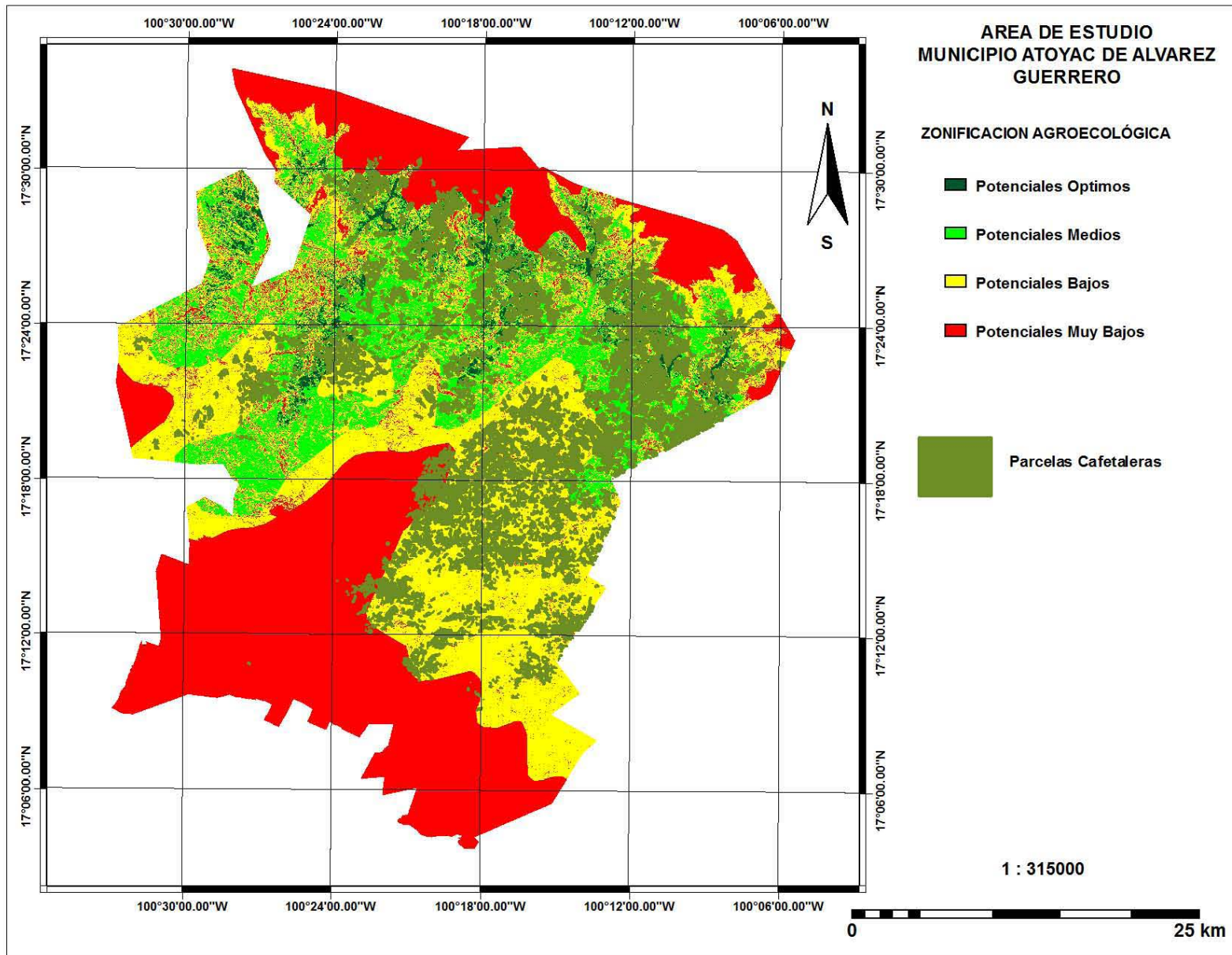


Figura IV.1. Ubicación de las parcelas cafetaleras con base en la zonificación agroecológica del área de estudio.

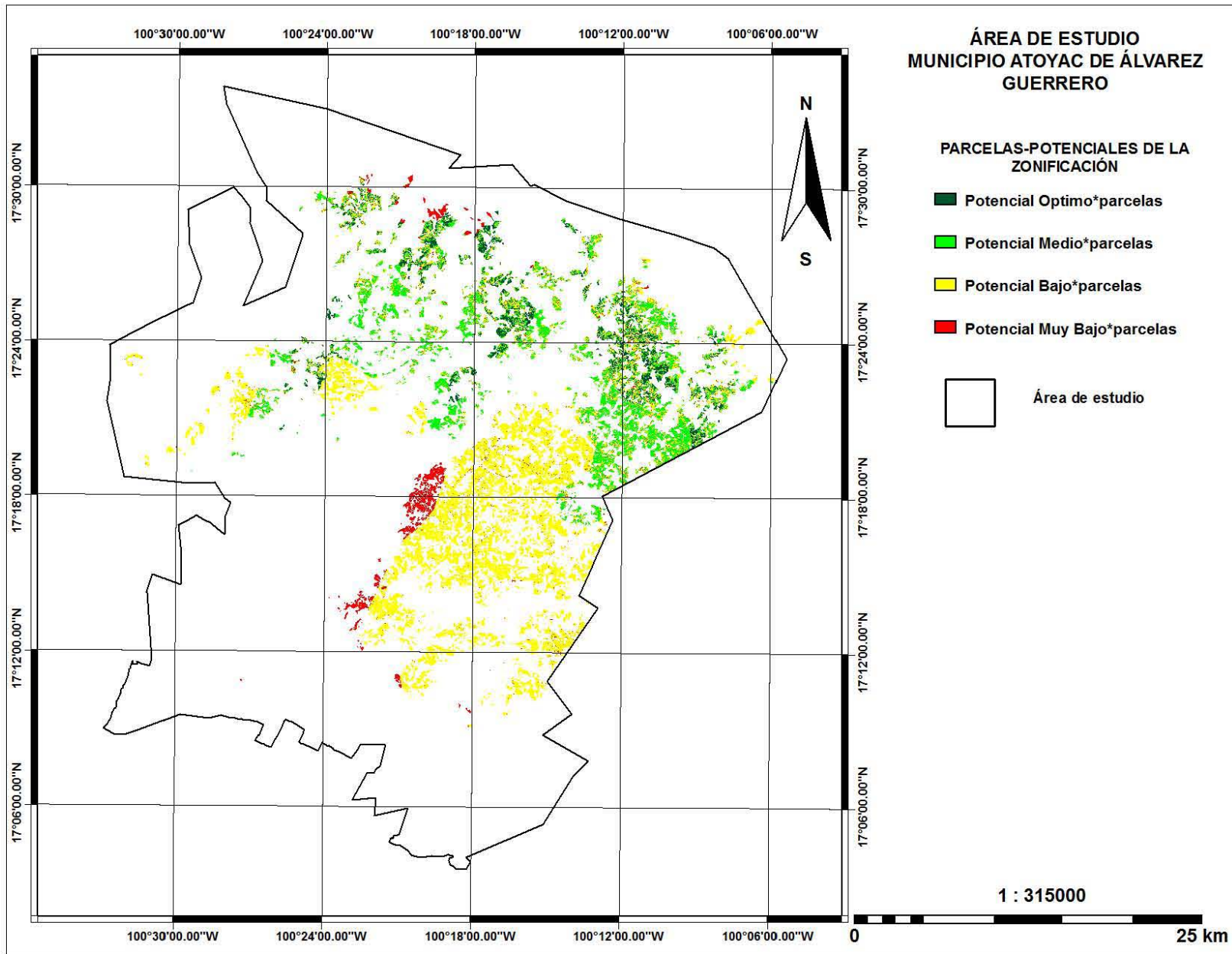


Figura IV.2. Potenciales de las parcelas cafetaleras con base en la zonificación agroecológica del área de estudio.

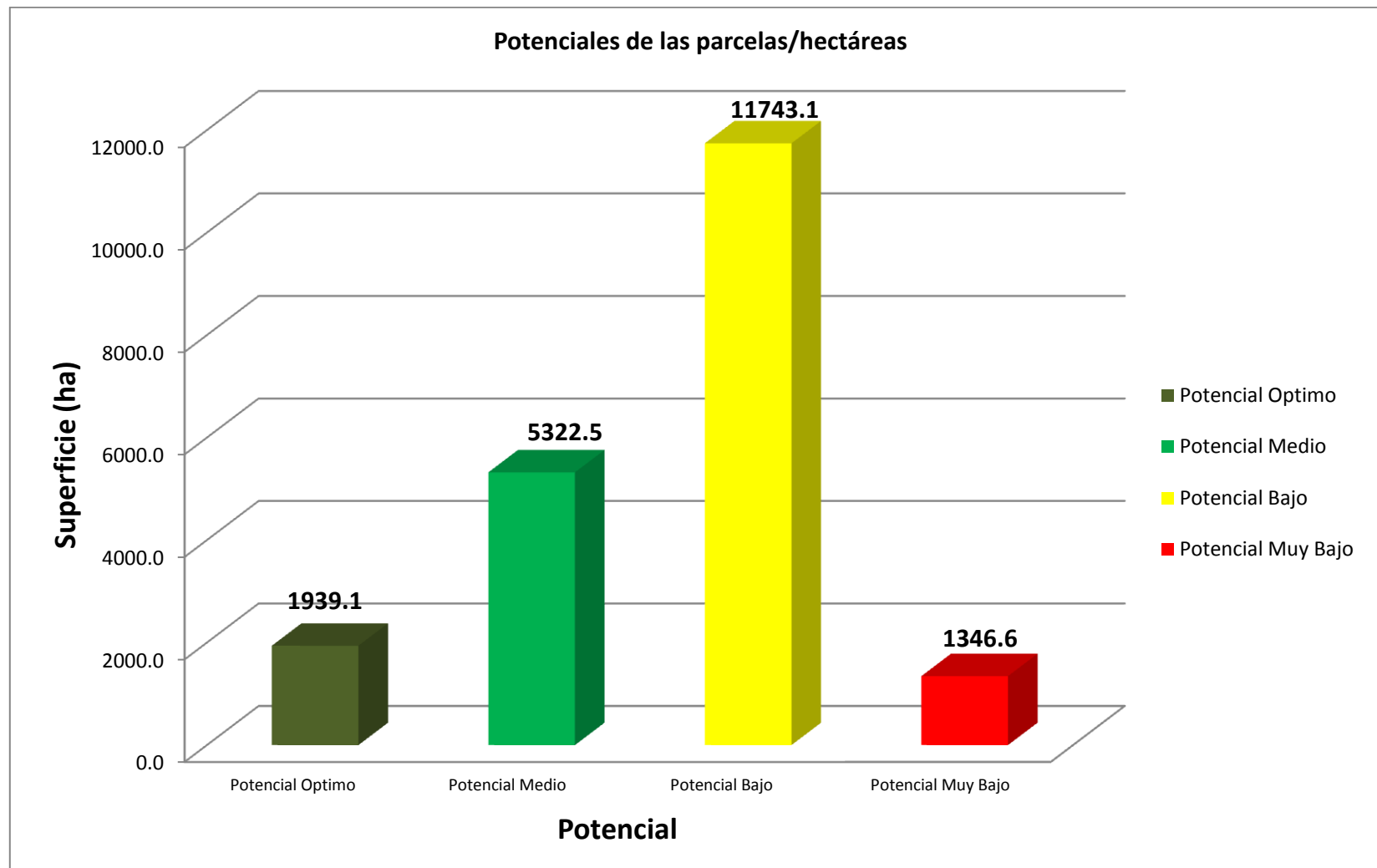


Gráfico IV .1. Superficie de los potenciales de las parcelas cafetaleras con base en la zonificación agroecológica del área de estudio.

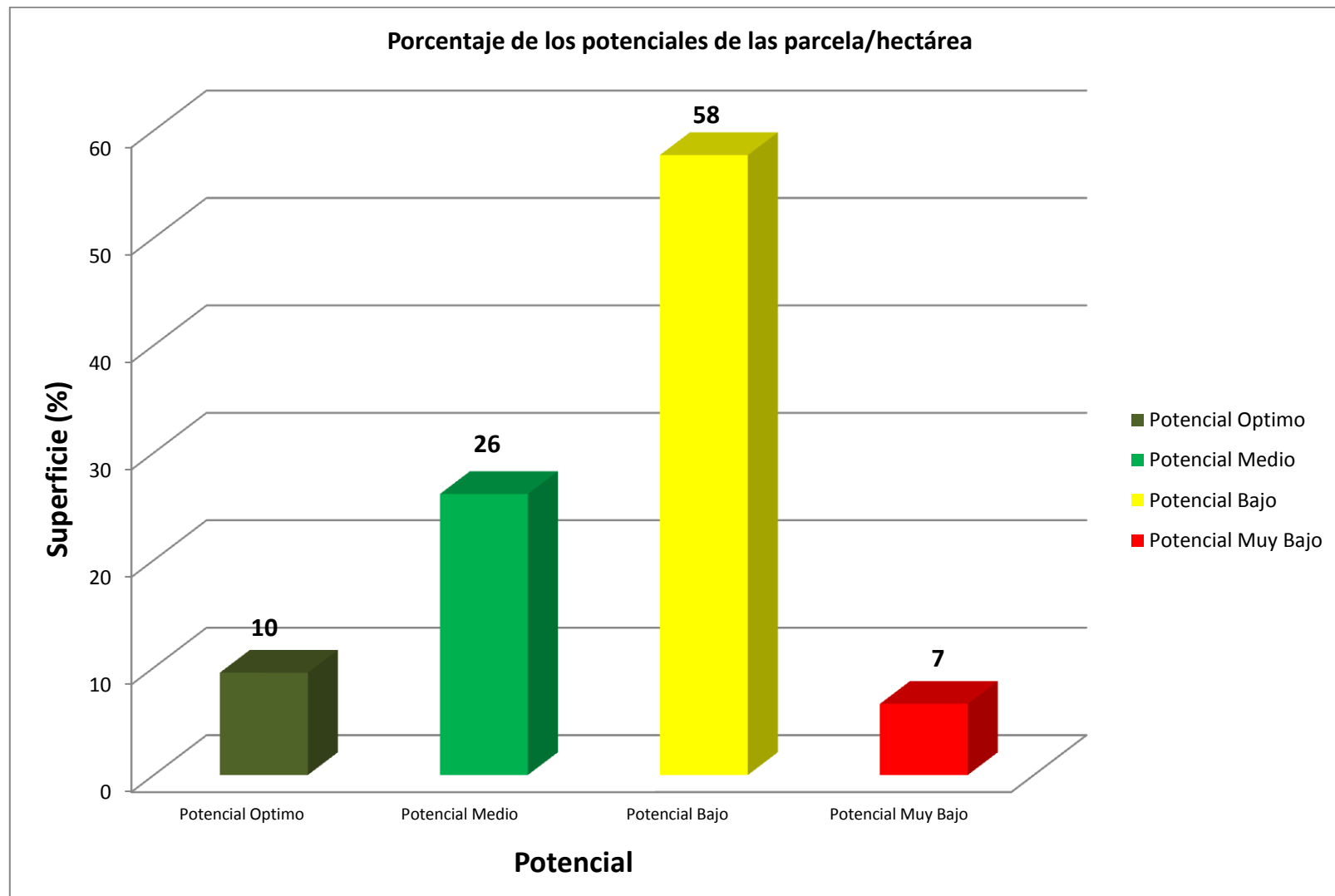


Gráfico IV.2. Porcentaje de la superficie de los potenciales de las parcelas donde se cultiva el café.

Los rendimientos esperados por los potenciales de las parcelas se reflejan en Ton/ha, apreciando que para los potenciales óptimos del área de estudio se consideró un estimado de 1 Ton/ha, para el caso de los potenciales medios se pudiera considerar rendimientos de 0.7 Ton/ha, para los potenciales bajos 0.4 Ton/ha y para los potenciales muy bajos se consideró 0.1Ton/ha. En este caso, con respecto al potencial óptimo de las parcelas, se prevé un aproximado de 1939.1Ton/ha que representaría el 18 % del total de todos los rendimientos de los potenciales de las parcelas. Para el caso de los potenciales medios, los rendimientos que se pudieran esperar son aproximadamente de 3725.7 Ton/ha, que significaría el 35 %. En el aspecto del potencial bajo por ocupar mayor superficie en las parcelas, los rendimientos que se proyectarían en este caso son de 4697.2 T/ha, siendo el mayor porcentaje con un 45 % del total de rendimientos esperados. Los potenciales muy bajos por tener menor superficie y considerarse un bajo rendimiento se considerarían rendimientos de 134.7 Ton/ha, que representaría el 2 % (Tabla IV 2; Gráficos IV. 3 y IV. 4).

Tabla IV 2. Rendimientos esperados y porcentajes de las parcelas cafetaleras del área de estudio.

Potenciales de las parcelas	Rendimientos esperados (Ton/ha)	Porcentaje (%)
Potencial óptimo 1 Ton/ha	1939.1	18
Potencial medio 0.7 Ton/ha	3725.7	35
Potencial bajo 0.4 Ton/ha	4697.2	45
Potencial muy bajo 0.1 Ton/ha	134.7	2
Total	10496.7	100

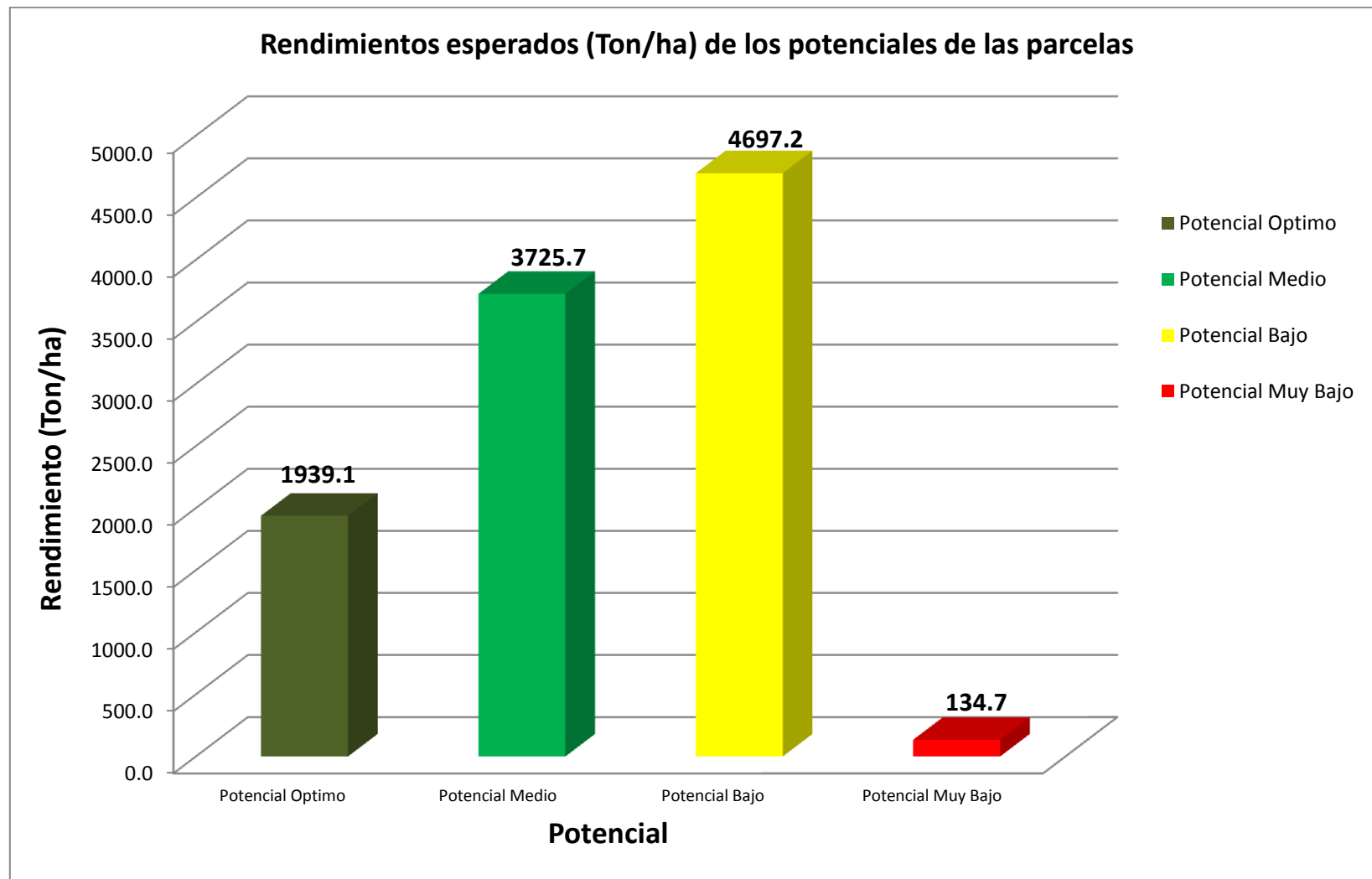


Gráfico IV. 3. Rendimientos esperados de acuerdo al potencial de cultivo de café con base en la zonificación agroecológica de las parcelas cafetaleras existentes en el área de estudio.

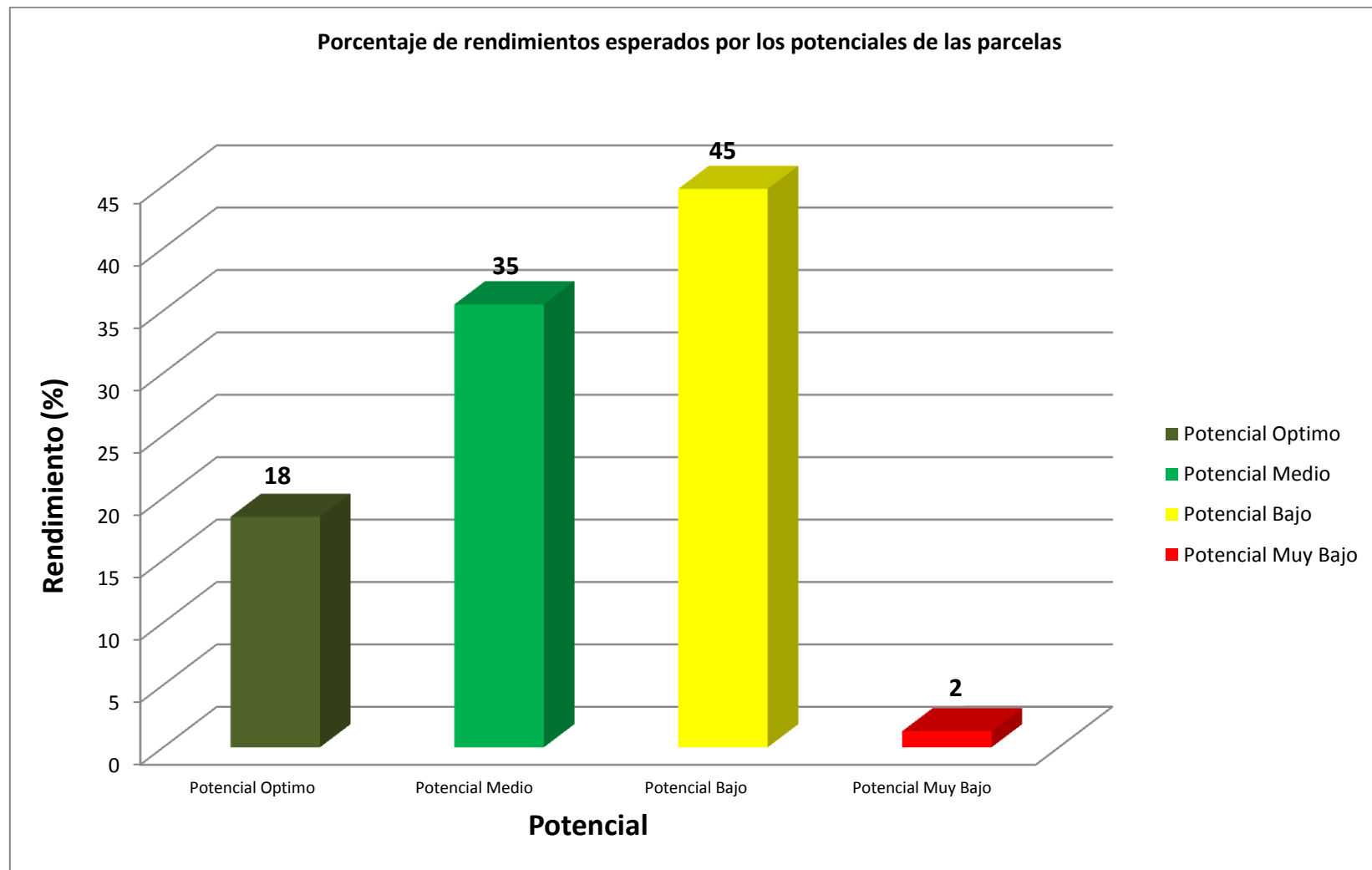


Gráfico IV. 4. Porcentaje de los rendimientos esperados de acuerdo al potencial de cultivo de café con base en la zonificación agroecológica de las parcelas cafetaleras existentes en el área de estudio.

IV.2. Análisis de los potenciales de las parcelas con respecto a los potenciales de la zonificación agroecológica del área de estudio.

La superficie total de los cuatro potenciales que se encuentran dentro de las parcelas cafetaleras, representan el 13 % de la superficie total de los potenciales área de estudio, con una superficie de 20 351.19 ha, distribuidos en los potenciales óptimos con una superficie de 1 939.11 ha, que representa el 1 % del área total de estudio, los potenciales medios poseen un área de 5 322.45 ha, que significa el 3 %, los potenciales bajos poseen un área de 11 743.07 ha que muestra el 8 % y por último el potencial muy bajo de las parcelas posee una superficie de 1 346.56 ha, que representa el 1% del área total de estudio. (Tabla IV. 3 y Gráfico IV. 5).

Tabla IV. 3. Potenciales de la zonificación agroecológica y de las parcelas.

Potenciales	Potenciales de la zonificación agroecológica (ha)	Potenciales de las parcelas (ha)	% de Potenciales con respecto a la superficie total del área de estudio
Potenciales óptimos	7 163.47	1 939.11	1
Potenciales medios	28 143.75	5 322.45	3
Potenciales bajos	62 130.65	11 743.07	8
Potenciales muy bajos	58 411.38	1 346.56	1
Total	155 849.25	20 351.19	13%

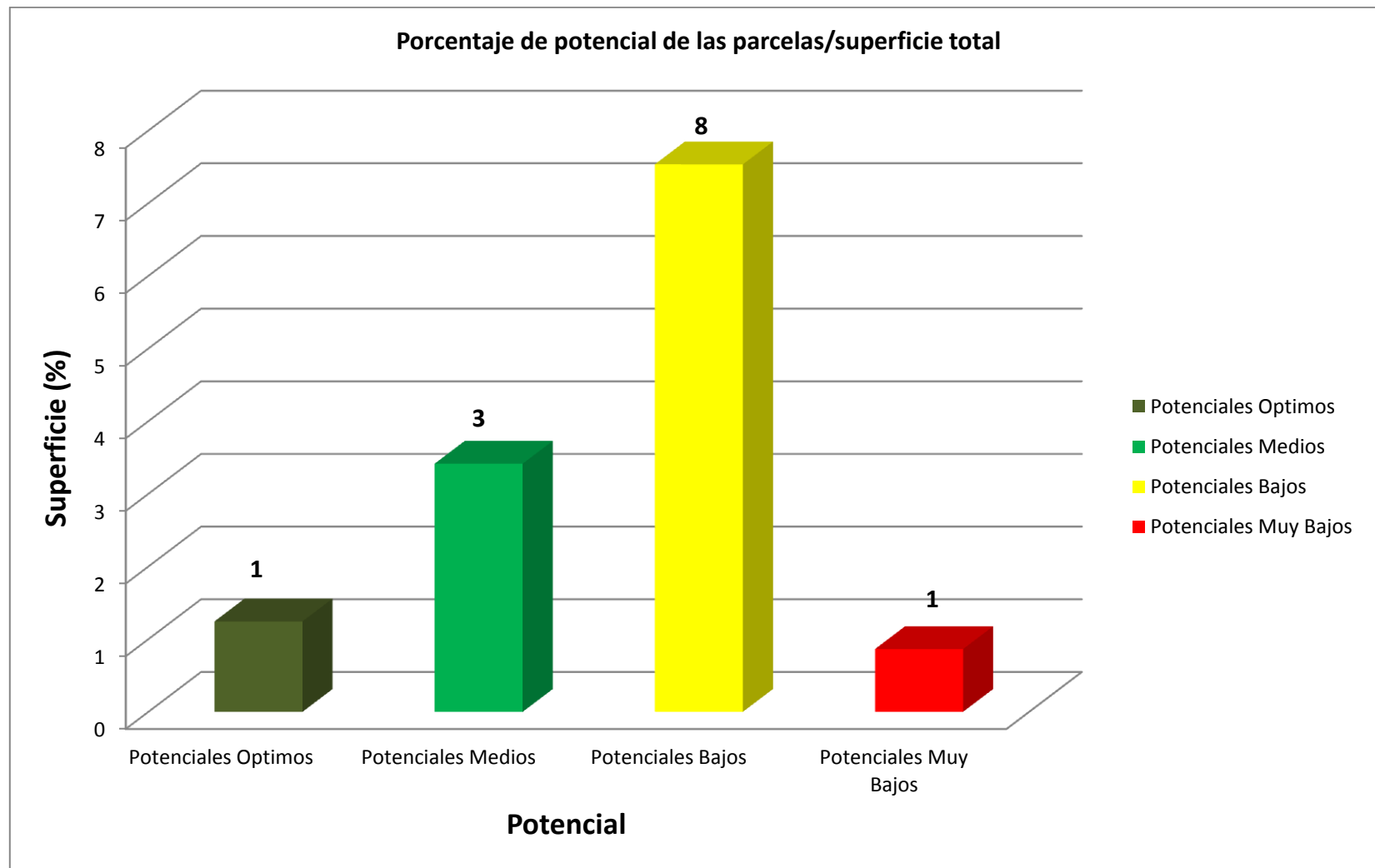


Gráfico IV. 5. Porcentaje de potenciales de las parcelas con respecto a la superficie total del área de estudio.

La relación de los posibles rendimientos a obtener de los potenciales de las parcelas cafetaleras con respecto al rendimientos total de los potenciales de la zonificación, mostró el porciento de los rendimientos de los potenciales óptimos de las parcelas con respecto al rendimiento total de la zonificación del área de estudio es de 3.4 %. Los rendimientos de los potenciales medios muestran un 6.5 % con respecto al total de los rendimientos esperados de la zonificación. Los potenciales bajos de las parcelas muestran un porcentaje de los rendimientos esperados del 8% con respecto al rendimiento total de la zonificación. El porciento de los rendimientos esperados de los potenciales muy bajos de las parcelas mostró un 0.2 % del rendimiento total de la zonificación (Tabla IV. 4; Gráficos IV. 6 y IV. 7).

Tabla IV. 4. Rendimientos esperados de los potenciales de la zonificación agroecológica y de las parcelas. Por ciento de los potenciales de las parcelas con respecto al total de los rendimientos de los potenciales de la zonificación agroecológica.

Potenciales	Rendimientos esperados de los potenciales de la zonificación agroecológica (Ton/ha)	Rendimientos esperados de los potenciales de Las parcelas (Ton/ha)	% de los Rendimientos esperados de los potenciales de las parcelas con respecto al total de los rendimientos de los potenciales de la zonificación agroecológica
Potencial óptimo 1 Ton/ha	7163.5	1939.1	3.4
Potencial medio 0.7 Ton/ha	19700.6	37 25.7	6.5
Potencial bajo 0.4 Ton/ha	24852.3	46 97.2	8
Potencial muy bajo 0.1 Ton/ha	5841.1	134.7	0.2
Total	57 557.5 T/ha	10 496.7 T/ha	18.1%

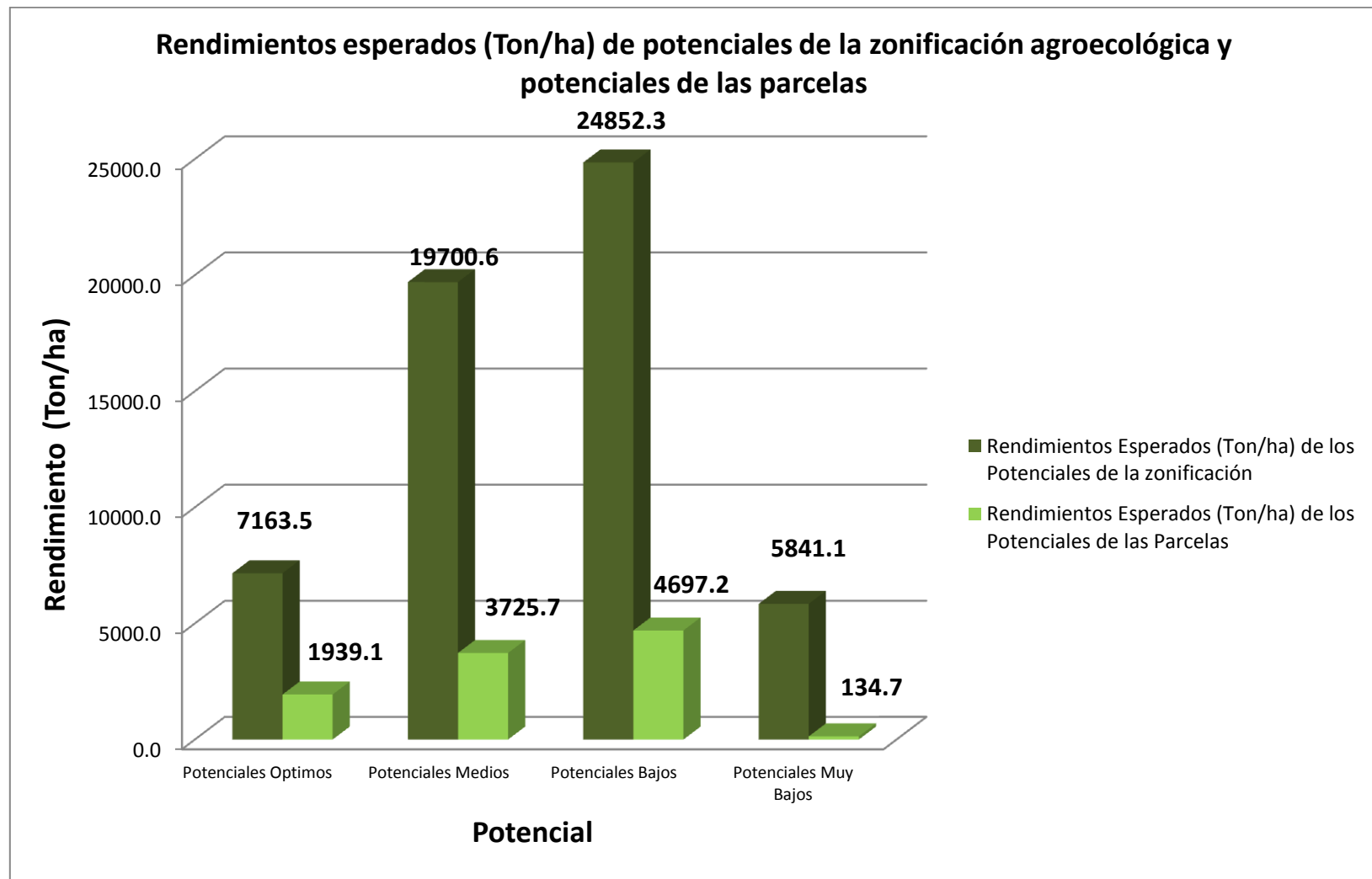


Gráfico IV. 6. Rendimientos esperados (Ton/ha) de potenciales de la zonificación agroecológica y de las parcelas.

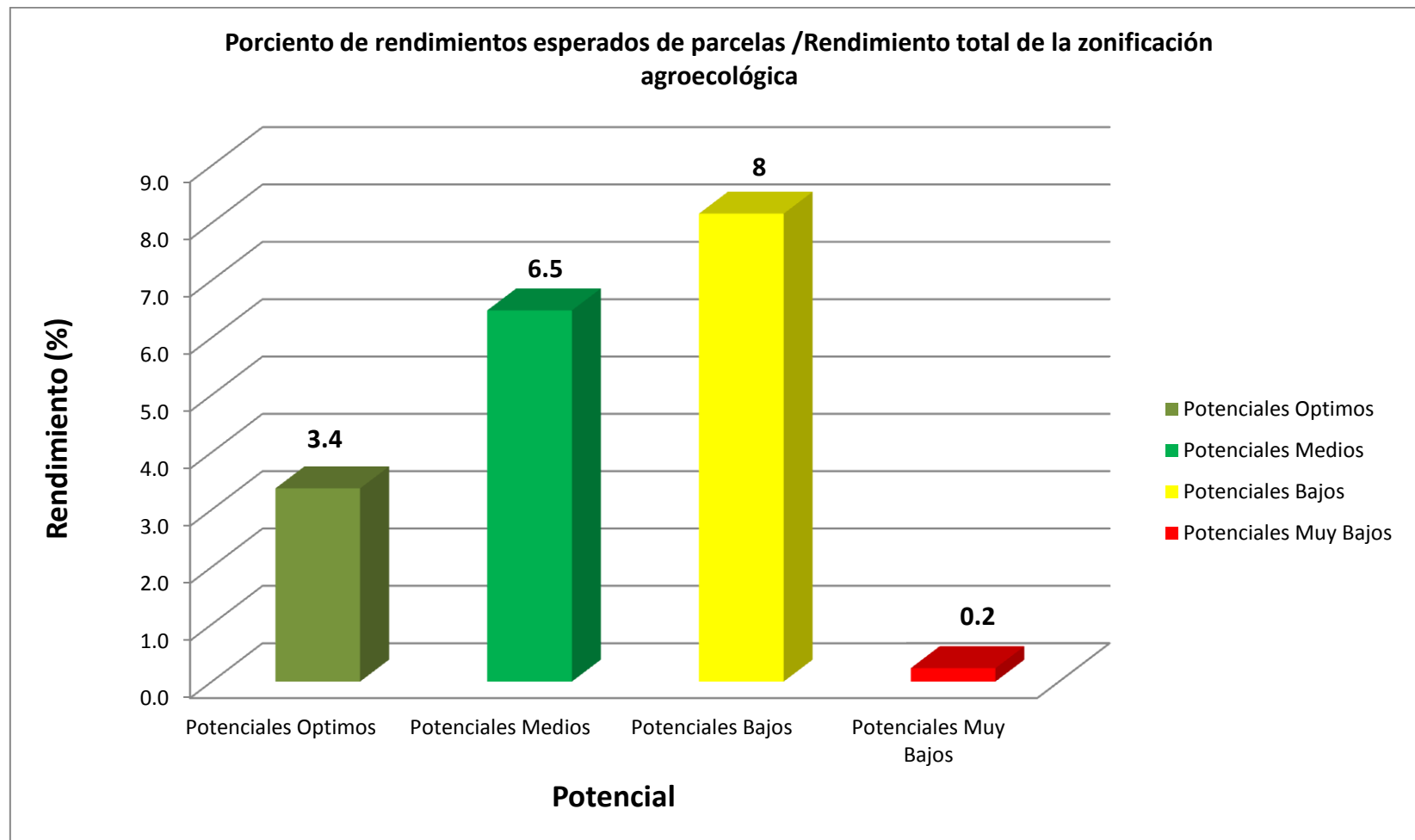


Gráfico IV.7. Porcentaje de los rendimientos esperados de los potenciales de las parcelas con respecto al rendimiento total de la zonificación agroecológica del área de estudio.

La distribución y establecimiento de los potenciales de las parcelas cafetaleras dentro del área total de las parcelas, muestra que la mayor superficie se encuentra en los potenciales bajos. La superficie de los potenciales bajos de las parcelas cafetaleras son los que mayor área representaron con respecto a la superficie total de la zonificación del área de estudio.

La relación de los rendimientos esperados por cada parcela mostró que los rendimientos de los potenciales bajos ocupan mayor porcentaje (45 %), con respecto al total de los rendimientos esperados de todos los potenciales del total de las parcelas cafetaleras. Los rendimientos esperados de los potenciales bajos de las parcelas cafetaleras muestran el mayor porcentaje (8 %), con respecto al total de rendimientos esperados de los potenciales de la zonificación del área de estudio.

CONCLUSIONES

1. Los requerimientos agroecológicos de mayor influencia a la hora de establecer el trabajo de zonificación agroecológica fueron; por la parte del relieve los rangos de pendientes y de altitudes donde jugaron un papel esencial a la hora de definir los potenciales de la zonificación agroecológica, en el aspecto climático los rangos de precipitaciones y temperaturas medias anuales fueron muy importante en cuanto al establecimiento de los distintos potenciales y en cuanto a la condición edafológica, las claves jerarquizadas de suelos definieron los diferentes potenciales del área de estudio.
2. La determinación de los potenciales físico-geográficos óptimos para lograr una mejor zonificación agroecológica del cultivo del café, arrojaron que la mayor aptitud natural para su desarrollo queda comprendida en las zonas de montañas bajas, entre los intervalos hipsométricos de 1000 a 1500 msnm, con pendientes entre 0.1° hasta 18° ; considerándose pendientes suaves, sobre suelos Acrisoles y con una clave jerarquizada Ah+Bh+Hh/2, constituida también como unidad primaria Acrisol; con precipitaciones entre los 1 500 a 2 000 mm; en zonas semicálidas con espectro térmico de 18°C a 22°C , el tipo de vegetación que se encuentran los potenciales óptimos es de bosques y vegetación antrópica, dentro de las formaciones vegetales que se encuentran los potenciales óptimos son bosques de pino, bosques de pino-encino, bosque mesófilo de montaña y áreas pecuarias forestales.

3. Los potenciales físico-geográficos para el desarrollo del café, determinados por los SIG, mostraron áreas con potenciales óptimos en 7 163.47 ha, con potenciales medios en 28 143.75 ha, y bajos y muy bajos en 62 130.65 ha y 58 411.38 ha respectivamente.
4. La prospectiva para el café se analizó para definir la atención en el territorio de estudio, donde sus plantaciones presentan rendimientos muy bajos, (<2.49 Qq/ha), lo que equivale a 0.25 Ton/ha, producto a la baja densidad de población por hectárea y la falta de atenciones culturales al cultivo, por lo que la situación actual del café se analiza en atención al Estado de Guerrero; sus condiciones agroecológicas donde se cultiva café pueden considerarse aceptables, por lo que podemos plantear que se pueden obtener potenciales óptimos con 1Ton/ha, potenciales medios con 0.7 Ton/ha, bajos con 0.4 Ton/ha y muy bajos con 0.1 Ton/ha.
5. El análisis de los potenciales de las parcelas con respecto a los potenciales de la zonificación agroecológica del área de estudio, mostró que la distribución y establecimiento de los potenciales de las parcelas cafetaleras dentro del área total de las parcelas, muestra que la mayor superficie se encuentra en los potenciales bajos (58 %). La superficie de los potenciales bajos de las parcelas cafetaleras son los que mayor área representaron con respecto a la superficie total de la zonificación agroecológica del área de estudio.
6. El trabajo de zonificación agroecológica realizado, se convierte en un instrumento que ayuda a evaluar los potenciales del área de estudio desde

el establecimiento de los requerimientos agroecológico; así como la constitución de diferentes variables físicas naturales como son en este caso fueron; relieve, climáticas y edafológicas, en su conjunto o por separado y representadas espacialmente a través de mapas temáticos de potenciales y el establecimiento de un producto final de un mapa de zonificación agroecológica.

7. La presente zonificación agroecológica del *Coffea arabica* representa uno de los principales aportes de esta investigación y, a su vez, constituye el primer intento guerrerense en el empeño de optimizar la agricultura del café, sus producciones y rendimientos, siendo un valioso instrumento de carácter técnico, basado en experiencias nacionales e internacionales y en la información sobre las condiciones naturales existentes en el municipio de Atoyac de Álvarez, que indiscutiblemente ayudará al fomento de las plantaciones cafetaleras.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar los Sistemas de Información Geográfica, para la zonificación agroecológica por su utilidad.
2. Aplicar la zonificación agroecológica del cultivo de *Coffea arabica* en el área de estudio de los ejidos que se encuentran dentro del municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero; para el desarrollo prospectivo de este municipio, siendo imprescindible realizar el manejo adecuado al cultivo.
3. Emplear los potenciales agroecológicos para las diferentes zonas cafetaleras del estado, permitiendo en este caso un correcto uso de la tierra y un aprovechamiento óptimo de los recursos naturales.
4. La metodología utilizada se puede emplear en cualquier cultivo agrícola, forestal, siempre que se conozcan los requerimientos agroecológicos de la especie seleccionada.

BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M. y Nicholls, C., 2000, Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sostenible. Serie Textos básicos para la formación ambiental. ONU-PNUMA.

Amaya, F., 1998, Paquete tecnológico para la producción de café. Series Paquetes Tecnológicos, (6), Maracaibo, 307 p.

Arango, M., 2007, Zonificación agroecológica del café en puerto rico y Análisis estructural y de composición de especies Arbóreas presentes en el agroecosistema cafetero. Tesis de Grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de Suelos. Universidad de Puerto Rico recinto Universitario de Mayagüez.

Arias Calizaya, J. L., 2013, Zonificación agroecológica del cultivo de orégano (*Origanum vulgare* L.) En el distrito de Tarata provincia de Tarata-Tacna, Perú. p. 7.

Arrivillaga, J., 1996, El Café Sostenible en América Central. CECSA-INIREB. Primer Congreso de Café Sustentable, México, D. F., 6 p.

Barradas VL y Fanjul L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. Agricultural and Forest Meteorology 38:101-112.

Barradas VL, Cervantes-Pérez J, Ramos-Palacios R, Puchet-Anyul C, Vázquez-Rodríguez P, Granados-Ramírez R. 2010. Meso-scale climate change in the central mountain region of Veracruz State, Mexico. En: Bruijnzeel LA, Scatena FN

y Hamilton LS (eds), Tropical Montane Cloud Forests. Pp. 549-556. Cambridge University Press, Cambridge.

Benacchio, S., 1984, Zonificación agroecológica de cultivos en áreas bajas del trópico húmedo de Venezuela. Simposio do Trópico Umido, pp. 2-17.

Cabezas, E. I. S., 1999, Calidad del *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. Turrialba: CATIE, Primera ed., Costa Rica.

Cabezas, E. I. S., 1999, Calidad del *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. Turrialba: CATIE, Primera ed., Costa Rica.

Camargo, A.P., 1977, Zoneamento da aptidão climática para cultura comerciais em áreas de cerrado. En: Simposio sobre o cerrado. (4:1976: Brasília. Sao Paulo), EDUSP/Belo Horizonte, Itataia, pp. 89-105.

Cano, F. H., 1975, Un siglo de análisis histórico y previsiones de las heladas en la cafeicultura brasileña (1970-1975). INMECAFE, México, D. F.

Carvajal, J. F., 1972, Cafeto-cultivo y fertilización, Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 141 p.

Chuvienco Salinero, E., 2008. Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra desde el Espacio. Tercera ed. Barcelona (Barcelona): Ariel Ciencias,S.A.

CONABIO, 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Primera ed. México D. F., México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Cortéz-Marin, Adriana Lelys; Aceves-Navarro, Lorenzo A.; Arteaga-Ramírez, Ramón; Vázquez-Peña, Mario A., 2005. Zonificación agroecológica para aguacate en la zona central de Venezuela. TERRA Latinoamericana, Universidad Autónoma Chapingo, México. Vol. 23, Núm. 2, abril-junio, 2005, pp. 159-166

Couturier, S. 2007. Evaluación de errores de cartas de cobertura vegetal y uso del suelo con enfoque difuso y con la simulación de imágenes de satélite. Programa de Doctorado en cotutela UNAM–UPS (Universidad P. Sabatier, Francia). Doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, Instituto de Geografía, UNAM, México.

FAO, 1997. Zonificación Agro-ecológica. Guía general: 9-16 p.

FitzPatrick, E.A. (1996), "Introducción a la Ciencia de los Suelos". Editorial Trillas. pp 181-182

Fundación PRODUCE de Chiapas e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Chiapas, 2003. Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología del Estado de Chiapas. 58 p.

García, E., 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. "Series Libros". Numero 6. Quinta ed. Ciudad México (D.F.): Instituto de Geografía-UNAM. 91 p

García Rubio, G., Schmook, B. y Espejel Carvajal, I., 2005. Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, pp. 122-139.

García, B. J., 1968. Clima agrícola del cafeto (*Coffea arabica*), y zonas potenciales en los Andes de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 18(1):57-85p.

García, M.T., Mas J.F., 2008. Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas*; 67: 7-19.

Garea, E., Soto, F., Vantour, A., 2008, "Zonificación agroecológica en condiciones de montaña mediante métodos de análisis espacial", *Revista Mapping*, vol. 27, pp. 47-49.

Gliessman, S. R. 1992. Agroecology in the tropics: achieving a balance between land use and preservation. *Environ. Manag.* 16, pp 681-689.

Gómez-Pompa, A., 1996. La Biodiversidad y la Agricultura: ¿Amigos o enemigos?. México, D. F.: CECSA-INIREB Primer Congreso de Café Sustentable. 7 p.

González, H., 2000, Zonificación Agroecológica del Coffea arabica en un Sector del Grupo Orográfico Guamuhaya, tesis de Maestría, La Habana, 49 p.

González, H., 2006, "Zonificación Agroecológica del Coffea arabica en un Sector del Grupo Orográfico Guamuhaya, utilizando los SIG", Revista Mapping, vol. 112, pp. 10-12.

González-Zamora A, Esperón-Rodríguez M, y Barradas V.L. 2016). Forest Systems 25(1), e055, 11 pages. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016251-07538>.

ILWIS, 2001. "Academic User's Guide". Tercera versión ed. ITC, Enschede: ITC-ILWIS.

INEGI, 2008, Guía para la Interpretación de Cartografía. Edafología. Guía para la Interpretación de Cartografía,. Segunda Edición. p. 29.

INEGI, 2009, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, México, D. F.

ITC., 2001. Principles of Geographic Information Systems. Second Edition ed. Enschede: ITC Educational Textbook Series;1.

Jiménez-Avila, E. y A. D., Golberg, 1996. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. CECSA-INIREB. Primer Congreso de Café Sustentable, México, D. F., 14 p.

Krasilnikov, P., Jiménez Nava, F. J., Reyna Trujillo, T. y García Calderón, N.E., 2011. Geografía de Suelos de México. Primera Edición ed. Ciudad México: UNAM, Facultad de Ciencias. pp. 78-79.

Küpper, A., 1981, "Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira". En Malavolta E, Yamada T, Guidolin JA (eds.) Nutrição e adubação do cafeeiro, Instituto da Potassa e Fosfato EUA/Instituto Internacional da Potassa (Suiza), Piracicaba, Brasil, pp. 27-54.

Lantada Zarzosa, N. y Nuñez Andrés, M., 2004. Sistemas de Información Geográfica. Prácticas con ArcView. Primera edición ed. D.F(D.F): Alfaomega.

Lilienfeld, R., 1984, Teoría de Sistemas, Editorial Trillas, México.

López, A. A., 2011, Modelo de gestión productiva para el cultivo del Café (*Coffea arabica*) en el Sur de Ecuador, Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Maestri, M., R. Barros, 1981, "Ecofisiología de cultivos tropicales. Café", Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., Publicación Miscelánea, núm. 288, 50 p.

Mas, J.-F., Velázquez, A. y Couturier, S., 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. Investigación Ambiental, 1(1), pp. 22-39.

Merino, L. y Segura, G., 2002. El manejo de los recursos forestales en México (1992-2002). Procesos, tendencias y políticas públicas. En: La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe. Coord. Enrique Leff.

Moguel, P. y Toledo, V. M., 1996. En busca de un Café Sustentable en México: La importancia de la Diversidad biológica y Cultural. México, D. F., CECSA-INIREB. Primer Congreso Sustentable, 8 p

Moguel, P., 2001. La Cafecultura en México: Hacia una Producción de Carácter Sustentable. En: La Cultura de la Tierra. Conceptos y Experiencias para una Agricultura Sustentable.. Primera Edición ed. Ciudad México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretariade Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural., pp. 184-222.

Mondoñedo, J. R., 1957. Breve historia del café en el mundo. Revista de Agricultura de Puerto Rico XLIV: 3-7.

Muschler, R. 1997b. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusión. XVIII Simposio Latinoamericano de caficultura, San José, Costa Rica. Septiembre. p. 471-475.

Navarro Parraud, M. d. C. y Lagorreta Paulín, G., 1998. Sistemas de Información Geográfica. Teoría introductoria y ejercicios con AutoCAD e IDRISI. Primera edición ed. D.F.(D.F.): Publicaciones Docentes del Museo de Zoología. "Alfonso L. Herrera".

Nosti-Nava, 1953, Cacao, café y té, Ed. Salvat, Barcelona, España.

Ordóñez Galán, C. y Martínez-Alegría López, R., 2003. Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones prácticas con IDRISI32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas mediomambientales.. Primera edición ed. Madrid (Madrid): Alfaomega.

Ortolani, A. A., 1968. Clima e zoneamiento agroclimático do estado do Espírito Santo. Plano de diversificado e desenvolvimento agrícola. ASPLAN, II:241-290.

Peña, V., 1987, Análisis geoeconómico de la actividad cafetalera en la región de Coatepec, Veracruz, tesis de Licenciatura, México, D. F., 156 p.

Peña, V., 1989. Análisis geoeconómico de la actividad cafetalera en la región de Coatepec, Veracruz. UNAM, Tesis de Licenciatura en Geografía, México, D. F., 156 p.

Pérez, E., 1989, Zonificación agroecológica del cultivo del café, en la zona centro de Veracruz, tesis de Maestría, Centro de Edafología, Montecillos, México, 133 p.

Perfecto, I., 1996. La pérdida de diversidad de insectos en un agroecosistema cambiante: el caso de la tecnificación del café. Primer Congreso Sustentable. 6 pp

Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M. y Franco Plata, R., 2011. Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del estado de México en el período 1993-2000. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, Issue 56.

Pineda Santos, L. D. y Suárez Hernández, J. E., 2014. Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *INGENIERÍA AGRÍCOLA*, 4(3), pp. 28-32.

Portilla, E. P. & Geissert Kientz, D., 2006. Zonificación Agroecológica de Sistemas Agroforestales: el caso del Café (*Coffea arabica* L.)-Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Revista de Ciencia y Tecnología de América*, Agosto, 31(008), pp. 556-562.

Quintero Pérez, J. A., 2009. Definición y origen de los Sistemas de Información Geográfica. En: I. d. Geografía, ed. *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*. Primera edición ed. D.F.(D.F.): Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 115-147.

Rojas, O. E., 1987. Zonificación Agroecológica para el cultivo del Café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. Programa Cooperativo para la Protección y Modernización de la Caficultura en México, Centro América, Panamá y El Caribe (PROMECAFE). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), p 39.

Rojas, O. E., 1987. Zonificación Agroecológica para el Cultivo de Café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. Primera ed. San José (San José): Serie Publicaciones Micelaneas/IICA No A1/OCR-87-007.

SAGARPA, 2005, Plan Rector del Sistema Producto Café en México, México, D. F.

SAGARPA, 2008, Agenda de Innovación Tecnológica Guerrero 2008-2011, Chilpancingo.

SAGARPA, 2011a, Plan de innovación en la cafecultura en MÉXICO, DF, MEXICO: s.n.

SAGARPA, 2011b, Plan de Innovación de la Cafecultura en el estado de Guerrero, San Luis Acatlán, Guerrero.

SAGARPA, 2008. Agenda de Innovación Tecnológica Guerrero 2008-2011, Chilpancingo: SAGARPA.

SAGARPA, 2011. Plan de innovación en la cafecultura en México, df, Mexico: s.n.

SAGARPA, COFUPRO, AMECAFE, INCA, SISTEMA PRODUCTO CAFE, 2011. Plan de innovación de la cafecultura en el estado de Guerrero, MEXICO: SAGARPA.

Sánchez Colón, S., A. Flores Martínez, I. A. Cruz-Leyva y A. Velázquez. 2008. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. II Estudio de país. CONABIO, México.

Servicios Profesionales Integrales para el Desarrollo Regional, 2006. Estudio de Reconversión Productiva en las Zonas Marginales Productoras de Café. Xalapa, Veracruz, 139 p.

Simon, H.A., 1969, The Sciences of the Artificial, MIT Press, Cambridge Ma.

Sivakumar M.V. y Valentín C. 1997. Agroecological zones and assessment of crop production potential. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 352: 907-917.

Soto, F., A., Vantour, A., Hernández, A., Planas, A., Figueroa, P., Fuentes, T., Tejeda, M., Morales, R., Vázquez, E., Zamora, H., Alfonso, L., Vázquez, P., Caro, 2001, "La Zonificación Agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. Macizo Montañoso Sagua-Nipe-Baracoa". *Cultivos Tropicales*, vol. 22, núm. 3, pp. 27-51.

Suárez Venero, G., R., Guarat, Z., Vazquez, A., Vantour, E., Garea, E. Sánchez, 2006, Zonificación agroecológica de *Theobroma cacao*, Lin para el Macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, Informe Final del Fórum de Ciencia y Técnica, Centro de Desarrollo de la Montaña, CITMA, Cuba, 35 p.

Toledo, V. M., Moguel, P., 1996. En busca de un Café Sustentable en México: La importancia de la Diversidad biológica y Cultural. México, D. F., CECOSA-INIREB. Primer Congreso Sustentable, 8 p.

UAGro a., 2006. Ordenamiento Territorial Comunitario. Ejido EL Molote, Municipio Atoyac de Álvarez; Guerrero. Informe Final. Universidad Autónoma de Guerrero; México.90 pp

UAGro b., 2009. Ordenamiento Territorial Comunitario. Ejido EL Paraíso, Municipio Atoyac de Álvarez; Guerrero. Informe Final. Universidad Autónoma de Guerrero; México.119 pp.

Valencia, G, 1988, Manual de nutrición y fertilización. Quito. Instituto de la Potasa y el Fósforo, pp 61

Vega, J. A., 1995, "Zonificación del Cultivo de Café en Costa Rica. Parámetros de Clasificación". Revista del Instituto de Café de Costa Rica, Noticiero del Café, Julio-Agosto, Issue 91, p. 6.

Venero et al, 2006. "Zonificación agroecológica de Theobroma cacao, Lin para el Macizo montañoso Nipe - Sagua – Baracoa ". p.35.

Vicente-Chandler, J., Abruña, F., Bosque Lugo, R. and Silva, S., 1968. Intensive coffee culture in Puerto Rico. Agric. Exp. Stn. Univ. P.R. Bull. 211.

Villa C, M. M., Inzunza I., M. A. & Catalán V., E. A., 2001. Zonificación agroecológica de hortalizas involucrando grados de riesgo. Terra Latinoamericana, Universidad Autónoma Chapingo, México. ISSN 0187-5779, 19(1), pp. 1-7.

Zuviría, M., Valenzuela, C. R., 1994, Mapping land suitability for coffee with ILWIS, ITC Journal, number 3, pp. 301-307.

ANEXOS

Anexo 1. Unidades edafológicas que conforman el territorio y la constitución de las claves edafológicas correspondiente a cada unidad principal, donde se componen por una clave jerarquizada constituida por uno, dos o hasta tres tipos de suelos, siendo predominante la primera unidad, así como mostrando su clase textural y sus fases físicas y químicas.

Unidades de suelos	Primera unidad de suelos	Segunda unidad de suelos	Tercera unidad de suelos	Clase textural	Fases Físicas/Químicas	Claves edafológicas
Acrisol	Acrisol húmico (Ah)	Cambisol húmico (Bh)	Feozem húmico (Hh)	Media (2)		Ah+Bh+Hh/2
Cambisol	Cambisol cálcico (Bc)	Cambisol eútrico (Be)	Acrisol órtico (Ao)	Media (2)		Bc+Be+Ao/2
	Cambisol cálcico (Bc)	Feozem háplico (Hh)	Regosol eútrico (Re)	Media (2)		Bc+Hh+Re/2
	Cambisol cálcico (Bc)	Regosol eútrico (Re)	Litosol (I)	Media (2)	Fase Lítica profunda (LP)	Bc+Re+I/2/LP
	Cambisol húmico (Bh)	Feozem háplico (Hh)		Fina (3)		Bh+Hh/3
	Cambisol húmico (Bh)	Acrisol húmico (Ah)		Fina (3)		Bh+Ah/3
Feozem	Feozem háplico (Hh)	Regosol eútrico (Re)	Cambisol cálcico (Bc),	Media (2)	Fase Sódica (n).	Hh+Re+Bc/2/n
	Feozem háplico (Hh)	Regosol eútrico (Re)		Media (2)		Hh+Re/2
Litosol	Litosol (I)	Regosol eútrico (Re)	Cambisol cálcico (Bc)	Media (2)		I+Re+Bc/2
	Litosol (I)	Regosol eútrico (Re)				I+Re/2

Regosol	Regosol eútrico(Re)	Feozem háplico (Hh)	Luvisol cálcico (Lc)	Media (2)		Re+Hh+Lc/2
----------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------	--	------------

Anexo 2. Tabla mostrando el cruce de los mapas de potenciales hipsométricos y de pendiente con los mapas de potenciales rangos de temperatura y de precipitación y con el mapa de clave edafológica, mostrando el resultado final de la zonificación agroecológica a partir de los potenciales de todas estas variables.

Tipo de cruce entre los mapas	Variable clima-relieve. Potenciales entre rangos de precipitación – temperatura y potenciales entre hipsometría - pendiente en grados.	Potencial de las claves de suelos	Potenciales de la zonificación agroecológica	Superficie (ha)
Optimo * Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	7163.47
Optimo * Bajo	Optimo	Bajo	Bajo	175.01
Optimo * Muy Bajo	Optimo	Muy Bajo	Muy Bajo	118.19
Muy Bajo * Optimo	Muy Bajo	Optimo	Muy Bajo	32465.43
Muy Bajo * Medio	Muy Bajo	Medio	Muy Bajo	1508.92
Muy Bajo * Bajo	Muy Bajo	Bajo	Muy Bajo	16056.99
Muy Bajo * Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	5145.45
Bajo * Optimo	Bajo	Optimo	Bajo	56099.57
Bajo * Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	4431.84
Bajo * Muy Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	2333.46

Medio * Optimo	Medio	Optimo	Medio	28143.75
Medio * Bajo	Medio	Bajo	Bajo	1424.23
Medio * Muy Bajo	Medio	Muy Bajo	Muy Bajo	782.94