

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ;
SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO
TESIS DE GRADO

JOSÉ JONÁS ARRIAGA LÓPEZ

CARNET 21653-09

JUTIAPA, JUNIO DE 2017
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ;
SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

JOSÈ JONÀS ARRIAGA LÓPEZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS EN EL GRADO ACADÉMICO
DE LICENCIADO

JUTIAPA, JUNIO DE 2017
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR:	P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO:	MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA
MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN
ING. SERGIO ALEJANDRO MANSILLA JIMÉNEZ

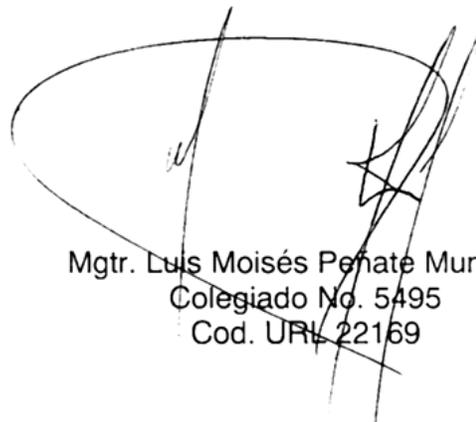
Guatemala 26 de junio de 2017

Señores
Comisión de trabajos de graduación
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros de la comisión:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de tesis del estudiante José Jonas Arriaga López, carné 2165309, titulado: **“EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ; SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO”**, el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Mgtr. Luis Moisés Peñate Munguía
Colegiado No. 5495
Cod. URL 22169

Ing. Luis Moisés Peñate Munguía M.A.
Especialista en Protección Vegetal
Colegiado 5495 CIAG



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JOSÉ JONÁS ARRIAGA LÓPEZ, Carnet 21653-09 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS, de la Sede de Jutiapa, que consta en el Acta No. 0657-2017 de fecha 6 de junio de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ; SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 19 días del mes de junio del año 2017.



**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**

INDICE

RESUMEN.....	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEORICO	3
2.1 Cambio climático.....	3
2.2 Variabilidad climática	4
2.2.1 Condiciones climáticas y sus efectos en el municipio.....	5
2.3 El cambio climático y la agricultura	6
2.4 Fenología del cultivo de café	7
2.5 Valores apropiados de temperatura y precipitación para el cultivo de café	9
2.6 Superficie total del cultivo de café en Guatemala	10
2.7 Producción	11
2.7.1 Generalidades del cultivo.....	12
2.7.2 Factores ecologicos	12
2.7.3 Enfermedades.....	14
2.7.4 La sostenibilidad	16
2.7.5 Establecimiento de sistemas agroforestales con café.....	17
2.7.6 Uso de coberturas nobles	19
2.7.7 Las resistencias Genéticas	20
2.8 Holdridge.....	20
2.9 Componente Bosque	21
2.10 Base de datos climatologica mundial worldClim	22
2.11 La importancia de analizar el cambio climático con base en las zonas de vida.....	23
2.12 Necesidad de acciones para prevenir el futuro	23
2.13 La importancia de los datos climaticos y altitud en el café.....	234
III. JUSTIFICACION	25
3.1 JUSTIFICACION DEL TRABAJO Y PLANTAMIETNO DEL PROBLEMA	25
IV. OBJETIVOS	27
4.1 OBJETIVO GENERAL	27
4.2 ESPECÍFICOS	27
V. METODOLOGÍA	28
5.1 Localización y descripción del área de estudio	29
5.2 Delimitacion del area de estudio	29

5.3	Digitalización del uso de la tierra, café y otros usos.....	29
5.4	Análisis del componente Bosque	29
5.5	Análisis del componente Zonas de Vida	29
5.6	Elaboración mapas de precipitación y temperatura	30
5.7	Definición de unidades por variable climática	31
5.8	Evaluación de Humedad	32
5.9	Análisis de la información	33
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
6.1	Delimitación del área de estudio	34
6.2	Uso de la tierra, café y otros usos.....	35
6.3	Componente bosque.....	38
6.4	Zonas de Vida	39
6.5.1	Escenario Climático Actual.....	45
6.5.2	Distribución actual café	46
6.6	Escenario Climático 2020	48
6.7.	Escenario Climático 2050	52
6.8.	Capacidad de Uso.....	57
6.9.	Propuesta de lineamientos al cambio climático.....	59
6.9.1	Socio-ambiental	59
6.9.2	Conservación y protección de los ecosistemas naturales	60
6.9.3	Manejo integrado del cultivo.....	61
	ASPECTOS COMERCIALES	65
VII.	CONCLUSIONES	66
VIII.	RECOMENDACIONES	67
IX.	BIBLIOGRAFÍA	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambios en la temperatura media del planeta.....	5
Figura 2. Zona de estudio de áreas productoras de café en Guatemala.	11
Figura 3 Diagrama para la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo	21
Figura 4. Mapa San Juan Comalapa colindancias y aldeas	28
Figura 5. Mapa de zonas de vida de Guatemala. Año 2000	30
Figura 6. Mapa delimitación del área de estudio.....	34
Figura 7. Mapa uso actual 2016.....	36
Figura 8. Mapa cobertura forestal 2016	39
Figura 9. Mapa de zonas de vida, San Juan Comalapa. Año 2006	41
Figura 10. Mapa de zonas de vida, San Juan Comalapa. Año 2013.....	42
Figura 11 Mapa temperatura actual Año 2016.....	44
Figura 12 Mapa de precipitación pluvial actual. Año 2016.....	45
Figura 13. Mapa de evapotranspiración actual. Año 2016	46
Figura 14. Distribución actual potencial de café.....	47
Figura 15. Mapa de temperatura escenario 2020	48
Figura 16. Mapa de precipitación pluvial (mm) escenario 2020	49
Figura 17. Mapa de evapotranspiración escenario 2020	50
Figura 18. Mapa de zona potencial de café escenario 2020.....	51
Figura 19 Mapa de temperatura escenario 2050	52
Figura 20. Mapa de precipitación pluvial (mm) escenario 2050	54
Figura 21. Mapa de evapotranspiración escenario 2050	55
Figura 22. Mapa de zona potencial de café escenario 2050.....	56
Figura 23. Mapa capacidad de uso, San Juan Comalapa. Año 2006.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Uso de la tierra	35
Cuadro 2. Uso de la tierra del municipio de San Juan Comalapa	37
Cuadro 3 Cobertura forestal.....	38
Cuadro 4 Capacidad de uso.....	57

EVALUACION DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL CULTIVO DE CAFE, SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar los escenarios de cambio climático 2020 y 2050 en sistemas productivos del cultivo de café. La investigación se realizó en el municipio de San Juan Comalapa, se evaluó temperatura y precipitación para determinar el posible comportamiento o adaptabilidad del cultivo de café. La investigación se llevó a cabo con los escenarios desarrollados a nivel nacional, por el Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar, utilizando la base de datos de WorldClim, que es una plataforma informativa del clima a nivel global. Los resultados obtenidos mostraron que el uso predominante de la tierra en el municipio de San Juan Comalapa lo conforman bosques y medios semi naturales con un 52.98% del territorio (4540.26 ha), la zona potencial del cultivo de café actualmente es de 0.11% (20.11 has), sin embargo para el escenario planteado en el año 2020 el área con potencial para éste cultivo incrementará considerablemente, probablemente sobre el 90% del territorio, sin embargo, bajo la categoría de regular, para ésta actividad, cumpliendo con dos parámetros de adaptabilidad, de los tres evaluados (temperatura, altitud y precipitación), para el escenario 2050, se estima que el 40% del territorio cumplirá con los tres criterios evaluados, siendo posible el cultivo de café. Se realizó una actualización de zonas de vida para municipio identificándolo en su totalidad como bosque muy húmedo montano bajo sub tropical. Según los escenarios de cambio climático durante los próximos años la precipitación anual disminuirá y la temperatura anual aumentará consistentemente hasta el 2050.

EVALUATION OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS ON COFFEE PRODUCTION SYSTEMS, SAN JUAN COMALAPA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the climate change scenarios for 2020 and 2050 on coffee production systems. The research was carried out in the municipality of San Juan Comalapa. Temperature and precipitation were evaluated to determine the possible behavior or adaptability of the coffee plantations. The research was carried out based on the local scenarios developed by the Institute for Research and Projection of Natural Environments and Society of the Rafael Landívar University in Guatemala (IARNA, by its acronym in Spanish), using the WorldClim database, a platform that provides information about climate around the globe. The results show that the predominant use of the soil in the municipality of San Juan Comalapa consists of forests and semi natural environments at 52.98% of the land (4540.26 ha). The potential area for coffee plantations is currently 0.11% (20.11 ha). However, the scenario proposed for 2020 suggests that this area will increase significantly to a probable 90% of the land, complying with two out of three adaptability standards for this activity in the regular category -temperature, altitude, and precipitation. Nevertheless, the scenario for 2050 suggests that 40% of the land will meet all three criteria, making possible the plantation of coffee. An update on the life zones of the municipality confirmed that the whole area qualifies as a subtropical very moist low montane forest. According to the climate change scenarios, precipitation will decrease over the coming years, and the yearly temperature will increase consistently through 2050.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por la sabiduría y vida

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Moises Peñate, por su asesoría.

Ing. Daunno Chevo por su valiosa colaboración.

Fundación Hanns R. Neumann por ser introducirme en el mundo del café.

DEDICATORIA

A:

Dios: Sobre todas las cosas.

Mis padres: Jonas de Jesus y Rosa Maria por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos y comprensión.

La luz de mis ojos: Maria Victoria y Elian Dionisio.

Mis hermanos: Gerson, Luis Angel, Yoel que sirva de motivación.

Ana Ruth: por tu apoyo y tu amor incondicional.

Mis amigos: Por su apoyo, compañía.

A mi familia: que de una u otra forma se han involucrado

I. INTRODUCCIÓN

La definición de cambio climático del IPCC no distingue entre las causas naturales o antropogénicas del cambio. En cambio, el Artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992) lo describe como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada” (Cifuentes, 2010).

Las predicciones sobre los impactos del cambio climático a la caficultura de Latinoamérica indican contracciones sustanciales en su producción. Los impactos socioeconómicos de tales cambios serían varias veces mayores a los presentados en la caída de precios del periodo 2000 a 2004, la cual dejó cientos de miles de productores en la pobreza, y millones sin empleo. Sin embargo, estas predicciones se realizan con base en cambios en temperatura y precipitación pero sin tomar en cuenta el efecto potencialmente positivo del aumento en dióxido de carbono (FONTAGRO, 2007).

Actualmente los productores de café de San Juan Comalapa enfrentan amenazas de múltiples orígenes, ocasionado por cambios climáticos, dentro de las cuales se puede mencionar la reducción de zonas cafetaleras debido al estrés hídrico generado por la falta de lluvia en los meses de junio-agosto, el aborto de flor por las altas y bajas temperaturas; la maduración con anticipación a la fecha de corte, la baja producción por el aumento de roya debido a las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo del hongo, así mismo el aumento de phoma, ojo de gallo y mancha de hierro, existen muchos productores que avanza en la caficultura con prácticas agrícolas de hace muchos años, no tomando en cuenta el efecto que produce el clima en la producción de este cultivo.

La planta de café, en sus diferentes etapas fenológicas (crecimiento y producción de grano) es sensible a las condiciones ambientales, principalmente a luz, temperatura, lluvia y humedad por ende, lo es también a eventos climáticos extremos y a cambios inesperados en sus patrones de lluvia. El cultivo del café en la región está acoplado al patrón de lluvias, que presenta un período lluvioso de mayo a octubre en la mayoría de las regiones de producción (CEPAL, 2014).

En el municipio de San Juan Comalapa hay producción de diferentes variedades de café por su altitud ya que oscila entre un rango de 1600-2200 msnm (SIG-MAGA, 2006), generalmente con mayor calidad en las zonas altas, se evidencia un aumento en los cambios extremos de lluvia, sequía y de alza progresiva de la temperatura.

La zona representa mucho interés para exportadoras de café, ONG's, ANACAFE, actores locales, COCODES y Municipalidad, se han gestionado proyectos para mejorar la los sistemas productivos de los caficultores, la falta de conocimiento el manejo del café asociado a los cambios en el ambiente está generando pérdidas en la producción por lo que es necesario formular estrategias para el manejo del cultivo, que permitan mejorar la caficultura del municipio de San Juan Comalapa.

Dada las circunstancias es de suma importancia desarrollar una serie de recomendaciones generales para reducir los efectos del cambio climático, para mitigar la perdida posible de la productividad en el cultivo del café, la realización de este estudio permitirá estudiar la alteraciones que se dan en relación a temperatura y precipitación siendo estas las variables claves de las condiciones climáticas que permitan identificar el comportamiento durante los escenarios climáticos a futuro.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Cambio climático

El término cambio climático se define como un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos de tiempo (IPCC 2007). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (IPCC, 2001).

Altamirano (2012), escribió que una de las causas del cambio climático es el incremento de las emisiones mundiales de los GEI siendo estos el dióxido de carbono (CO₂) como el GEI más importante, el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y los gases-F (Hidrofluorocarbonos, Perfluorocarbonos y Hexafluoruro de azufre). Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil, deforestación, degradación de biomasa y a los cambios de uso de la tierra, es probable que el aumento observado de la concentración de CH₄ se deba a la agricultura, ganadería y a la utilización de combustibles de origen fósil.

El clima de la tierra está influido por un flujo continuo de energía procedente del sol que llega principalmente en forma de luz visible y cerca del 30% se dispersa inmediatamente y vuelve al espacio pero la mayor parte del 70% restante atraviesa la atmósfera para calentar la superficie de la tierra. La tierra debe devolver esta energía al espacio en forma de radiación infrarroja por lo tanto los GEI en la atmósfera impiden que la radiación infrarroja escape directamente de la superficie al espacio lo que ocasiona el calentamiento global (UNFCCC, citado por Altamirano 2012).

De acuerdo con la FAO (2007) el cambio climático para los agricultores será más difícil de prever y más variable el suministro de agua, y la sequía y las inundaciones serán

más frecuentes, lo que tendrá graves consecuencias en la disponibilidad de agua afectando la productividad de los cultivos durante las próximas décadas.

2.2 Variabilidad climática

Heuvelink en (1986) escribió que el clima es el estado típico de la atmósfera en un lugar y periodo determinados; es la manifestación diaria de los elementos meteorológicos tales como la temperatura, humedad, viento y otros. La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (IPCC, citado por Altamirano 2012).

Entre las tendencias más destacables para el resto del siglo están la intensificación de la variabilidad climática, con cambios en la variabilidad de temperaturas diarias, estacionales, interanuales e incluso entre décadas, aumento de la amplitud y la frecuencia de las precipitaciones extremas en muchas regiones (IPCC 2002). Entre las manifestaciones esperadas del cambio climático en diferentes regiones se cuenta una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos (Huracanes, fenómeno de El Niño y La Niña) tanto por exceso de precipitaciones como eventos de sequía (CCAD 2008).

Durante el fenómeno de El Niño, los vientos alisios se debilitan y en consecuencia, lo hacen las corrientes oceánicas ecuatoriales, resultando en un desplazamiento de las masas de agua caliente y las zonas de máxima precipitación hacia el centro del Pacífico ecuatorial. De esta manera aguas anormalmente más calientes se extiendan desde el centro de la cuenca hasta la costa de Sudamérica. En la misma región del océano Pacífico tropical donde se desarrolla el fenómeno El Niño tiene lugar también la fase opuesta del fenómeno que se denomina La Niña. Ello ocurre cuando los vientos alisios soplan con mayor intensidad que lo habitual reforzando el apilamiento de aguas cálidas

en Indonesia y el surgimiento de aguas frías en la costa de Sudamérica, aumentando la diferencia de temperatura de las aguas a través de la región ecuatorial (Camillone, 2011).

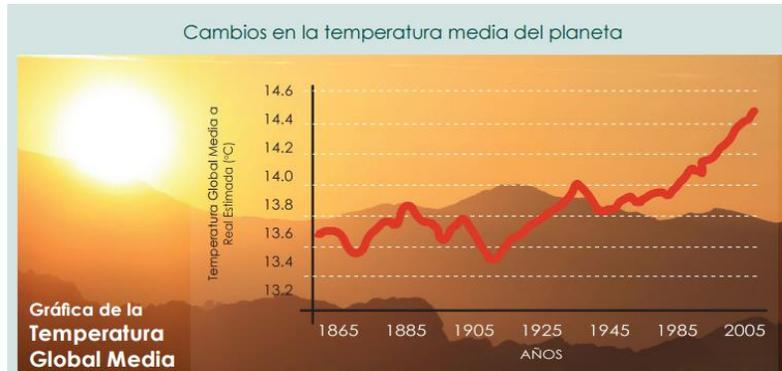


Figura 1. Cambios en la temperatura media del planeta.

Fuente: Stone (2011), adaptado por Alianza por la Resiliencia Guatemala (2014)

2.2.1 Condiciones climáticas y sus efectos en el municipio.

De acuerdo con el PDM San Juan Comalapa (2010), la altitud del municipio de san juan Comalapa oscila entre 1985-2350 metros sobre el nivel del mar y la cabecera municipal se encuentra a 2150 metros sobre el nivel del mar esto provoca que su clima sea normalmente templado, pero frío en los meses de diciembre enero y febrero marcándose principalmente dos estaciones al año de invierno y verano las temperaturas oscilan entre los 16 y 22 grados pero tienden a bajar a 2 grados centígrados en su época más fría y a subir a 27 grados en su época más cálida su precipitación promedio es de 1500 mm anuales, con una velocidad del viento de aproximadamente 27 km/h entre los meses de enero a junio de 12 km/h entre junio y diciembre.

La condiciones climáticas en la última década han cambiado las condiciones de vida de los habitantes de San Juan Comalapa esto se debe a los cambios de temperatura y efectos en las cosechas debido a sucesos extremos y a la calidad del aire entre otras variables (PDM San Juan Comalapa, 2010).

Dentro de otros aspectos a considerar que también alteran o modifican el clima, está la quema de los bosques y la deforestación que debido a la densidad demográfica en el municipio provocan que la cobertura boscosa vaya desapareciendo y modificando de gran manera, el clima no solo del municipio y sino de la región (PDM San Juan Comalapa, 2010).

2.3 El cambio climático y la agricultura

De acuerdo con Magaña (2004) citado por Brigido (2014), a diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en este como un estado cambiante de la atmosfera y dependiente de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. Las formas de variabilidad del clima son muchas y, por lo tanto resulta complicado pronosticarlo a largo plazo.

Halper y Ropelewski (1992, Jacoby (1997), Mann (1998), Mann (1992), Rodne y Freddy (2002), Caballero (2010), citados por Magaña, (2014) escribió que las sociedades humanas en general, fueron capaces de adaptarse con éxito a este tipo de variabilidad climática, que generalmente se ha dado dentro de rangos manejables y cuya manifestación ha sido de manera paulatina; siendo predecible con algún grado de certeza. Sin embargo numerosos estudios recientes apuntan que la variación del clima registra en los últimos años es particularmente extraordinaria

Según González (2003) y Magaña (2004), citados por Brigido (2014); algunas de las investigaciones que se ha venido realizando se sabe de ciertos factores que pueden producir cambios en el clima, tal es el caso del aumento de la concentración de gases de invernadero en la atmosfera, principalmente el CO₂ el cual puede estar relacionado directa o indirectamente con actividades humanas como el uso de combustibles fósiles y la deforestación etc.

De acuerdo con la IPCC (2012), las principales anomalías que se han registrado a consecuencia del cambio climático son las siguientes:

- Aumento de la temperatura media de la superficie terrestre, aunque con diferencias significativas por regiones. Se ha observado un aumento de días de calor extremo y reducción de días de frío extremo; además la información histórica confirma que la temperatura media anual actualmente es la más alta de los últimos 500 años, que la temperatura en los últimos 50 es inusual con respecto a los últimos 1300 años y que de 11 de los 12 años entre 1995 y 2006 son más cálidos desde 1859.
- Modificación de los patrones de precipitación con diferentes regionales significativas. Se han intensificado los patrones hidrológicos de modo que llueve más en regiones de alta precipitación y menos en regiones áridas, lo que aumenta la frecuencia de inundaciones y sequías.
- Aumento del nivel del mar. Durante el siglo XX el nivel del mar aumento entre 1,3 y 2,3 mm, con un promedio de 1,8 mm/año entre 1961 y 2003 y entre 2,4 y 3,8 mm, con promedio de 3,1 mm/año en el periodo 1993-2003
- Modificaciones en los tipos y patrones de intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos.

Por otra parte, dado que la agricultura es un sector estrechamente vinculado con el clima y base de los recursos naturales, especialmente de los recursos agua y suelo, es importante estimar la vulnerabilidad agrícola a los escenarios existentes de cambio climático que se espera en el transcurso del siglo XX para determinar estrategias de sus adaptación (Gay, 2000 y González, 2003, citados por Brigido, 2014).

2.4 Fenología del cultivo de café

La planta de café tiene un ciclo de fructificación anual debido a que existe una estación de lluvia y otra seca a diferencia de las partes ecuatoriales de Kenia y Colombia en donde el café tiene dos periodos de rápido crecimiento de rebrotes, floración y fructificación por presentar dos estaciones secas y dos estaciones húmedas (Altamirano, 2014).

De acuerdo con Wintgens (2009) citado por Altamirano (2014), un cafeto bien manejado puede ser productivo hasta 80 años o más, pero la vida útil económica de la plantación raramente llega a los 30 años. La plántula de café emerge entre los 45 y 50 días, después pasa al vivero y del vivero al trasplante definitivo en el campo cuando la planta tiene de cinco a seis meses de edad y esta tenga por lo menos seis pares de hojas verdaderas (IHCAFE, 2001).

El proceso de floración inicia cuando las yemas axilares se hinchan en las axilas foliares y termina cuando se da la antesis (Arcila, 2001). La antesis ocurre aproximadamente a los 10 días después de una lluvia de 10 mm (Aristizábal y Arcila, 1975). La floración del cafeto de acuerdo a Camayo y Arcila, (1999) citado por Cenicafé, (2007) es un evento asociado estrechamente a las condiciones climáticas de cada región y se considera generalmente como el momento en que se abren las flores, pero debe tenerse en cuenta que este es un proceso de desarrollo muy complejo que se inicia 4-5 meses antes de la apertura floral.

Desde el momento de la floración hasta la maduración del fruto transcurren aproximadamente 32 semanas, durante este periodo el fruto pasa a través de diferentes estados de desarrollo (Cenicafé, 2007 citado por Altamirano, 2014), a continuación se presentan los estados del desarrollo del fruto:

- Etapa 1: Primeras 7 etapas después de la floración, el crecimiento del fruto es imperceptible y tiene el aspecto de un fósforo.
- Etapa 2: Semana 8 a 17 después de la floración. El fruto crece en forma acelerada y adquiere el tamaño final. La semilla es de consistencia gelatinosa.
- Etapa 3: Semanas 18 a 25 después de la floración. La semilla completa su desarrollo, se endurece y gana peso.
- Etapa 4: Semanas 26 a 32 después de la floración. El fruto ya está fisiológicamente desarrollado y tiene lugar la maduración.

- Etapa 5: Después de la semana 32 el fruto se sobre madura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca. Hay pérdida de peso.

2.5 Valores apropiados de temperatura y precipitación para el cultivo de café

Según Gliessman (2002), citado por Altamirano (2014), el café requiere para su desarrollo cierto clima dado por la combinación de los diferentes componentes como la temperatura y precipitación. Estos componentes afectan el crecimiento del cafeto y su producción (González, 2007). Para la actividad fisiológica de los organismos vivos se pueden definir varios puntos térmicos como mínimos, óptimos y máximos (CATIE 1986).

Jaramillo y Guzmán (1984), citado por Altamirano (2014), estudiaron la relación entre la temperatura media del aire y crecimiento de *Coffea arabica* L., variedad Caturra en condiciones de campo en distintas localidades de Colombia encontrando que el crecimiento tiene una tendencia positiva entre los 16°C y los 21°C con punto óptimo de 21°C para el crecimiento de la planta de café. Fischersworing y Robkamp (2001), citado por Altamirano (2014), mencionan que la temperatura óptima oscila entre 19°C y 21°C con extremos de 17°C y 23°C.

Wintgens (2009), citado por Altamirano (2014), la temperatura óptima para el *Coffea arabica* en su medio natural es de 18°C durante la noche y 22°C durante el día, sin embargo puede tolerar temperaturas de 15°C durante la noche y 25°C-30°C durante el día. De acuerdo a Alégre (1959), las temperaturas medias anuales óptimas están en el rango comprendido entre 18°C y 21°C, Alvarado y Rojas (2007), indica que los rangos óptimos andan entre 17°C y 23°C. Jaramillo y Guzmán (1984), mencionan promedio óptimo de 21°C y Wrigley (1988), promedio de 20°C. La FAO, (2011) citado por Hagggar y Schepp (2011), menciona que la temperatura óptima mínima para *Coffea arabica* es de 14°C y la máxima de 28°C.

La precipitación es un factor climático muy importante que tienen un efecto significativo en la floración, producción y en la época de maduración del grano (Alvarado y Rojas,

2007), citado por Altamirano (2014). El cafeto tiene un amplio rango de tolerancia a la precipitación crece bien desde 800 mm en Kenia hasta 2,500 mm, en algunas regiones de Costa Rica y de otros países; se ha indicado que el óptimo está entre 1,200 y 1,800 mm con una buena distribución durante el año (Arias 1982). Las precipitaciones de 1,600 a 1,800 mm, bien distribuidas durante el año, con un periodo seco definido no mayor de dos o tres meses son óptimas para el cultivo de café (Guharay, 2000). Precipitaciones anuales entre 1,400 y 2,000 mm son favorables para el crecimiento de café arábica, precipitación anual entre 2,500 y 3,000 mm no causa daño significativo a la planta de café si el drenaje vertical es suficiente (Wintgens, 2009). Otros autores mencionan rangos de precipitación anual óptimos para el café entre estos están; rangos que van de 1,000 y 3,500 mm (Fischersworing y Robkamp, 2001), 1,200 y 1,800 mm (Alégre, 1959), 1,200 a 2,000 mm (IHCAFE, 2001).

De acuerdo con Altamirano (2014), los cambios estacionales de temperaturas y estado hídrico con el estadio de desarrollo, son los que explican los cambios fisiológicos en el café. Durante los meses secos y fríos la tasa de crecimiento de los rebrotes es más lenta y el rápido crecimiento es accionado por las lluvias induce a la apertura floral. Los frutos se desarrollan durante la estación lluviosa y maduran al comienzo de la siguiente estación seca existiendo una relación entre las estaciones y ciclos fenológicos (Cannell, 1985).

2.6 Superficie total del cultivo de café en Guatemala

Según MAGA (2013), en Guatemala se cultiva el café en 276,000 hectáreas, distribuida en 204 municipios de un total de 334 (61% de los municipios con café). El 60% de las plantaciones tiene más de 15 años, considerándose que la vida económica de una plantación se sitúa alrededor de 25 años. ANACAFE establece una regionalización administrativa para brindar los servicios de asistencia y asesoría técnica a los productores, que es diferente a la regionalización del sector público.



Figura 2. Zona de estudio de áreas productoras de café en Guatemala.

Fuente: CIAT (2012)

2.7 Producción

Poco más de 90% de la producción se exporta a diferentes destinos. En la actualidad se estima un consumo local de 400,000 quintales oro. Los datos de exportación de ANACAFE son una fuente confiable. Cada embarque es autorizado por ANACAFE con informaciones sobre el tipo de café y destino. Las estadísticas oficiales hacen referencia a “producción exportable” por la razón indicada. Para estimaciones locales se adiciona el dato de consumo local (MAGA, 2013).

2.7.1 Generalidades del cultivo de café

Existe una gran cantidad de información acerca del cultivo del café, y dado que no es el motivo de esta investigación escribir acerca de las características de éste cultivo, solo se abordan en el presente los factores que se relacionan directamente con las variables que serán consideradas durante el desarrollo de la misma; esta información fue tomada de Gomez (2010), citado por Brigido (2014).

2.7.2 Factores ecológicos que influyen en el desarrollo del café

- **Temperatura.** La temperatura es el componente más relacionado con el crecimiento de la planta, pues bajas temperaturas propician un desarrollo lento y una maduración de frutos tardía; por otra parte, las temperaturas altas aceleran la senescencia de los frutos, disminuyen la fotosíntesis, y reducen el crecimiento y producción.

Asimismo se ha observado que la temperatura puede afectar la longevidad de la planta, su productividad y rendimiento; en general, cultivo de café necesita temperaturas mínima de 20 °C y máxima de 25 °C para lograr su desarrollo y productividad; aunque los cafetos de la especie *Coffea arabica* crecen y se desarrollan mejor bajo temperaturas que fluctúan entre los 20 y 27 °C.

- **Precipitación.** El rango de lluvia para el cultivo de café es de 1 200 a 1 800 mm, para lograr una buena floración se necesitan un promedio de 20 mm bien distribuidas durante el año. El período seco se requiere para estimular el crecimiento de las raíces, desarrollo de ramas laterales, hojas y la formación de capullos florales. Aunque el café muestra cierta tolerancia a la sequía, un período seco prolongado disminuye la cosecha del año siguiente y puede ocasionar deficiencias nutricionales por una menor difusión de elementos en el suelo.

La lluvia excesiva inhibe la diferenciación de las yemas florales; también puede ocasionar deficiencias de nitrógeno por dilución del elemento y reducción del crecimiento de la planta.

- **Altitud.** El cafeto se adapta desde los 500 a 1 500 msnm el mejor desarrollo y calidad del café se consigue a altitudes entre los 900 a 1 300 metros de altura sobre el nivel del mar. La altitud es un factor determinante de la calidad del café, el grano producido en altura es de mayor tamaño y rendimiento, mejor calidad, más cuerpo, aroma y acidez que el de áreas bajas. Además la altitud incide en forma directa sobre la temperatura, de manera indirecta en la lluvia, e inversa con la iluminación.
- **Luminosidad.** Cuando la intensidad lumínica es alta se da el cierre de estomas en las hojas del cafeto, para protegerse de una transpiración excesiva, esto trae como consecuencia una disminución en el proceso de fabricación de alimentos de la planta y por ende una baja en producción. Por otra parte cuando es baja y prolongada favorece la incidencia de plagas, da problemas de maduración del grano y, por ende, de recolección; el cafeto se considera una planta de día corto por lo que necesita de ocho a 13 horas de iluminación para florecer.
- **Vientos.** El rango óptimo de velocidad del viento, para el café es de 5 a 15 Km/h; valores más altos provocan alta defoliación y caída de flores y frutos. Asimismo los vientos fuertes tienen una acción desecadora, provocando la intensificación de la transpiración; misma que causa una deshidratación en las hojas de la planta.
- **Suelos.** La condición óptima de suelo para el cultivo de café es con textura franca; pero se adapta a suelos desde Franco Arcillosos hasta Franco Arenoso, con pendiente suave del cinco a 12 %.
- **Propiedades físicas:** el suelo ideal para el cultivo de café es uno con 50 cm de profundidad, 50 % de porosidad, 45 % de sustancia mineral y 5 % de materia orgánica.
- **Propiedades químicas:** Para el buen crecimiento del cafeto es necesaria la disponibilidad de nutrientes; Que haya sistemas de amortiguamiento que regulan la concentración de los nutrientes como materia orgánica viva o muerta. La

descomposición de ciertos compuestos orgánicos, mantienen un nivel adecuado de aniones. La pérdida de materia orgánica, la acidificación, el aumento de la solución de hierro y aluminio, y la presencia de arcilla de baja actividad, en los suelos tropicales, reducen la fertilidad de los mismos.

- **Propiedades biológicas:** En el suelo viven un gran número de organismos grandes y pequeños, que participan activamente en los procesos de transformación de materia orgánica y la transferencia de energía; razón por la cual son muy importantes para el buen desarrollo de la planta.

2.7.3 Enfermedades

El cafetal puede desarrollar diversas enfermedades, cuya reproducción depende de las condiciones climáticas y del sistema de producción, incluyendo las medidas para facilitar la resiliencia de la planta. El cultivo al sol con sombra balanceada intensifica el ataque de la enfermedad *chasparria* (*Cercospora coffeicola*) (Mora, 2008) o *mancha de hierro u ocular*, provocada por un hongo que afecta las hojas y los frutos verdes y maduros del cafeto y llega a defoliar completamente la planta (d'Areny, 2004). El exceso de sombra aumenta la humedad relativa (niveles superiores a 85%), lo que favorece la aparición de enfermedades *fungosas* (Mora, 2008).

Una de estas enfermedades es el mal del talluelo, cuyo agente es un habitante común del suelo; su síntoma principal es la formación de una lesión acuosa de color pardo o negro en la base del tallo que provoca el marchitamiento de la planta (CICAFE, 2011).

Los ambientes húmedos también favorecen la enfermedad llaga macana, principalmente en zonas altas y cafetales viejos bajo condiciones lluviosas y temperaturas cálidas o frías. Los síntomas son lesiones irregulares endurecidas de color pardo o negro en el tallo. Sus consecuencias son el marchitamiento y secamiento de la planta que culminan con su muerte. El hongo que produce esta enfermedad sobrevive en el suelo por mucho tiempo (CICAFE, 2011).

Otra enfermedad es la broca del café, insecto de color negro que se alimenta y reproduce dentro de los granos de café. Sus consecuencias son la caída de los frutos,

la caída de los rendimientos y el aumento de los costos (d'Areny, 2004). El mal de hollín o mancha de humo es producida por hongos transportados por hormigas, los cuales engendran una capa en la superficie de las ramas, frutos y hojas del cafeto, lo que impide la transpiración adecuada y produce la caída de hojas y frutos (d'Areny, 2004). El requemo es un hongo que ataca a los brotes tiernos y prospera en zonas mayores de 800 metros de altura. Al morir los brotes, el crecimiento de las plantas se reduce. La Clorosis del follaje se da en suelos pedregosos y arcillosos y en cafetales con poca o nula sombra y se atribuye a una fertilización inadecuada por la falta de nutrientes como Nitrógeno, Potasio, Hierro, Magnesio, Boro, entre otros (d'Areny, 2004).

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) es un hongo que normalmente se reproduce bajo temperaturas cálidas y lluvias constantes o ambientes húmedos en alturas medias y bajas. Los síntomas son manchas amarillentas en la parte superior de la hoja, donde se reproducen las esporas. Cuando la enfermedad es muy fuerte ocasiona la caída de las hojas de la planta, la maduración irregular de la cosecha y la reducción de la producción. (CICAFE, 2011). La reducción de la producción de granos a menudo es mayor en el siguiente ciclo ya que las plantas que fueron menos afectadas hacen un mayor esfuerzo para reponer su follaje en vez de producir granos y las plantas más afectadas tendrán que ser podadas o reemplazadas (López, 2013). Los rangos de temperatura donde la roya del café germina van de 16 °C a 26 °C, con un rango óptimo entre 20 °C y 25 °C, dependiendo de la raza. Otras condiciones que facilitan la germinación son las condiciones de oscuridad, período de mojado mínimo de 6 horas, variaciones bruscas del ambiente, edad de la planta, fertilización deficiente y alta carga fructífera (MAGA, 2013).

El costo económico para la región se calculó en 500 millones de dólares, de los cuales 46% corresponde a Honduras, 20% a Guatemala, 15% a El Salvador, 12% a Nicaragua y 7% a Costa Rica, la República Dominicana y Jamaica conjuntamente, Honduras fue el país más afectado en términos económicos y en volumen de producción, pero fue de los menos afectados en hectáreas sembradas, las pérdidas afectaron a dos millones de centroamericanos que, según la OIC, se ganaban la vida con el café, incluyendo a jornaleros y productores, la organización informó que esta enfermedad provocará la

pérdida de unos 374,000 empleos en Centroamérica, la República Dominicana y Jamaica por disminución de la demanda laboral para la cosecha según la OIC, (2013) citado por CEPAL (2014).

2.7.4 La sostenibilidad

La sostenibilidad es la capacidad de cosechar a perpetuidad cierta biomasa de un sistema, que tiene la condición de renovarse por sí mismo o que su renovación no está en riesgo. Gliessman (2002) citado por Montenegro (2005), sugiere que la agricultura sustentable proporciona rendimiento sostenido a largo plazo, haciendo uso al menos de los recursos dentro del agroecosistema, reemplazando los insumos externos con un mejor ciclo de nutrientes, con la finalidad de reducir costo y aumentar la eficiencia y la viabilidad económica de los productores.

De acuerdo Altieri y Nicholls (2002), citado por Montenegro (2005), en un estudio de caso en Costa Rica encontraron que el cafetal orgánico con sombra tiene mejores indicadores de calidad de suelo y salud del cultivo por encima del umbral de la sostenibilidad establecido con valor de 5, en relación al café convencional sin sombra, siendo los valores encontrados en café orgánico 9,5 y 7,5 y los encontrados en café convencional 5,8 y 4,2 para calidad de suelo y salud del cultivo respectivamente.

- **Sistemas agroforestales** Los sistemas agroforestales (SAF) son la interacción bioeconómica en una misma área de un componente leñoso y perenne con cultivo y/o animales asociados en forma simultánea o secuencial que incorporan cuatro características importantes: estructura, sostenibilidad, productividad, y adaptabilidad cultural y socioeconómica (Somarriba, 1998; Farell y Altieri, 1999 citados por Montenegro, 2005). Los SAF pueden verse como una alternativa para el uso y manejo de los recursos naturales en regiones tropicales y sub tropicales. Estos pueden ser utilizados en diferentes escalas geográficas y ecosistemas frágiles como estables, a nivel de subsistencia o comerciales, cumpliendo diferentes funciones de importancia en los sistemas como: diversificar la agricultura, aumentar el nivel de MO en el suelo, fijar nitrógeno

atmosférico, reciclar nutriente, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema, en función del rendimiento sostenido (Gliessman, 2002).

Benzing, (2001) citado por Montenegro (2005), manifiesta que los sistemas agroforestales bien diseñados pueden ayudar a que lo ecológicamente necesario se vuelva a su vez económicamente atractivo para los agricultores. La productividad sostenible de los sistemas agroforestales se debe al uso de energía y a la característica de los árboles (Gliessman 2002). Estos tienen la capacidad de alterar drásticamente las condiciones del ecosistema del cual forma parte (Rifsnnyder y Darnhofer, 1989, Farrell 1990). En esta dirección, uno de los factores importantes atribuido a los árboles de sombra es mejorar la calidad del café (Salazar, 2000), mejorar la viabilidad económica, la sostenibilidad y la biodiversidad en la producción cafetalera (Vaast, 1999) el mejoramiento de los sistemas (Fischersworring y Robkamp, 2001) aumentar la vida útil de los cafetales y fomentar el desarrollo de ramas primarias y secundarias del café.

- Características de especies arbóreas aptas para el sombrío, para la selección y priorización de atributos claves de compatibilidad de especies arbóreas con café, se identifican aquellas especies maderables, frutales y de servicio que mejor se adapten a los objetivos del productor, los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales existentes en una región (Linkimer, 2002).

2.7.5 Establecimiento de sistemas agroforestales con café

De acuerdo con Farfan, (2012), un sistema agroforestal cafetero es un conjunto de prácticas de manejo del cultivo donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo y el agua, el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras.

CATIE (1986), son formas de uso y manejo de los recursos naturales, en los cuales especies leñosas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales, en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal.

Son una serie de sistemas y tecnologías de uso del suelo, en las que combinan o interactúan arboles con cultivos agrícolas (anuales o perennes), en función del tiempo y del espacio, para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida (Fassbender, 1987), (Torquebiaeu, 1993), citados por CENICAFE (2013).

- Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación de los sistemas agroforestales es necesaria con el fin de proveer un marco conceptual para evaluarlos y desarrollar planes de acción para su mejoramiento, dada la diversidad de los sistemas agroforestales, las clasificaciones pueden ser complejas o simples, Nair (1985), Fassbender, (1987), citados por CENICAFE (2013).

- Clasificación según el arreglo

De acuerdo con CENICAFE (2013), el arreglo se refiere al orden de los componentes en el espacio y en el tiempo el arreglo espacial tiene que ver como la ubicación física de los componentes en el lote y el arreglo secuencia, describe si los componentes están al mismo tiempo en la parcela siguen uno a otros o se superponen parcialmente en el tiempo, los siguientes tipos de arreglos son:

- Mixto: De acuerdo con FCN, (1997), citados por CENICAFE (2013), la caficultura tradicional donde no hay arreglo espacial ni del sombrío ni del café, es decir los componentes fueron establecidos de forma deliberada en los lotes.
- Zonal: En estos sistemas se establece la sombra de una forma sistemática, con arreglos espaciales definidos buscando un nivel de sombra óptimo para el café las especies arbóreas comúnmente empleadas como sombrío son de los

géneros inga, Albizzia y Erythina, FCN (1958), Rice (1997), citados por CENICAFE (2013).

Según CENICAFE (2013), la disposición o estratificación de los componentes, pueden ser simple o en varios estratos (multiestratos):

- Estratos simples: hay solo una capa de árboles por ejemplo, café con sombrío solo de guamo, carbonero o cambulo, entre otros.
- Multiestratos: en la disposición estratificada hay varias capas de árboles en el caso del café el sombrío puede ser con diversas especies simultáneamente
- Densa: los componentes tan juntos estrechamente en la parcela
- Dispersa: los componentes están lejos unos de otros
- Simultanea: los componentes están presentes al mismo tiempo en la parcela
- Secuencial: los componentes no están presentes simultáneamente en la parcela, uno va detrás del otro.

2.7.6 Uso de coberturas nobles

De acuerdo con Rivera (2004), el manejo integrado es el resultado de la combinación conveniente y oportuna de los diferentes métodos de manejo de las mismas (prácticas de cultivo, manual, mecánico, químico y biológico), para aprovechar la ventajas de cada uno, lo que permite seleccionar "coberturas nobles" que protegen el suelo de la erosión, sin competencia económica significativa para el cultivo, si se hace un manejo técnico de ellas y no se permite su crecimiento en la zona de raíces, también, buscando el impacto menor para el ambiente, para el hombre y los seres vivos, el agricultor puede establecer cultivos intercalados entre las calles de las plantaciones perennes en los primeros años, de ser posible técnica y económicamente; de lo contrario debe propiciar el cubrimiento de las calles con coberturas "nobles", mediante el manejo integrado.

Es muy importante establecer también coberturas como el maní forrajero (*Arachis pintoi*), esta cobertura protege el suelo de la erosión, suministran nitrógeno al cultivo, facilitan las labores agrícolas, favorecen en ocasiones los insectos benéficos al igual

puede producir mulch para cubrir el suelo y proteger la humedad y el suelo de la erosión. Estas coberturas pueden establecerse en plantaciones perennes de porte alto (Rivera, 2004).

2.7.7 Las resistencias Genéticas

De acuerdo con PROCAFE (2010), la especie Arábica es autógama, es decir puede auto polinizarse fácilmente (91- 96%), mientras la especie Canephora tiene una condición genética definida como alogamia estricta, es decir, necesita de otro u otros cafetos cercanos para polinizarse. La selección de ésta variedad porta-injerto se desarrolló por medio del cruce de dos plantas de *Coffea canephora* (Robusta).

Ventajas del cafeto injertado

- Resiste ataques de nematodos y otras plagas del suelo.
- Permite mejorar su anclaje, debido al abundante sistema radicular.
- Incrementa la producción en 20-25%, debido a su vigorosidad.
- Absorbe mucho mejor los nutrientes del suelo.
- Tolera condiciones limitantes de suelo y agua, reduciendo el estrés hídrico.
- Conserva las características fenotípicas y genotípicas (productividad, tamaño del fruto y calidad de bebida) de la variedad comercial injertada.
- Regenera el sistema radicular rápidamente y es más longevo.

2.8 Holdridge

Sistema de clasificación propuesto por Leslie Holdridge en 1967; éste representa el espacio climático como un triángulo definido por la precipitación anual, biotemperatura anual (promedio de temperatura a la que es posible el crecimiento vegetativo), y la proporción de la evapotranspiración potencial relacionada con la precipitación anual (Figura 1). Esto le otorga a su clasificación una gran simplicidad y facilita su uso y aplicación. Sin embargo reconoce que la clasificación de zonas de vida resultante, constituye solamente la más amplia y primera y de las divisiones ambientales URL-IARNA, 2014 citados por Franco, 2015.

Ésta clasificación bioclimática es de gran utilidad para desarrollar estudios y comparaciones a escalas regionales y nacionales, aunque también permite generar divisiones a partir de factores ambientales de segundo orden como suelos, drenaje, topografía, vientos fuertes, nieblas y los varios patrones de la distribución de la precipitación (URL-IARNA, 2014).

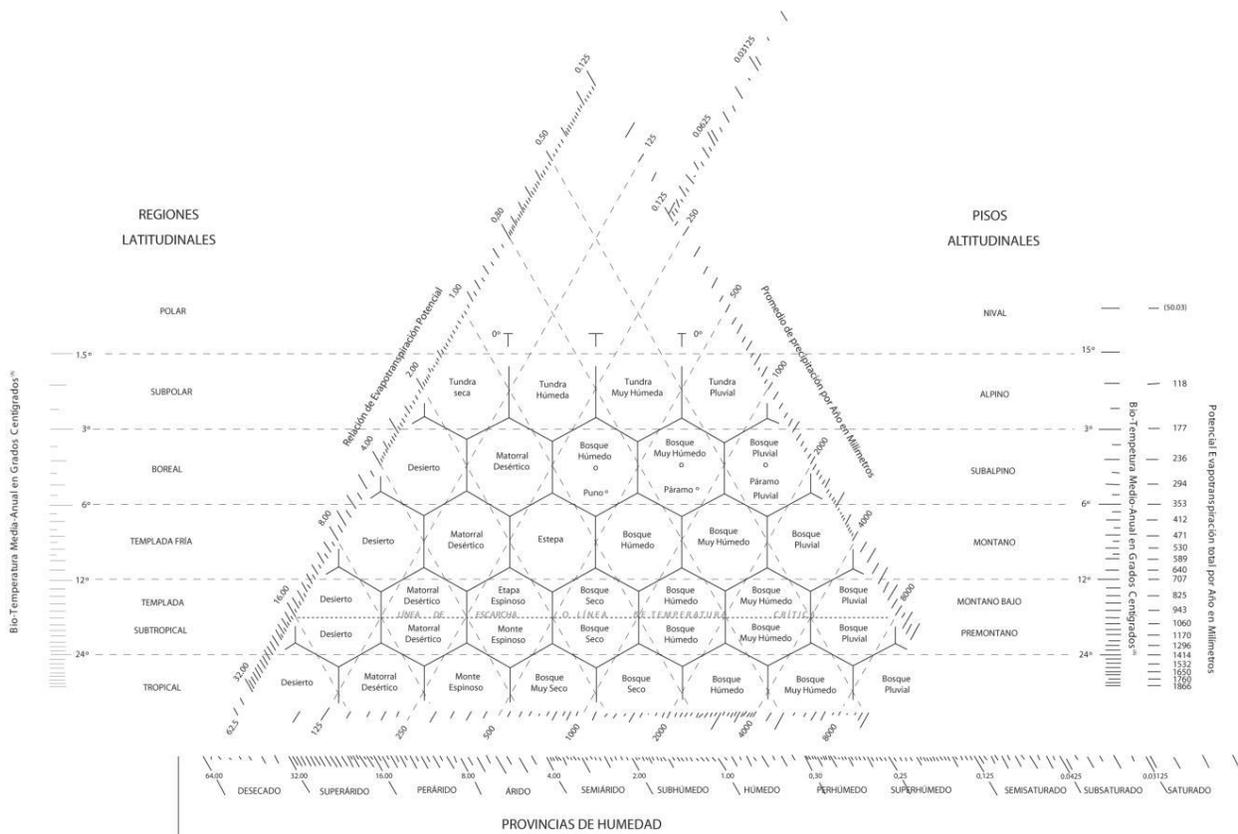


Figura 3. Diagrama para la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo

Fuente: (Holdridge, 1978) adaptado por (Franco, 2015).

2.9 Componente Bosque

Según la FAO (2006), los bosques proporcionan medios de subsistencia a más de mil millones de personas que viven en condiciones de pobreza extrema en todo el mundo y aportan empleo remunerado a más de cien millones. Son el hogar de más del 80 por ciento de la biodiversidad terrestre del planeta y ayudan a proteger cuencas

hidrográficas fundamentales para suministrar agua limpia a gran parte de la humanidad. Sin embargo, el cambio climático plantea desafíos enormes para los bosques y para las personas. Mitigación y adaptación son las dos respuestas básicas ante el cambio climático. La mitigación trata de afrontar sus causas, mientras que la adaptación trata de reducir sus impactos.

El cambio climático podría alterar el crecimiento de los árboles, la frecuencia e intensidad de los incendios y la incidencia de las plagas forestales y también podría aumentar los daños causados a los bosques por condiciones climáticas extremas, tales como sequías, inundaciones y tormentas. Los enfoques adaptativos de la gestión forestal sostenible contribuirán a reducir la vulnerabilidad de los bosques, manteniendo la productividad de las zonas forestales y fomentando la capacidad de adaptación de las comunidades que dependen de ellas. También se pueden adoptar prácticas de gestión específicas para ayudar a mitigar los efectos del cambio climático. Las implicaciones que estos cambios en las prácticas de gestión forestal pueden tener sobre el conjunto de valores de los bosques deben sopesarse conjuntamente con los posibles beneficios (FAO, 2006).

2.10 Base de datos climatológica mundial WorldClim

WorldClim es una plataforma de capas climáticas globales con una resolución espacial de aproximadamente 1 km². Los datos que presenta esta plataforma pueden ser utilizados para mapeo y modelaje espacial en diversos sistemas de información geográfica (SIG) o en otros softwares compatibles. Este programa es una base de datos mundial en formato geográfico desarrollado por un equipo de investigadores del *Museum of Vertebrate Zoology* de la Universidad de Berkeley, California y del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) de Cali, Colombia (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005 citados por Franco (2015)).

Para el desarrollo de esta plataforma se recopilaron datos aproximados de clima registrados mensualmente en estaciones climáticas locales, nacionales, regionales y globales, correspondiendo al período 1950 – 2000. Los datos fueron interpolados utilizando

algoritmos para crear superficies climáticas globales con datos de precipitación y temperatura máximas, mínimas y medias tomando en cuenta la altitud de un modelo de elevación digital elaborado por la Agencia de Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA) (Hijmans, *et. al.*, 2005).

2.11 La importancia de analizar el cambio climático con base en las zonas de vida

Con el propósito de conocer las posibles consecuencias de este fenómeno planetario a nivel nacional, el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y Universidad Rafael Landívar (URL), ha elaborado una serie de análisis tendientes a proyectar los posibles impactos del cambio climático, especialmente sobre nuestra diversidad biológica. Sobre la base de que la variación en las condiciones climáticas se manifestará en cambios de temperatura y precipitación pluvial, se tomó como plataforma de análisis el sistema de zonificación climática, diseñado por el botánico estadounidense Leslie Holdridge. Este sistema se basa en la hipótesis de que tanto los suelos como la vegetación clímax de una región pueden ser agrupados en unidades más o menos homogéneas, una vez establecidos los rangos de variación de determinadas variables climáticas (IARNA-URL, 2012).

De la manera más simple, la zona de vida se define como la integración de un conjunto de asociaciones, que a la vez son las unidades naturales donde la vegetación, la actividad animal, el clima, las formas de la tierra y el suelo están interrelacionados en una combinación reconocida y única, que tiene aspecto o fisonomía típica (Holdridge, 1979).

2.12 Necesidad de acciones para prevenir el futuro

En la región centroamericana, entre las manifestaciones del cambio climático, están la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos. Guatemala ha sufrido en los últimos años los impactos del exceso de precipitaciones pluviales y episodios de sequía. Estos eventos han dado como resultados: la pérdida de ecosistemas, la

reducción de la calidad y disponibilidad de recursos hídricos, a la par de enfermedades respiratorias e intestinales. Particularmente, la población de las áreas rurales ha padecido los efectos de catástrofes naturales y la pérdida de cosechas y viviendas, lo cual ha atentado contra sus derechos humanos (COPREDEH, 2007).

Este estudio de caso tiene como objetivo responder a la inquietud generalizada sobre ¿cuáles van a ser los impactos del cambio climático sobre los sistemas naturales en Guatemala? Se espera que los hallazgos de este ejercicio puedan llegar a convertirse en elementos esenciales de las estrategias de monitoreo que se implementen en el país, para brindar un adecuado seguimiento a los impactos del cambio climático (IARNA-URL, 2012)

2.13 La importancia de los datos climáticos y altitud en el café.

La temperatura y la precipitación son elementos climáticos a los que es sensible el café estos parámetros están relacionados con la altitud para determinar adaptabilidad y productividad del cultivo. El cambio climático impactara sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento del café, relacionadas principalmente a modificaciones en el patrón y el incremento de la sequía que se presenta durante la estación lluviosa, utilizando datos climáticos temperatura, precipitación (T° y PPT) relacionando la altitud y sin tomar en cuenta datos edafológicos o de requerimientos del cultivo permite modelar escenarios de cambio climático para sistemas productivos de café.

En la producción de café, la altura sobre el nivel del mar es una condición relevante, temperatura y precipitación son datos necesarios para la elaboración de escenarios, para que estos resultados sean datos lógicos se considerando la literatura sobre efectos potenciales (climaticos) del cambio climático.

III. JUSTIFICACION

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION DEL TRABAJO

Uno de los cultivos más sensibles a las variaciones climáticas tanto en sus ciclos reproductivos como vegetativos es el cafeto, principalmente en lo que respecta a cambios en la humedad del suelo y de la atmósfera circundante a la plantación (Fournier y DiStefano, 2004), investigaciones como la de Schroth (2009), establecen que la distribución potencial del café en la Sierra Madre de Chiapas, México podría sufrir una disminución cercana al 50 % por efecto del cambio climático para el año 2050, afectando principalmente las zonas que se ubican en el límite inferior altitudinal debido al incremento en la temperatura ambiental. Los investigadores concluyen que es necesario buscar nuevas variedades de cafeto que sean resistentes a mayores temperaturas y condiciones de baja humedad en el suelo.

El mapa climático del país fue generado hace más de 40 años, su caracterización no corresponde con las variables climáticas actuales, y algoritmos de interpolación y extrapolación más avanzados utilizados por entes internacionales y tampoco con los mapas climáticos elaborados en otros países. Esto puede demostrarse con los mapas de regiones de precipitación y provincias de humedad presentados por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) basados en la plataforma digital *WorldClim* que identifican 7 regiones y 9 provincias, respectivamente en todo el país (IARNA, 2014 (sin publicar).

Actualmente no se establecen planes de manejo de finca para la conservación de sistemas productivos de café ante el cambio climático, por lo que representa una falta de oportunidad para los caficultores de la región no contar con un material de apoyo para adoptar las prácticas necesarias correspondientes, al establecer la evaluación de los escenarios de cambio climático se contribuye al análisis de componentes, precipitación y temperatura principalmente permitiendo evaluar la nuevas zonas cafetaleras y los cambios climáticos a futuro.

Guatemala destaca a nivel mundial, tanto por su singularidad biológica, como por su significativa vulnerabilidad ambiental y social ante el cambio climático (ONU, 2009). Con el propósito de conocer las posibles consecuencias de este fenómeno planetario a nivel nacional, el IARNA-URL ha elaborado una serie de análisis tendientes a proyectar los posibles impactos del cambio climático, (Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012, Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo).

El café presenta límites de adaptación a las diferentes condiciones climáticas; para el desarrollo del cultivo es necesario que los sistemas productivos establecidos se encuentren en rangos de temperatura y precipitación adecuados. De acuerdo con la FAO (2007) el cambio climático para los agricultores será más difícil de prever y más variable el suministro de agua, y la sequía y las inundaciones serán más frecuentes, lo que tendrá graves consecuencias en la disponibilidad de agua afectando la productividad de los cultivos durante las próximas décadas.

Para los productores de San Juan Comalapa antiguamente el café no era un cultivo de modalidad extensiva debido a las condiciones climáticas que no favorecían su producción, actualmente han adoptado el cultivo de forma económica y pasa a ser un sistema de explotación intensiva, los caficultores han encontrado condiciones climáticas aceptables para su establecimiento. La falta de conocimientos y manejo en los sistemas productivos, ocasionan el aumento de plagas y enfermedades en el café, originando un coste económico elevado para la producción y muchos casos la reducción de zonas cafetaleras debido al cambio climático.

Plantear los posibles escenarios de cambio climático para el municipio de San Juan Comalapa, anticipando su desarrollo y establecer estrategias de adaptación para sus posibles condiciones climáticas futuras. Para mantener, recuperar y conservar la caficultura de la zona antes mencionada. Asimismo formar parte de la planificación a futuro para implementar proyectos preventivos y productivos, a partir de la información derivada buscando posibles opciones de diversificación para el asocio con el cultivo de café.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los escenarios de cambio climático proyectados por IARNA (MARN, IARNA-URL y PNUMA, 2009), que permita generar estrategias y técnicas para la adaptación a futuro de los sistemas productivos de café en el municipio de San Juan Comalapa, Chimaltenango.

4.2 ESPECÍFICOS

1. Elaborar mapas detallados de temperatura y precipitación a futuro del municipio de San Juan Comalapa
2. Delimitar la distribución actual y potencial de las fincas cafetaleras y las cualidades climáticas en la zona de estudio.
3. Elaborar una propuesta de adaptación con lineamientos y directrices de manejo, para los sistemas productivos de café en base a los escenarios de cambio climático proyectados por IARNA (MARN, IARNA-URL y PNUMA, 2009).

V. METODOLOGÍA

5.1 Localización y descripción del área de estudio

De acuerdo con Yool (2007), San Juan Comalapa, pertenece al departamento de Chimaltenango y dista a 84 kilómetros de la Ciudad Capital de Guatemala, y a 28 de la cabecera departamental de Chimaltenango.¹ Su extensión territorial de 76 km², caracterizados por terrenos quebrados; pocos valles; escasas hondonadas planas y abundantes barrancos. Colinda al norte con San José Poaquil y San Martín Jilotepeque; al este con San Martín Jilotepeque; al sur con Zaragoza, Santa Cruz Balanyá Chimaltenango; al oeste con Tecpán Guatemala, Santa Apolonia, San José Poaquil y Santa Cruz Balanyá. Línea divisoria entre cada municipio Norte aldea Patzäj y San José Poaquil, al Este aldea Varituc del municipio de San Martín Jilotepeque, al Sur río de Pixcayá y Zaragoza, al Oeste aldea Panabajal Comalapa y Panabajal Tecpán Guatemala.



Figura 4. Mapa San Juan Comalapa Colindancias y aldeas

Fuente: (Mux, 2012).

5.2 Delimitación del área de estudio

Para la realización de esta actividad se utilizaron, el programa ArcGis 9.3, la base de datos SIG-MAGA 2006 y polígono del municipio de San Juan Comalapa generado en el Instituto Geográfico Nacional, se comparó los polígonos diferentes del municipio de San Juan Comalapa de ambas bases de datos, tomando el mapa generado por el SIG-MAGA 2006, para la elaboración del estudio

5.3 Digitalización del uso de la tierra, café y otros usos

Para la realización de esta actividad se utilizaron las ortofotos generadas para el país para el año 2006 y el programa ArcGis 9.3, elaborando un shape por medio de ArcCatalog. Habiendo digitalizado y determinado las áreas del uso actual de la tierra, se procedió a la ratificación de dichos usos en campo, para lo cual se realizaron visitas en puntos representativos de cada tipo de uso de la tierra priorizando las áreas aledañas a los sistemas productivos de café. Para esta actividad se utilizó el mapa de uso actual de la tierra, hojas cartográficas y un GPS.

5.4 Análisis del componente Bosque

Habiendo determinado la zona boscosa y las causas principales del avance de frontera agrícola, permitirá presentar un análisis sobre la situación actual del componente bosque dentro del municipio de San Juan Comalapa.

Para la realización de esta actividad se utilizaron las ortofotos generadas para el país para el año 2006 y el programa ArcGis 9.3.

5.5 Análisis del componente zonas de vida

Se utilizó la base de datos elaborado por URL-IARNA 2014 para la elaboración de este mapa, en función de los datos generados por Worldclim para Guatemala, con el cual

elaboró el mapa de zonas de vida con el 2000 como año de referencia. Para este procedimiento se utilizaron sistemas de información geográfica Arcgis 9.3 como plataforma de integración.

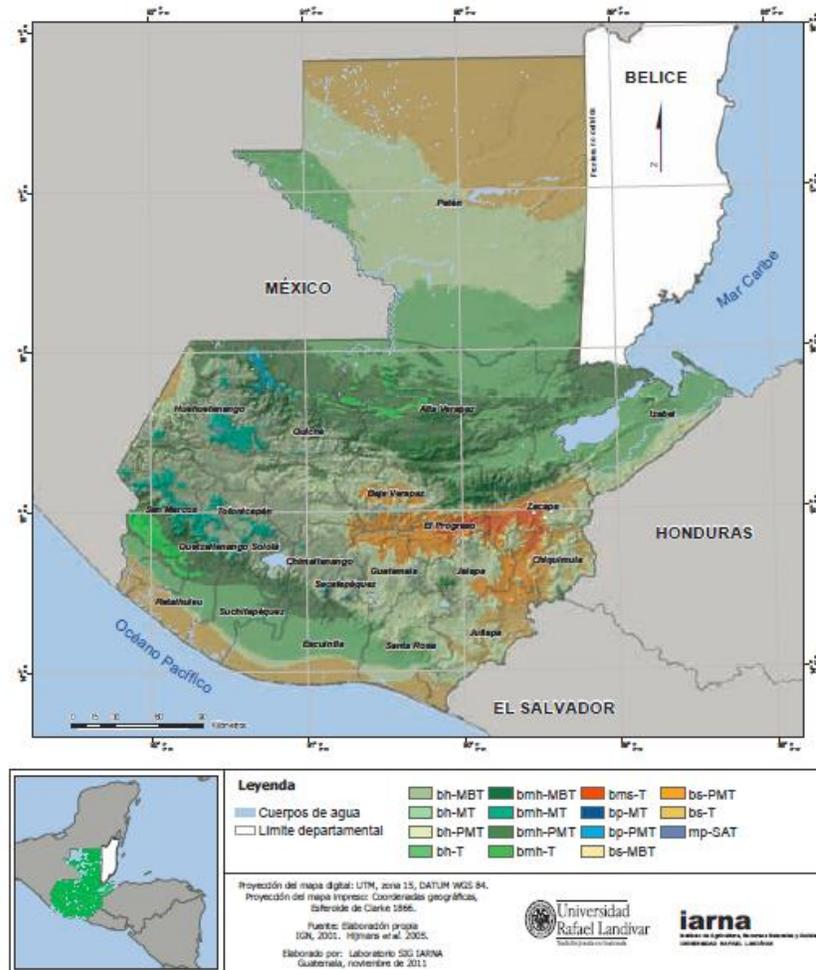


Figura 5. Mapa de zonas de vida de Guatemala. Año 2000

Fuente: (IARNA-URL, 2011).

5.6 Elaboración mapas de precipitación y temperatura

Para la elaboración del estudio se consultó la base de datos de INSIVUMEH, en la cual se encuentran los siguientes mapas: precipitación total anual correspondiente al período 1970-2013 cuya resolución es de 1.5 km en coordenadas GTM (WGS_84); y temperatura media

anual correspondiente al período 1970-2011 cuya resolución es de 90 m en coordenadas geográficas (WGS_84) (Franco, 2015).

ppt = 1970-2013

T°X = 1970-2011

Se obtuvo el mapa de la situación actual, y 2 diferentes escenarios de cambio climático. Además se obtuvieron los mapas de precipitación total anual y temperatura media anual de la base climatológica mundial de *WorldClim*, correspondientes al período 1950-2000, cuya resolución espacial es de 1km² por pixel, aproximadamente, para ambos mapas (Franco, 2015).

ppt = 1950-2000

T°X = 1950-2000

Para obtener dichos mapas se realizaron por medio de operaciones con el módulo de Spatial Analyst de ArcGis, Interpolación.

Para la determinación de dicho estudio se analizaron las variables temperatura, precipitación y altitud con base a estos parámetros, los cambios climáticos ocurridos actualmente respecto a temperatura y precipitación y en base a la plataforma por la climatológica mundial de *WorldClim* nos permiten modelar escenarios para el análisis en el cultivo de café, ya que el cultivo es sensible a altas y bajas de estas variables, que relacionado a la altitud permite determinar la adaptabilidad de los sistemas productivos de café en años posteriores.

5.7 Definición de unidades por variable climática

Utilizando los mapas generados por la base climatológica mundial de *WorldClim* con datos correspondientes a los años de 1950 a 2000, se delimitó la distribución geográfica de las variables climáticas temperatura y precipitación. Para obtener una mejor intersección de las variables, se utilizó la interpolación por *Spline* para aumentar la resolución de cada pixel en los mapas de 1 kilómetro a 100 metros utilizando Spatial Analyst de ArcGis raster to point,

de esta manera se minimizó la curvatura general de cada pixel y se obtuvo una superficie suavizada de cada mapa.

5.8 Evaluación de Humedad

Se adoptó la metodología de Franco (2015), para evaluar la distribución geográfica de la humedad en el municipio de Comalapa se utilizara el mapa de temperatura, generado anteriormente a partir de los valores registrados por la base de datos de *WorldClim*, utilizando *Model Builder* y la herramienta de Álgebra de Mapas de ArcGIS, se empleara la fórmula propuesta por Holdridge (1978) ($ETP = T^{\circ} * 58.93$), multiplicando los valores de temperatura media mensual por el factor de 58.93 para obtener el mapa de evapotranspiración potencial.

5.9 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información y realización de mapas se cuenta con inspección geográfica (ARG GIS 9.3), compaginando datos generados en campo, instituciones gubernamentales y no gubernamentales. Se reunió la información de cada uno de los componentes que permitieron organizar y sistematizar de forma integral e incluyente programas de cooperación.

Se establecieron cortes de datos originada en tipo vector, que se convertirá a formato raster con ello se crearon cruces de datos que permita a través escenarios ya establecidos a nivel nacional proyectar los diferentes escenarios futuros, esto posibilito determinar los mapas de proyección climática para el municipio de San Juan Comalapa, escenarios 2020-2050.

Se generaron a través de los valores de cada factor que cuente con la información de las variables ambientales adecuadas para la actividad productiva del cultivo de café por medio de los indicadores altitud, temperatura y precipitación, con ello establecer acciones que permitan reducir los efectos climáticos para orientar a documentar la ejecución de actividades a futuro para la adaptación del cambio climático en los 2 diferentes escenarios 2020 y 2050.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Delimitación del área de estudio

Para la realización de esta actividad se utilizaron, el programa ArcGis 9.3, la base de datos SIG-MAGA 2006 y se utilizó como base el polígono oficial generado por Instituto Geográfico Nacional, se comparó los polígonos diferentes del municipio de San Juan Comalapa de ambas bases de datos, con el conocimiento del área de estudio se determinó el uso del mapa generado por el SIG-MAGA 2006 para la elaboración del estudio.

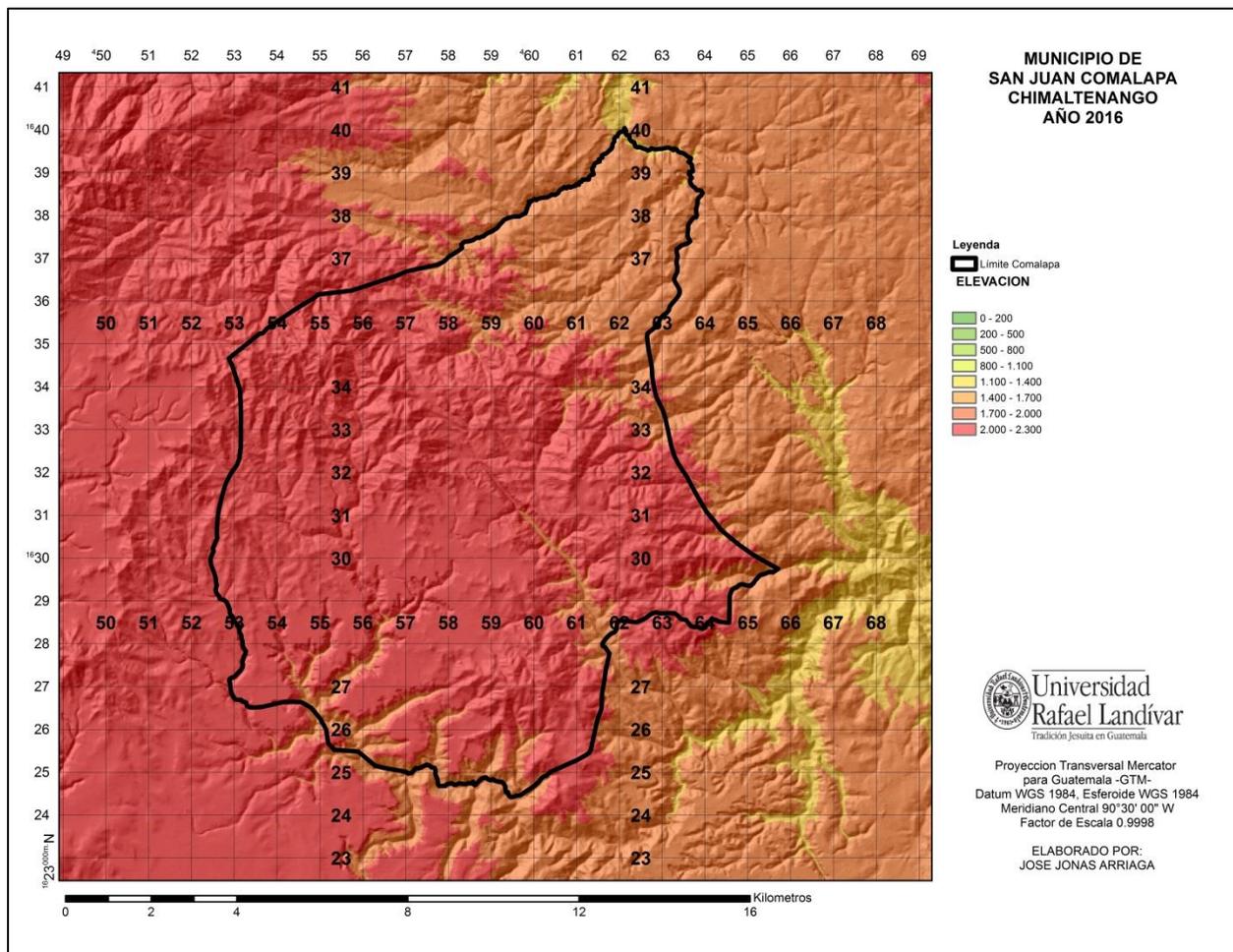


Figura 6. Mapa Delimitación del área de estudio.

Fuente: (Elaboración propia con base en SIG-MAGA, 2006).

6.2 Uso de la tierra, café y otros usos

Con base a la ratificación de los usos de la tierra realizada en campo se procedió al ajuste de los polígonos de uso de la tierra en el área de estudio. Se realizaron agrupaciones y se determinaron catorce categorías de uso las que se describen en el Cuadro 1 y Figura 7.

Cuadro 1. Uso de la tierra

Categoría de uso	Descripción
Agricultura anual	En esta categoría están los cultivos de corto periodo vegetativo
Arboles dispersos	Cobertura forestal con árboles dispersos no densamente establecidos
Café	En esta categoría se agrupan cultivos de café con o sin sombra.
Caña de azúcar	Áreas con siembra de Caña de azúcar
Cuerpo de agua	Corresponde al área ocupada por algún cuerpo de agua (lagunetas)
Cultivos permanentes arbustivos	Estas son áreas ocupas por mora, fresa
Cultivos permanentes arbóreos	Son áreas donde predominan frutales tales como manzano, ciruela, pera, durazno y algunos cítricos
Cultivos permanentes herbáceos	En esta se encuentran agrupadas cultivos hortícolas
Espacios abiertos sin o poca vegetación	Áreas de descanso con algunos árboles y arbustos dispersos
Pastizales	son áreas desprovistas de bosques, con plantas herbáceas que crecen en forma natural denominados localmente zacate, presencia de escasos arboles de sombra
Urbano	Esta categoría corresponde al área poblada del municipio
Vegetación Arbustiva baja (guamil-matorral)	Monte bajo, sin ser aprovechadas dichas áreas
Zonas boscosas	Cobertura forestal con árboles densamente establecidas, predominando pino y Ciprés
Zonas húmedas	Zonas donde se encuentran nacimientos de agua

Fuente: Elaboración propia

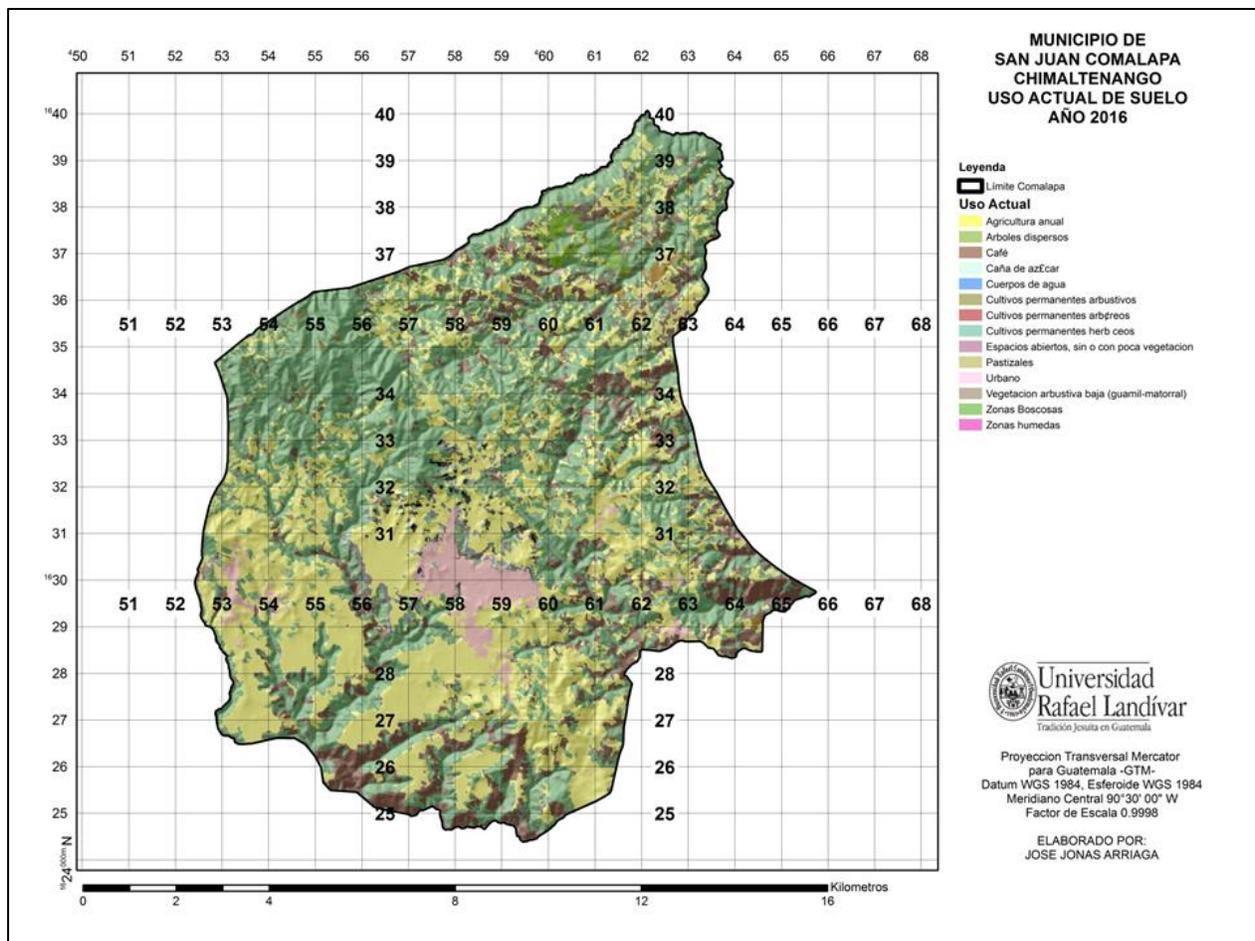


Figura 7. Mapa uso actual 2016

Fuente: (Elaboración propia con base en SIG-MAGA, 2006).

El uso más predominante en el municipio de San Juan Comalapa lo forman bosques y medios seminaturales entre los cuales 52.98% del territorio del municipio (4540.26 ha) se localizan tanto los bosques mixtos (coníferos y caducifolios), arboles dispersos, medios de vegetación arbustiva y/o herbácea, así como también la vegetación arbustiva baja (matorral y/o guamil), se localiza tanto en terrenos planos como con altas pendientes y alta susceptibilidad a la erosión de los suelos, en algunas comunidades del municipio se cuenta con programas de incentivos forestales lo cual conlleva a mejorar la cobertura forestal del municipio ya que existe interés de los agricultores en manejar y conservar sus bosques de forma tradicional se encuentran enmarcados dentro de un subsistema de subsistencia. (Cuadro 1).

Cuadro 2. Uso de la tierra del municipio de San Juan Comalapa

Leyenda	Área (ha)	Porcentaje (%)
Área total Comalapa	8568,38	100
1. Territorios artificializados		
1.1 Zonas Urbanizadas	290,37	3,38
1.2 Zonas industriales	2,55	0,02
1.3 Zonas verdes artificiales no agrícolas, instalaciones deportivas y recreativas	0,44	0,05
2. Territorios agrícolas		
2.1 Cultivos anuales	3650,41	42,59
2.2 Cultivos permanentes		
2.2.1 herbáceos	10,46	0,12
2.2.2 arbustivos	70,26	0,82
2.2.3 arbóreos	3,63	0,04
3. Bosques y medios seminaturales (bosques mixtos, arboles dispersos)	4540,26	52,98

Fuente: Elaboración propia con base a la digitalización y actualización del uso de la tierra.

El segundo uso predominante en el municipio corresponde a territorios agrícolas el cual representan aproximadamente un (42.59%) del territorio (3650.41 ha) respectivamente (Cuadro 2). Estos se encuentra distribuidos en mayor proporción en las partes altas al este, oriente y sur, dentro de la superficie mencionada se encuentra diferentes comunidades con producción agrícola en la que sobre salen granos básicos (maíz y frijol), hortalizas, (papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga, rábanos entre otras) dentro de este grupo se incluye los cultivos permanentes, clasificándolos como herbáceos, arbustivos y arbóreos, dentro de esta clasificación encontramos cultivos tales como mora, fresa, algunos frutales manzano, durazno, ciruela, pera, siendo estos los medios de subsistencia de la población del municipio de San Juan Comalapa.

El café representa apenas el 0.23% respectivamente (20.11 ha). El cultivo de café es una de las actividades agrícolas de mayor importancia económica y social ya que en la actualidad año tras año existen nuevas áreas de siembra de este cultivo en el municipio lo que también ocasiona el cambio del uso del suelo. La generación de empleo

temporal durante las diferentes fases del cultivo conlleva a un desarrollo socioeconómico para la población.

6.3 Componente Bosque

La cobertura de bosque en Comalapa es de 42.62%: bosque mixto, Bosque coníferos mezclados con árboles caducifolios es de 36.12% y arboles dispersos de 4.43% y un 2.07% de plantaciones bajas (arbustos), sumado el 100 % de plantación forestal. Al prolongarse la sequía, se registran más incendios forestales, el municipio cuenta con 6 bosques municipales (astilleros) con un área total de 114.9 hectáreas que en su mayoría está cubierto por bosques mixtos. La mayoría de productores tiene en promedio 0.5 hectárea de bosque para estos fines.

Cuadro 3. Cobertura forestal

Descripción	Área ha	Porcentaje (%)
Bosque mixto	97.37	36.12
Arboles dispersos	11,94	4.43
Plantaciones bajas (arbustos)	5,59	2.07

Fuente: Elaboración propia

El uso predominante en el municipio de San Juan Comalapa corresponde al bosque mixto situándose la mayor parte boscosa en la región nor-oeste y dentro de la región nororiente, es importante resaltar que la zona cafetalera se encuentra ubicada en el nororiente del municipio. Cabe indicar, que la cobertura forestal se encuentra amenazada por la expansión los cultivos de café, así mismo por el establecimiento de pastizales, la agricultura limpia anual, la extracción ilegal de leña y madera que vienen ocasionando pérdida de la biodiversidad (Figura 8)

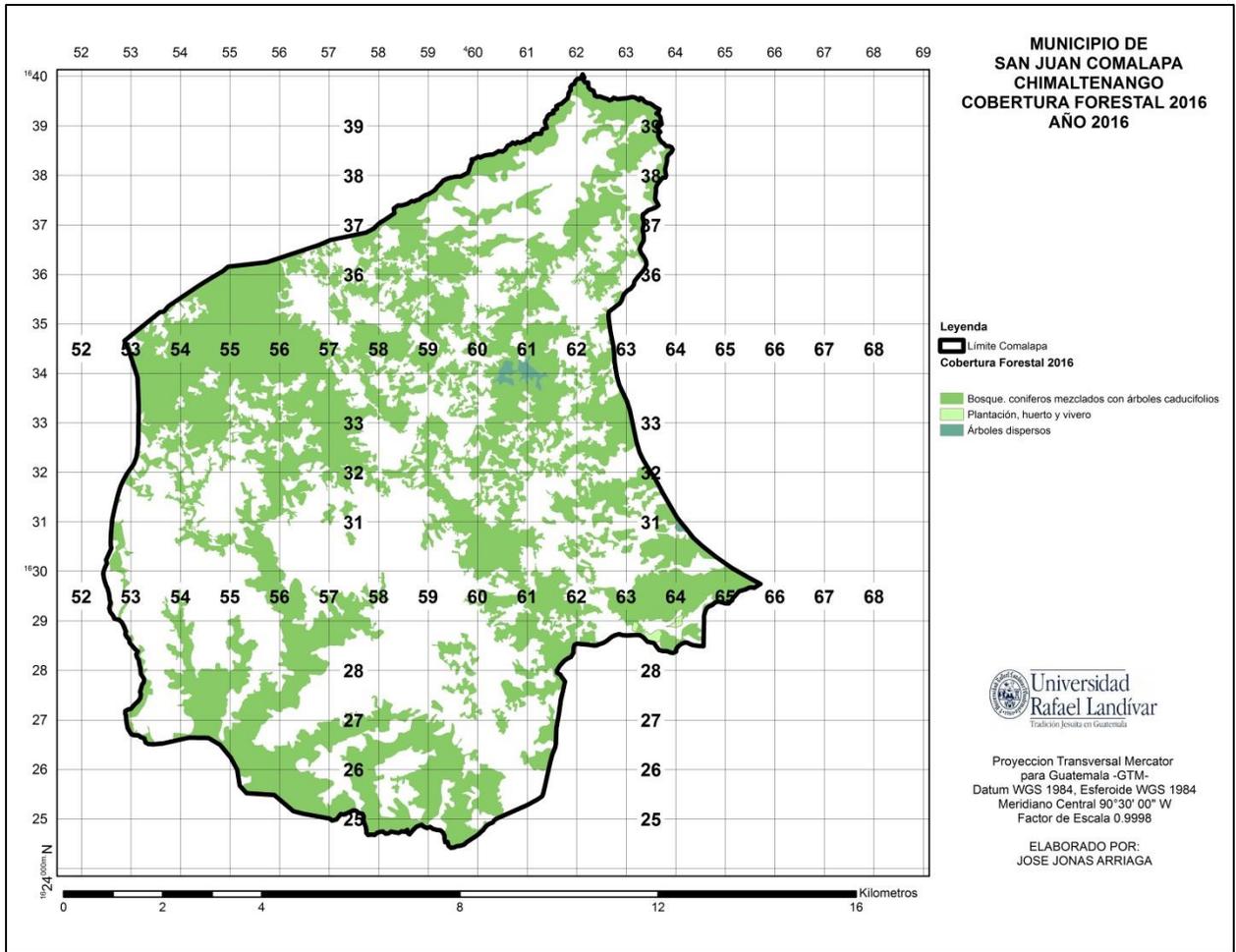


Figura 8. Mapa Cobertura Forestal 2016

Fuente: (Elaboración propia con base en SIG-MAGA, 2006).

6.4 Zonas de Vida

Se utilizó la base de datos elaborada por SIG-MAGA 2006 y la base de datos elaborada por IARNA-URL (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar) 2013, de la cual se obtuvieron dos mapas temáticos los cuales permitirá analizar los cambios de este componente durante los últimos siete años.

En el Figura 9 se puede apreciar una coloración de paisajes agrupados de acuerdo a su tamaño. Luego se encuentran agrupados de acuerdo a las zonas de vida en donde se

ubicar, lo cual puede dar algunas luces acerca de las mejores recomendaciones a partir de las particularidades y potencialidades de cada zona ya que en el 2006 se consideraban dos diferentes zonas de vida para el municipio de San Juan Comalapa.

En la regio noroeste del municipio de San Juan Comalapa se pueden observar paisajes de tamaño medio en donde predominan usos como cultivos hortícolas así mismo, arbustos, matorrales y pastos, donde la vegetación natural predominante es ***Cupressus lusitánica*** (Ciprés), estos usos corresponden también a condiciones de mayor altitud la cual oscila entre los 2000 a 2300 metros sobre el nivel del mar y climas más fríos en comparación con el resto de la Cordillera; indican también menos densidad poblacional, ocupando aproximadamente un 40% de bosque en la zona de vida bmh-MB, Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical

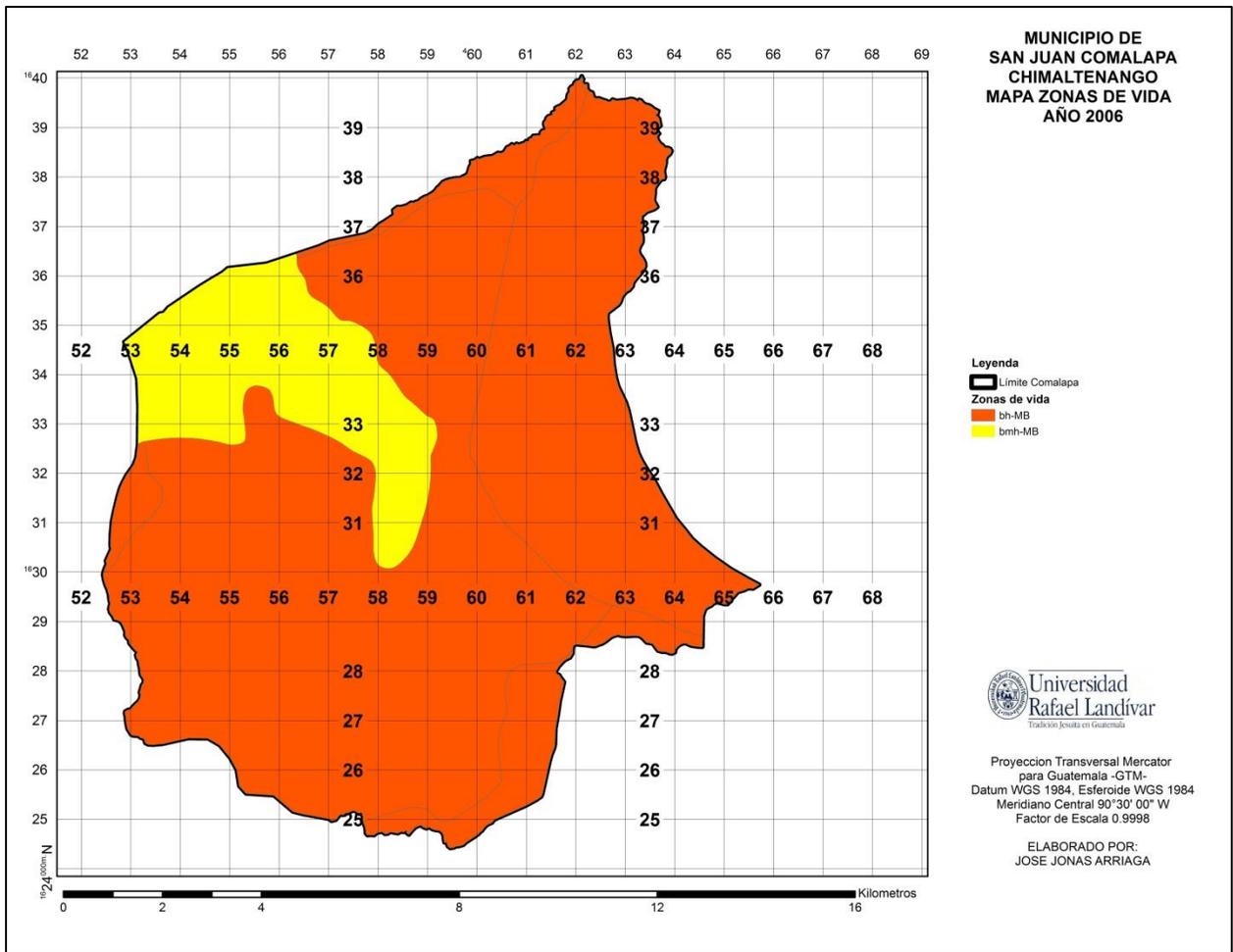


Figura 9. Mapa de zonas de vida de Guatemala. Año 2006

Fuente: (Elaboración propia con base en SIG-MAGA, 2006).

En la mayor parte del territorio del municipio se puede observar diferentes paisajes al igual que se localizan diferentes usos de la tierra como cultivos perennes, agricultura variada y varios paisajes con predominancia de estado natural, en la cual la vegetación natural que es típica está representada por rodales de *Quercus spp.* En su mayoría de uso agrícola y sorprendentemente de bosque siendo la zona de vida bh-MB, bosque húmedo montano bajo subtropical

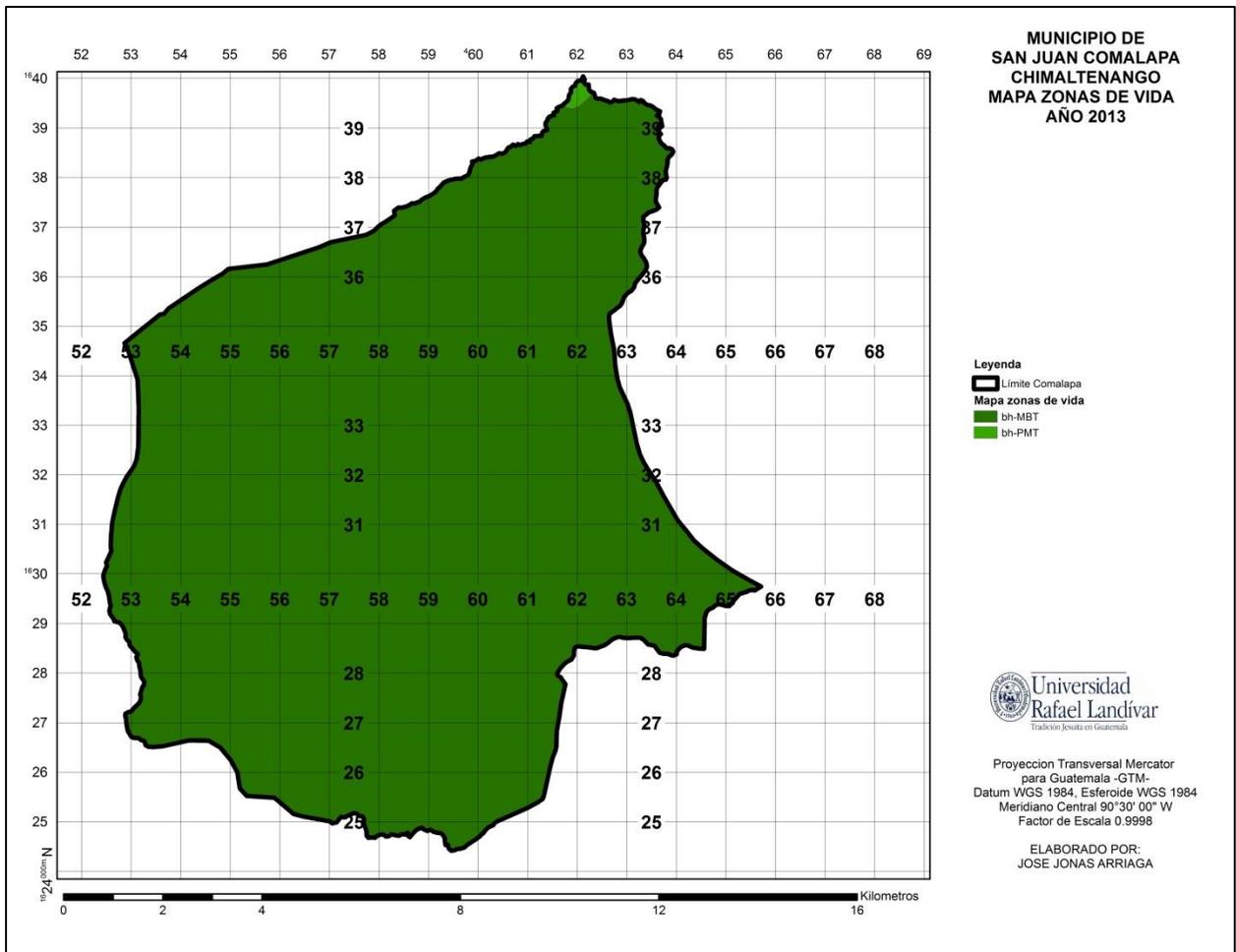


Figura 10. Mapa de zonas de vida de Guatemala. Año 2013

Fuente:Elaboración propia con base en IARNA-URL (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad de la Universidad Rafael Landívar). (2013). Mapa de zonas de vida de Guatemala. (escala 1:250,000) [mapa digital]. Guatemala.

El IARNA (2014) realizó una actualización del mapa de zonas de vida elaborado por René de la Cruz, con asesoría de Leslie Holdridge por primera vez en el año 1979. Dicha actualización fue necesaria considerando que para el mapa original no se utilizó una base climatológica completa debido a la falta de estaciones meteorológicas en algunas regiones del país. El mapa resultante se diferencia con el anterior en la categorización de todos los bosques como tropicales, además de cambiar el nombre monte espinoso (me-S) a bosque muy seco (bms-T). En éste se incorporaron 2 nuevas zonas de vida, para hacer un total de 13 zonas de vida (Figura 10).

Como puede observarse en la figura 10 la actualización del mapa zonas de vida se puede observar la diferencia entre el mapa generado por SIG-MAGA 2001, en el cual el municipio de San Juan Comalapa se podía clasificar en dos diferentes zonas de vida, lo cual en el 2013 ha cambiado debido a los fenómenos naturales tales, como las lluvias intensas y/o escasas de la misma, las altas y/o bajas temperaturas la intensidad de la radiación solar, estos fenómenos nos hace vulnerables a los cambio climáticos, dada situación una región de un 40% del territorio de bosque en la zona de vida bmh-MB, Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical dejo de clasificarse de esta manera dando lugar a generalizarse en todo el municipio a una única zona de vida bh-MBT, Bosque húmedo Montano Bajo.

6.5 Escenario climático

6.5.1 Escenario climático actual

El *Worldclim* es una base de datos climática mundial que ha sido generada a partir de la interpolación de más de 75 mil estaciones meteorológicas alrededor del mundo, para el periodo 1950-2000. Un insumo importante para la modelación climática mundial fue la utilización del Modelo de elevación digital desarrollado por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés). A partir de lo anterior, se han generado capas mundiales de temperaturas (máximas y mínimas) y de precipitación pluvial, todas estimadas por mes, para capturar de mejor manera la estacionalidad de los cambios (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005) citados por (Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012, Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo).

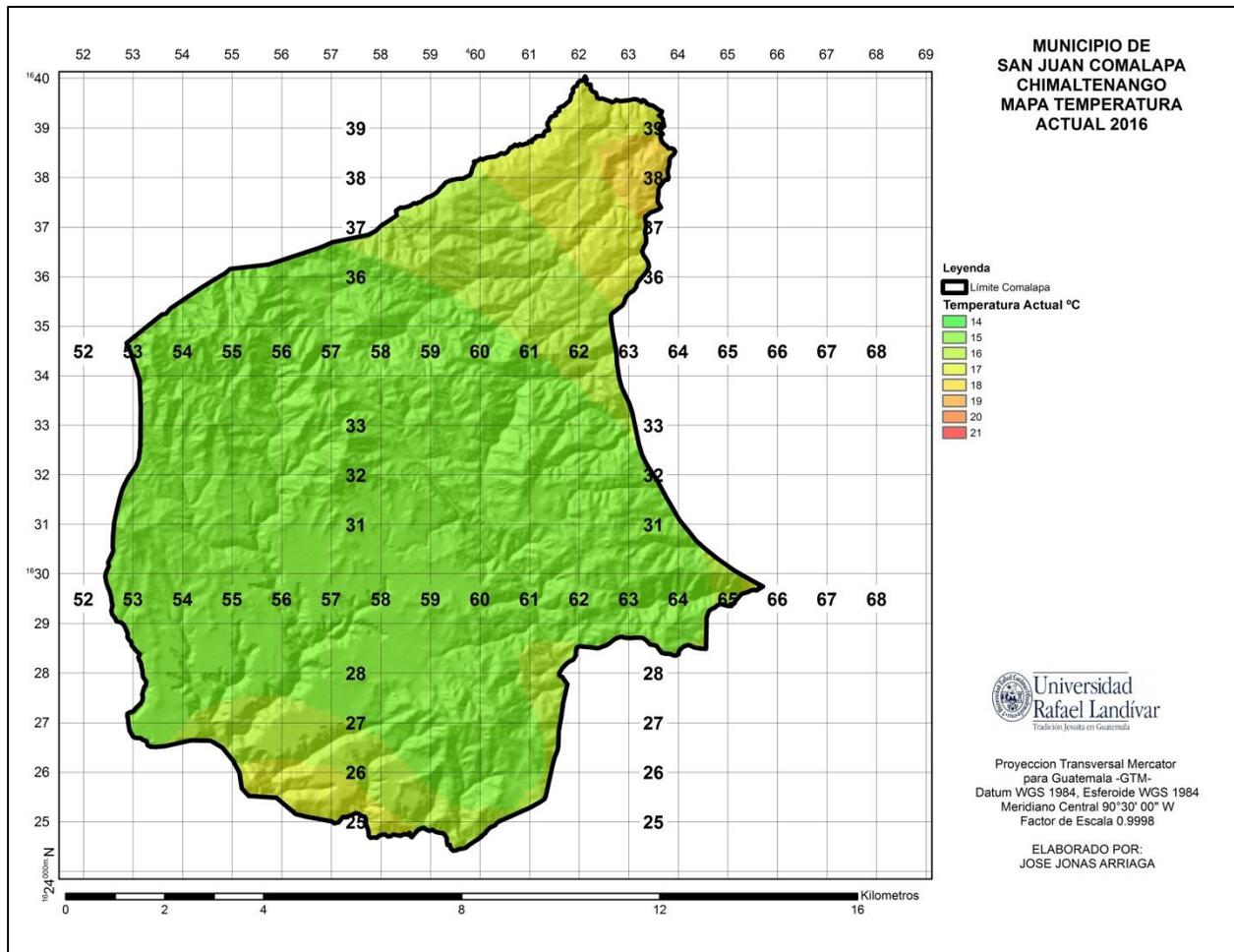


Figura 11. Mapa de temperatura actual. Año 2016

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

La temperatura actual como puede observarse en la figura 11 basada en la base de datos de WorldClim, determino agrupar en 8 rangos de temperatura media anual, con los resultados obtenidos puede observarse que aproximadamente el 80% del territorio de San Juan Comalapa es templado, correspondiendo a temperaturas menores a 17°C.

La precipitación media actual con base en los registros de precipitación obtenidos para el periodo de 1950-2000 (Hijmans *et al.* 2005), oscila entre 738 mm y 1600 mm, permitiendo agrupar dichos datos en 9 categorías, se puede apreciar una coloración de paisajes agrupados en la figura 11, de acuerdo a la precipitación pluvial para dicha

zona, en la región nororiente del municipio las escasas lluvias tienden a marcar un rango de 738-1000 mm anuales lo cual ocasiona pérdidas en la producción agrícola.

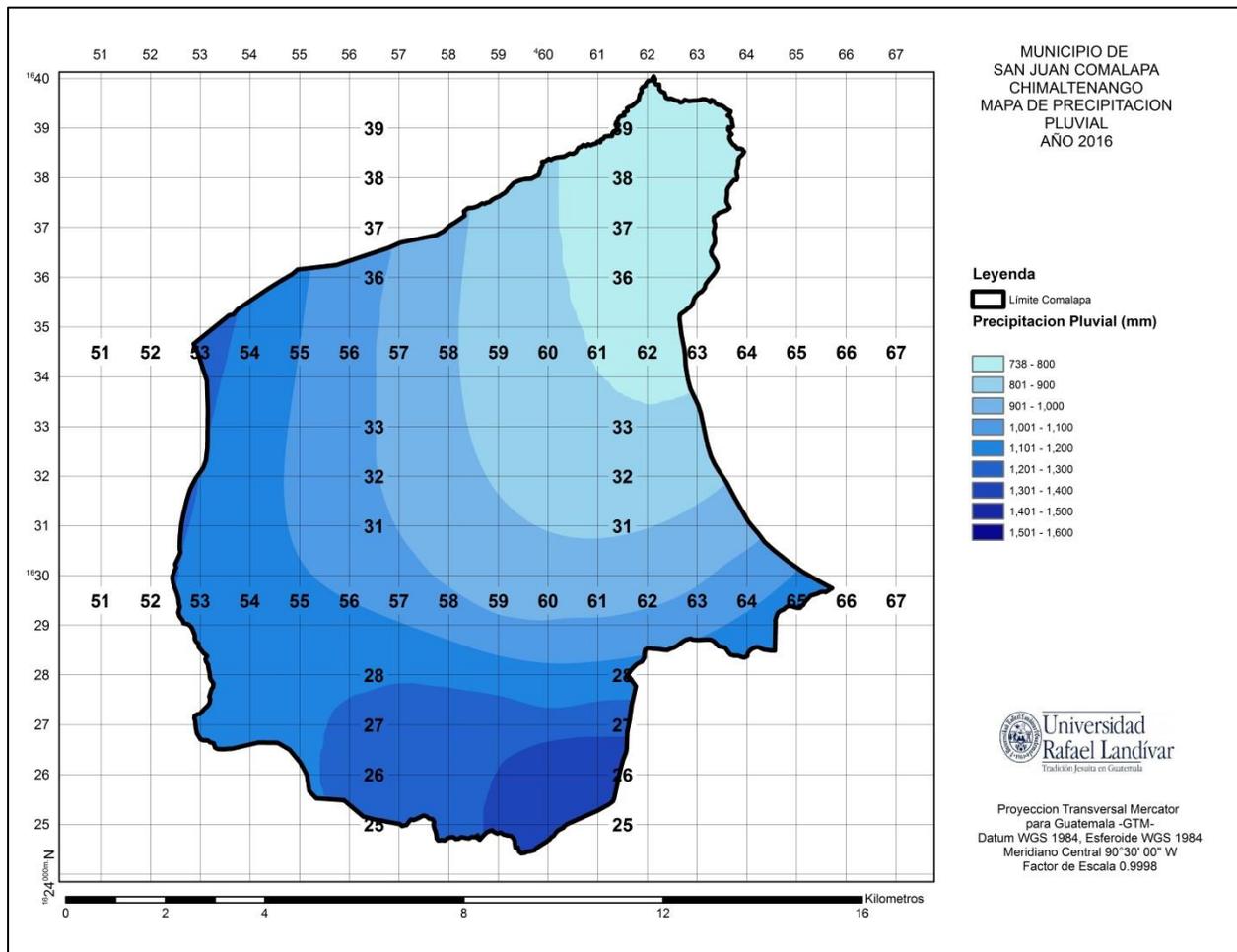


Figura 12. Mapa de precipitación pluvial Actual. Año 2016

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

De acuerdo con Jaramillo (2006), la evapotranspiración es la suma de la evaporación desde la superficie del suelo y del agua interceptada por la vegetación, y de la transpiración desde las plantas, especialmente por los estomas; su conocimiento es útil para determinar las necesidades de agua de un cultivo o de una región, los valores de evaporación anual media para las regiones de cultivo del café en Colombia variaron entre 1.300mm para las zonas bajas (1.000m) y 1.050mm para las zonas altas (2.000m).

Como se puede observar en el mapa de evapotranspiración actual generado para el territorio de San Juan Comalapa la ETP se puede agrupar en 3 rangos, que oscila entre 825 mm y 1100 mm respectivamente con altitudes que van de 1700 a 2300 msnm, localizándose mayor evapotranspiración en las zonas de 1700 msnm donde existen sistemas productivos de café.

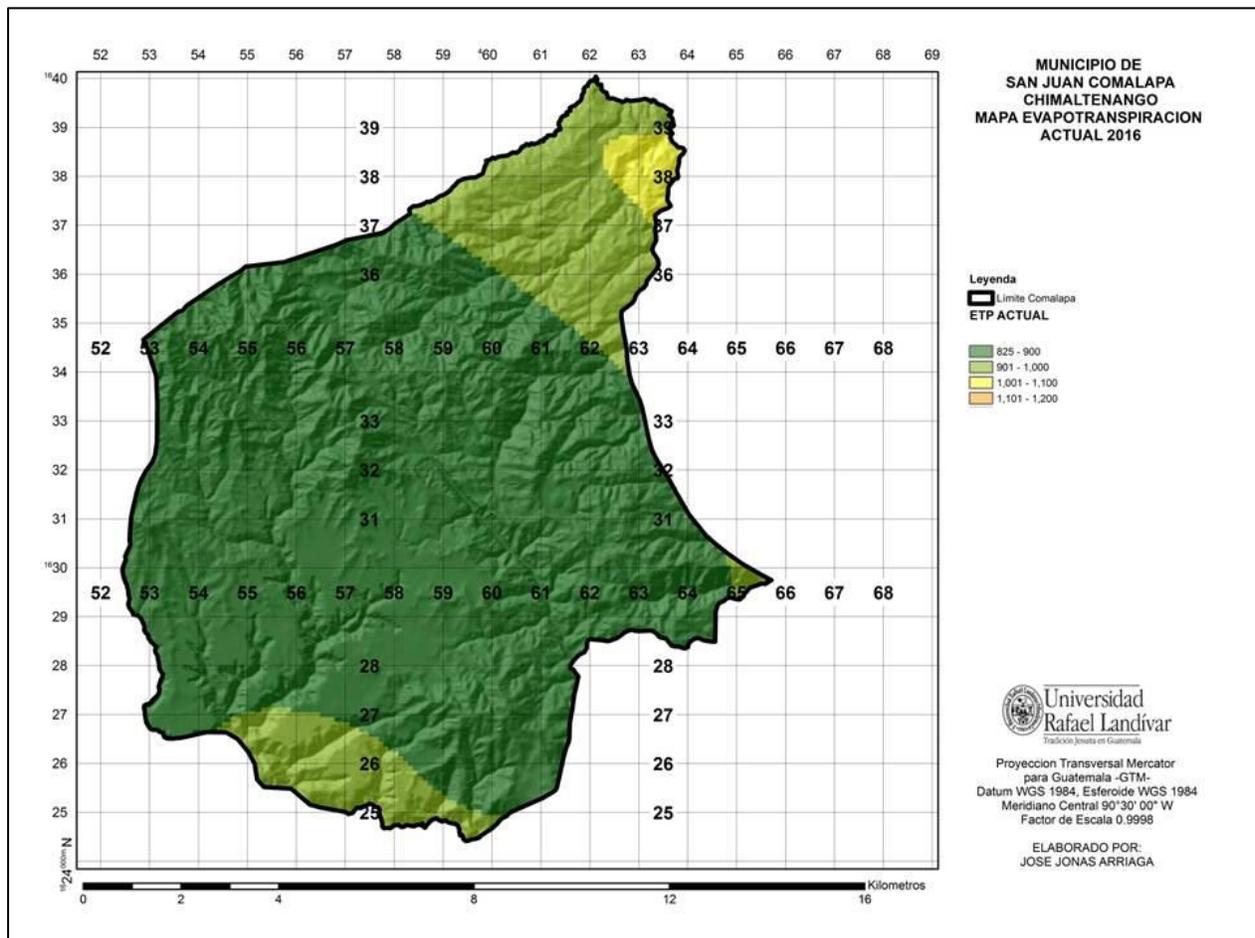


Figura 13. Mapa de evapotranspiración actual. Año 2016

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

6.5.2 Distribución actual potencial del café

En la actualidad los sistemas productivos de café del municipio de Comalapa se encuentran ubicados en la región nororiente, en alturas que oscilan entre 1800 y 2100

msnm. La zona es nueva en el cultivo del café con alto potencial, de acuerdo con CIAT (2012), Habrá áreas que se convertirán en no aptas para el café (Esquipulas, Suchitepequez), donde los productores de café necesitarán identificar cultivos alternativos. Habrán áreas que permanecen siendo aptas para café con pérdida leve de aptitud (Antigua, Santa Rosa), pero siempre y cuando los productores adapten sus manejos agronómicos a las nuevas condiciones que experimentará el área. También habrá áreas en que el café gana aptitud como es el caso de Chimaltenango, en donde aparecen nuevas áreas potenciales para el cultivo de café (Figura 14).

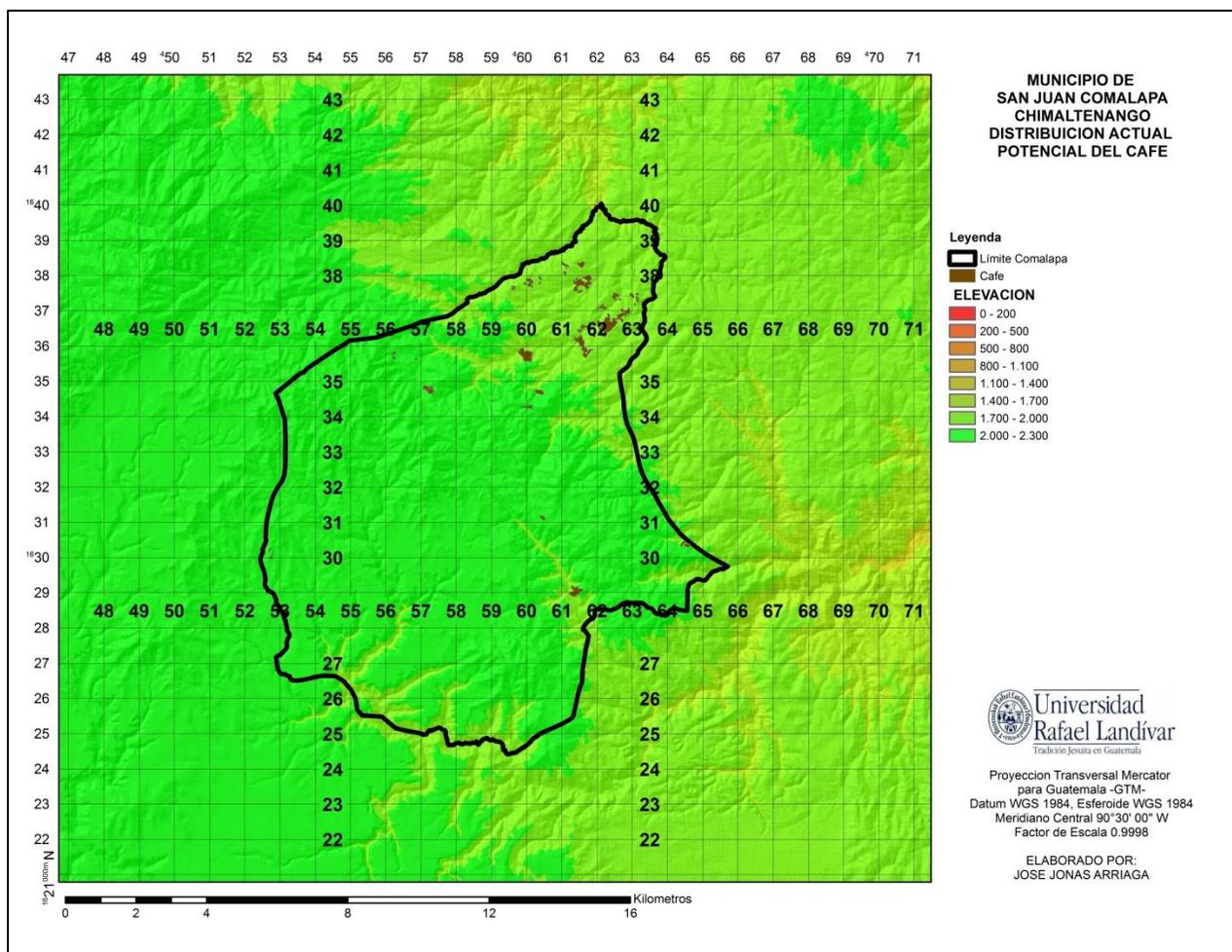


Figura 14. Mapa de distribución actual potencial del café

Fuente: Elaboración propia

6.6. Escenario climático 2020

De acuerdo al escenario climático de temperatura 2020 figura 15 basada en la base de datos de WorldClim, la temperatura media anual incrementará de manera progresiva. Este incremento para el año 2020 será entre 0.8 y 0.9 °C, con los resultados obtenidos puede observarse que aproximadamente que la región nororiente donde se localizan el 90% de las áreas de los sistemas productivos de café las temperaturas que van de 17 a 19 °C, en este escenario se agrupan 6 rangos de temperatura que oscilan entre 14 y 19 °C, es importante mencionar que el rango de temperatura de 14 °C se ubica en la región que de acuerdo al mapa zonas de vida bmh-MB, Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical.

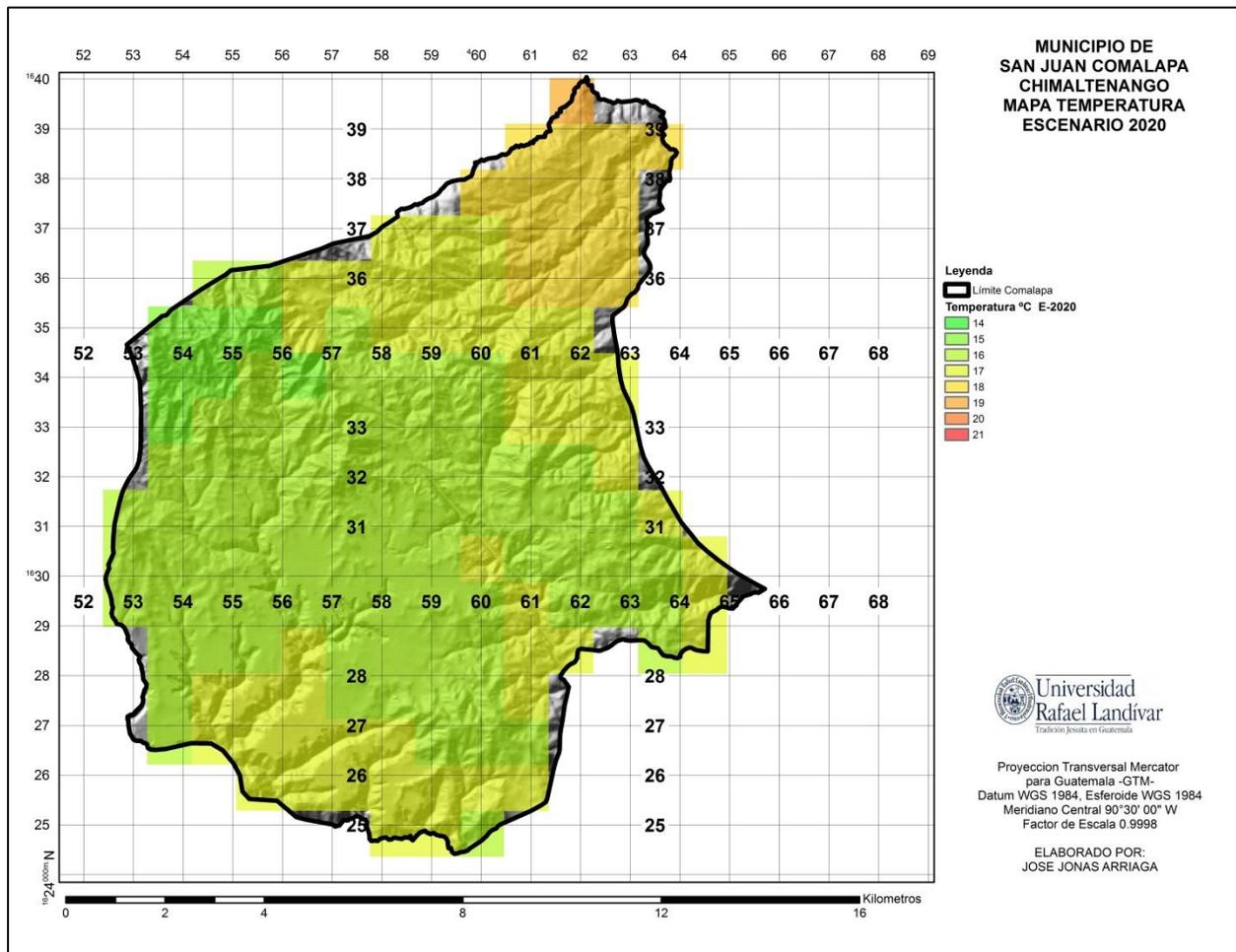


Figura 15. Mapa de temperatura escenario 2020.

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

La precipitación anual para el escenario 2020 disminuye en un promedio de 15 mm, con base en los registros de precipitación obtenidos para el periodo de 1950-2000 (Hijmans *et al.* 2005), en el año 2020 oscila entre 1000 mm y 1400 mm, permitiendo agrupar dichos rangos en 7 categorías para el municipio de San Juan Comalapa, se puede apreciar una coloración de paisajes agrupados en la figura 15, de acuerdo a la precipitación pluvial para dicha zona, en la región nororiente del municipio tienden a marcar un rango de 1000-1200 mm anuales concentrándose el 70% de sistemas productivos de café en el rango de precipitación de 1000 mm anuales.

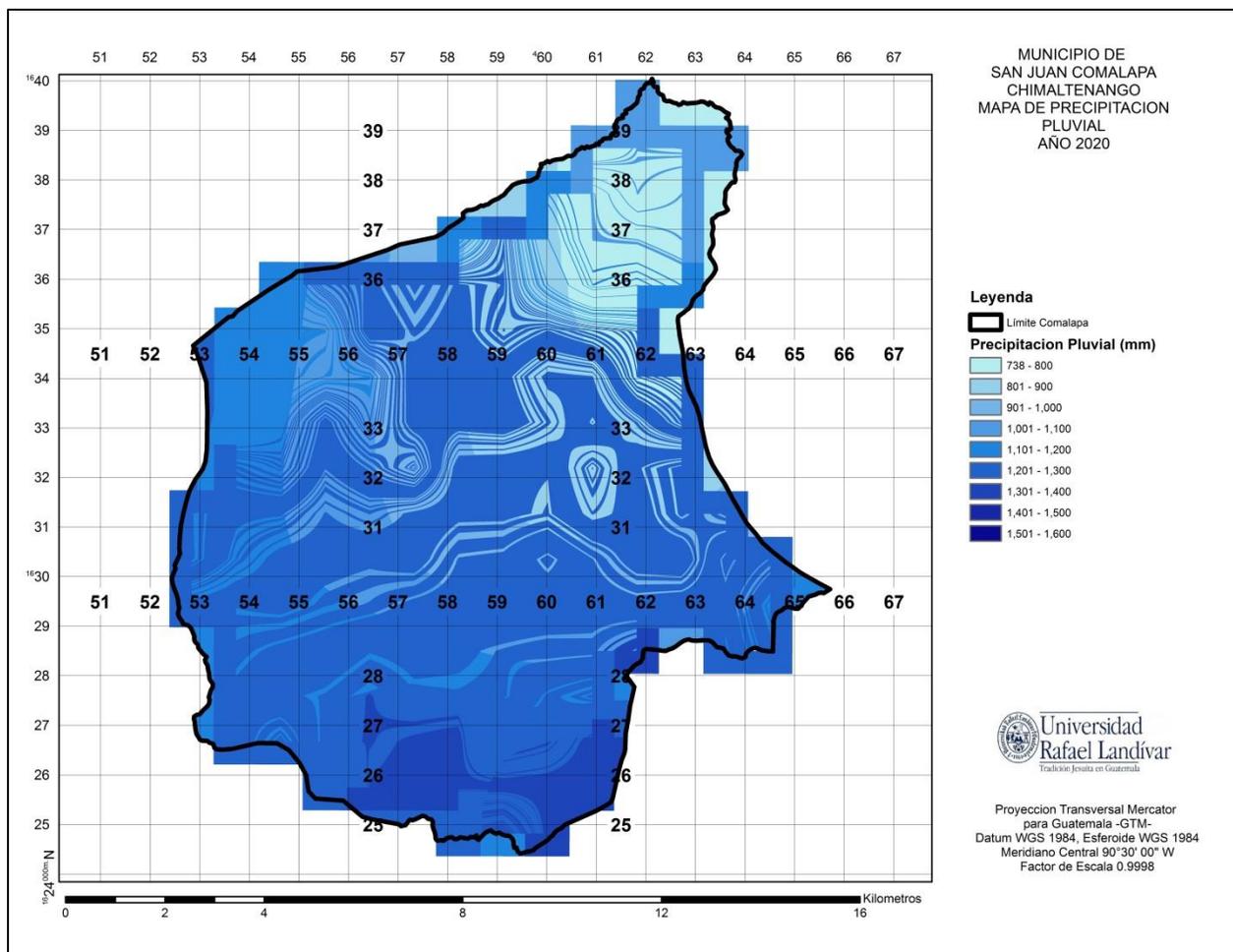


Figura 16. Mapa de precipitación pluvial (mm) escenario 2020.

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

Como se puede observar en el mapa de Evapotranspiración Escenario 2020 generado para el territorio de San Juan Comalapa la ETP se puede agrupar en 4 rangos, que oscila entre 825 mm y 1200 mm respectivamente con altitudes que van de 1700 a 2300 msnm, localizándose mayor evotranspiracion entre los rangos de 942-1060 mm y con altitudes entre 2100-1825 msnm donde existen se concentra el mayor número de sistemas productivos de café

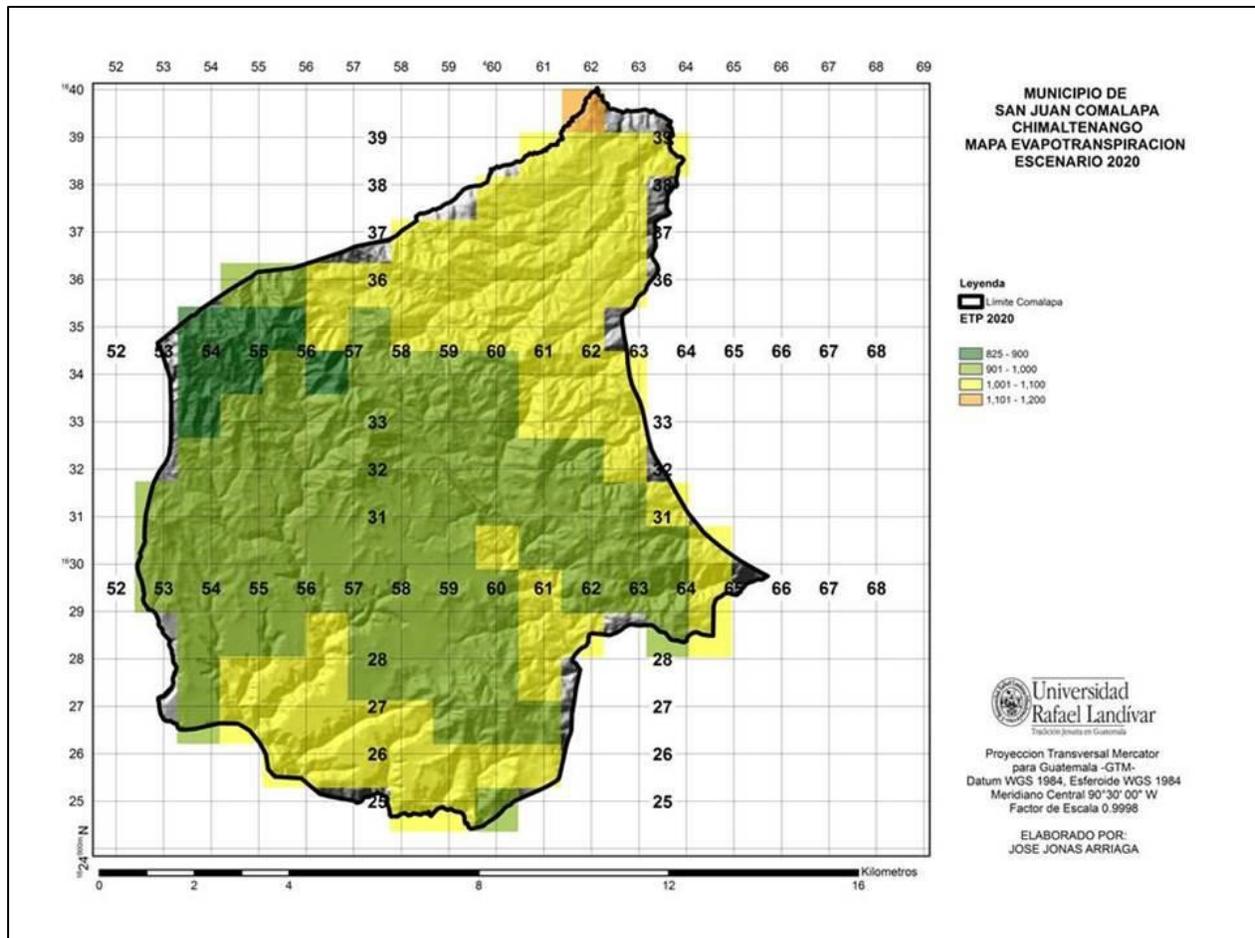


Figura 17. Mapa de evapotranspiración escenario 2020

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

De acuerdo con escenarios de cambio climático generados a través de la base de datos de WorldClim, se elaboraron escenarios futuros de precipitación pluvial (mm) 2020 y temperatura promedio anual (°C) 2020, utilizando Arcgis 9.3 como plataforma de integración a través de la herramienta multicriterio, conociendo los valores de cada factor que cuenta con la información de las variables ambientales adecuadas para la

actividad productiva del cultivo del café, se procedió a elaborar el escenario potencial de café para el año 2020.

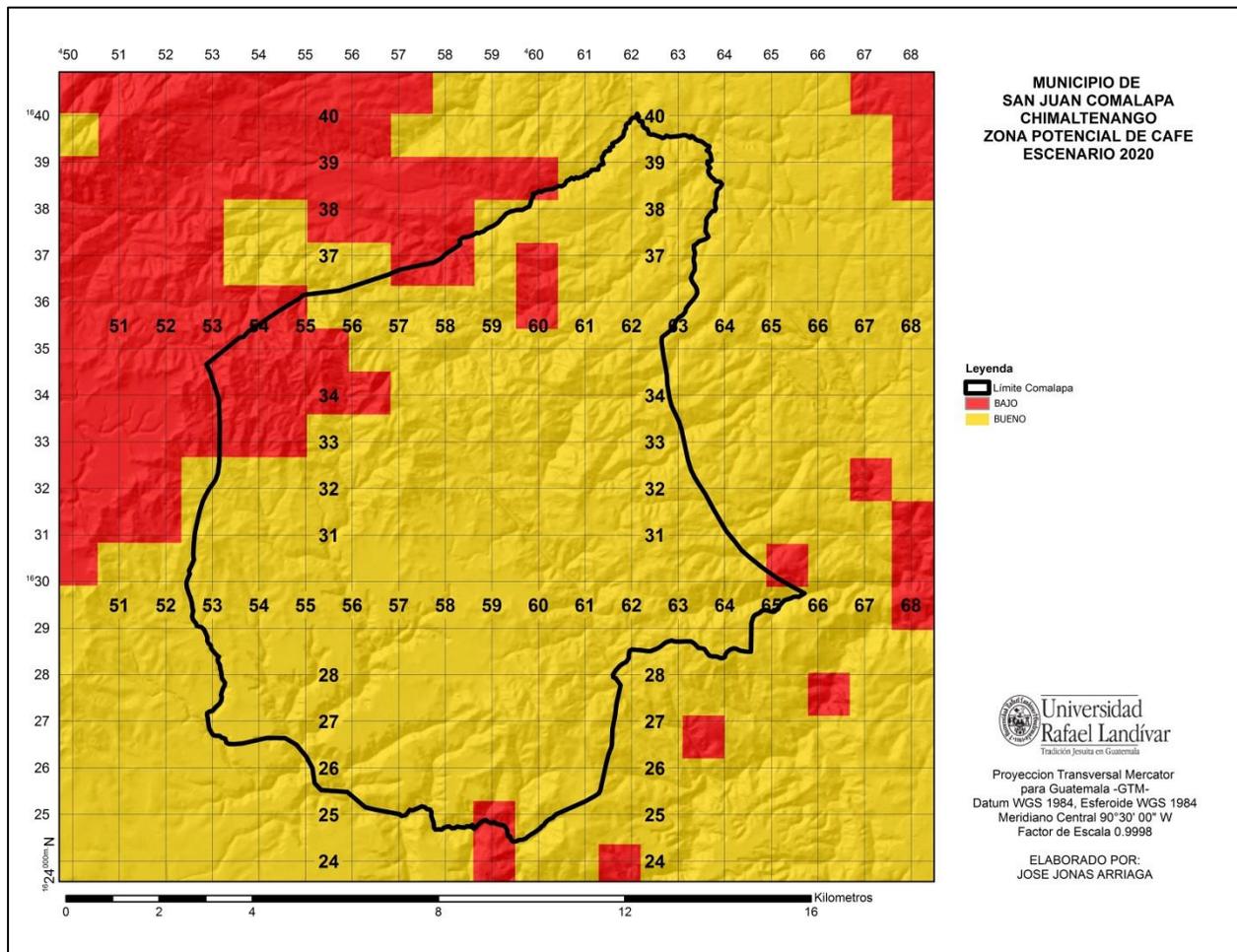


Figura 18. Mapa de zona potencial de café Escenario 2020

Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de este escenario se tomaron los valores de temperatura, precipitación del escenario 2020 así mismo la altitud 1600 msnm, la zona óptima para producción de café es actualmente entre 700 y 1700 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Dados los resultados se agrupó en 2 categorías Bajo y Bueno, estas categorías cumplen 1 criterio en el caso de Bajo y 2 criterios en el caso de Bueno, la mayor parte

del territorio de San Juan Comalapa para el año 2020 será Regular para la introducción del cultivo de café, las áreas protegidas y conservadas con vegetación boscosa no son recomendadas para introducir nuevas áreas para producir café, por ende es necesario alternativas para mejorar los sistemas productivos de café en el municipio.

6.7 Escenario climático 2050

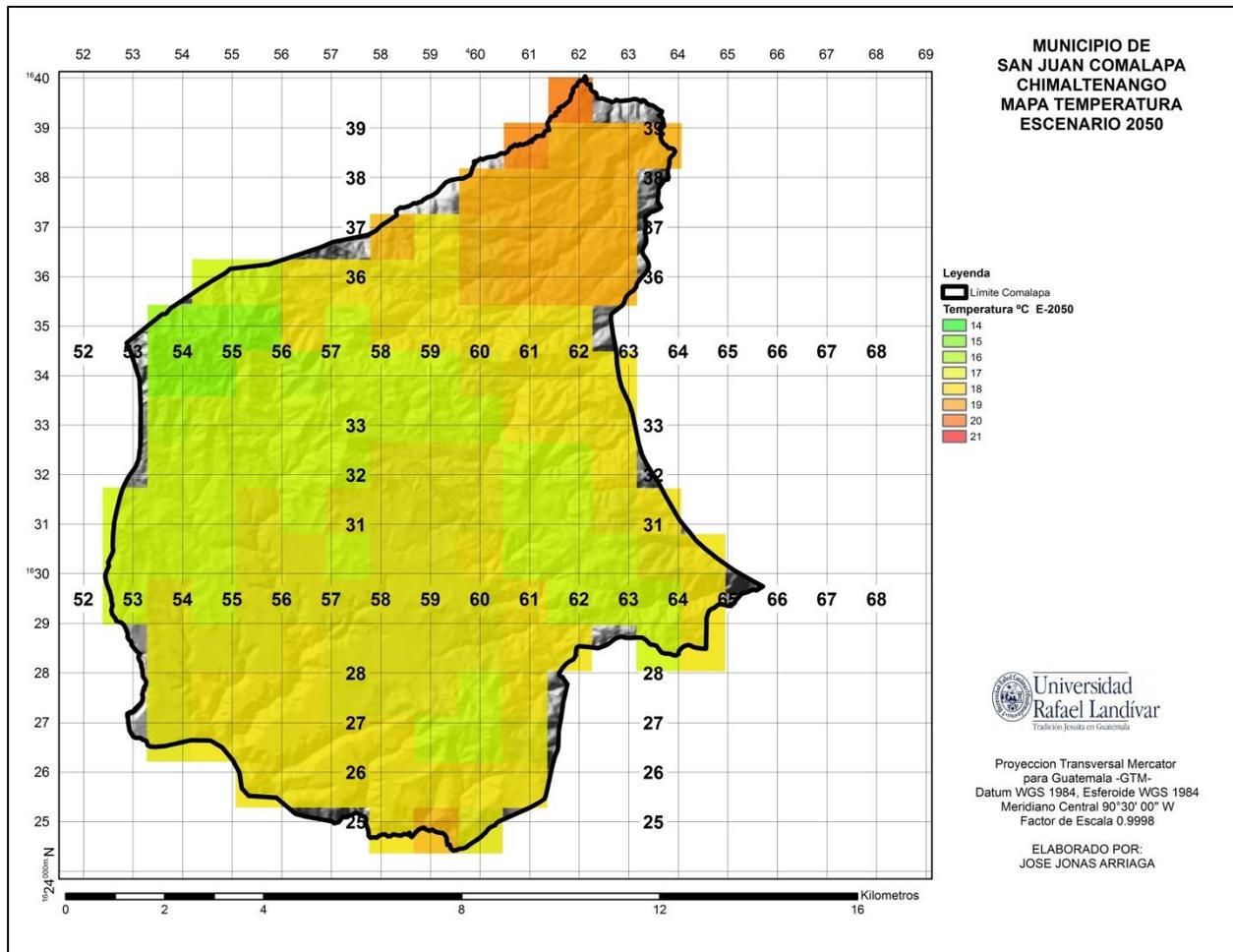


Figura 19. Mapa de temperatura escenario 2050.

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

Como se puede observar en la figura 19 el escenario de cambio climático de temperatura 2050, con datos de WorldClim (Hijmans *et al.* 2005), se determinó que para la zona donde se encuentra ubicado el municipio de San Juan Comalapa, se podrían esperar para el 2050 incrementos en la temperatura media anual de 2.1 °C.

Para Guatemala según el estudio de Oglesby y Rowe (2015), titulado “*Impactos climáticos para Guatemala: resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR510*”, se indica un calentamiento entre el presente y la década de 2060 que va desde menos de 1°C a más de 3 °C. Lo que coincide con las proyecciones de los escenarios trazados para la zona de estudio.

Como se representa en la figura 19 que la temperatura se acentúa más en la zona noreste del municipio, estos cambios de temperatura forzarían a una mayor evapotranspiración, aumentando la demanda hídrica de los cultivos el café es sensible al aumento de temperatura, este aumento podría estar asociado principalmente con los factores de altitud y cambios en la cobertura forestal.

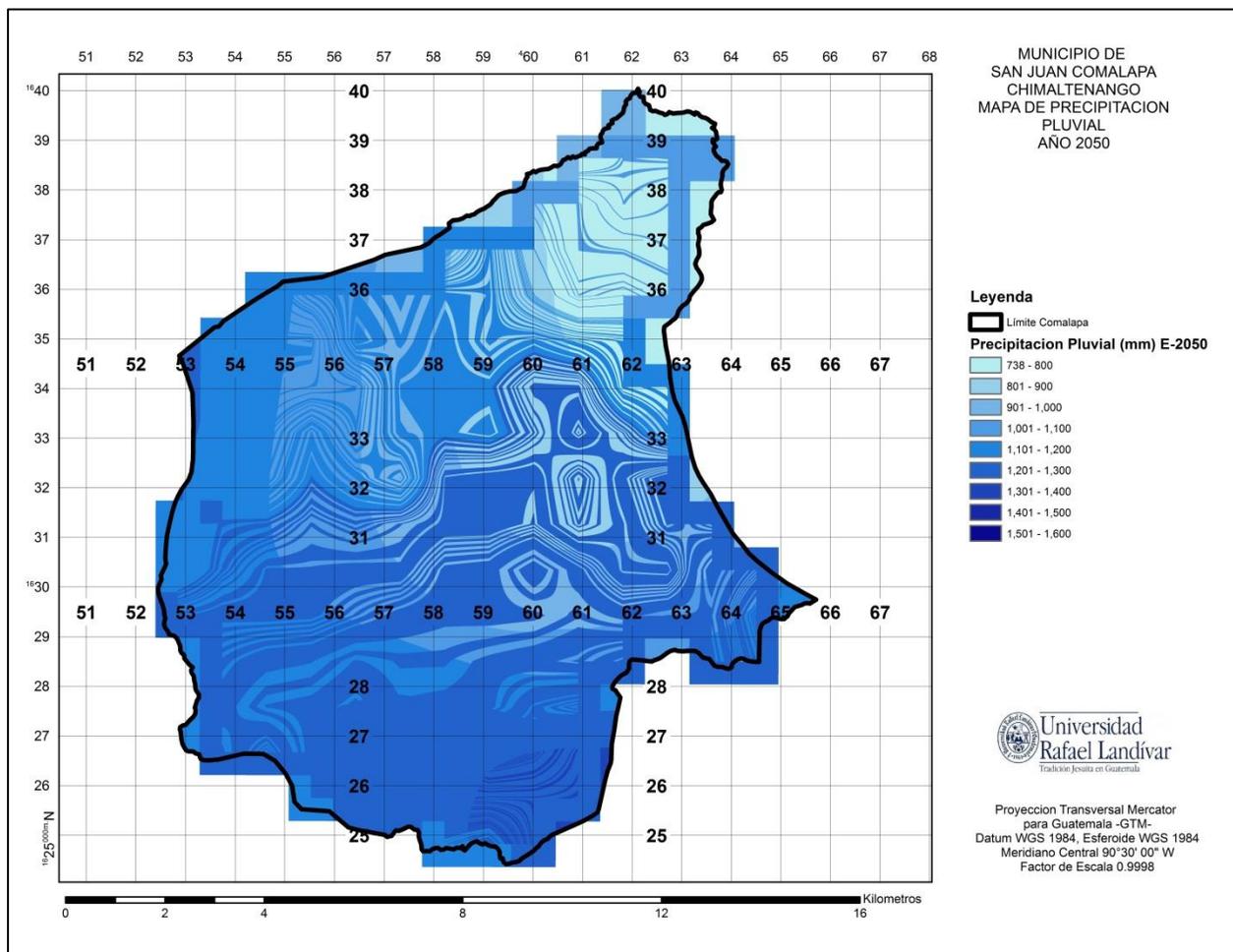


Figura 20. Mapa de precipitación pluvial (mm) escenario 2050.

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

La precipitación media actual con base en los registros de precipitación obtenidos para el periodo de 1950-2000 (Hijmans *et al.* 2005), oscila entre 1100 mm y 1418 mm, para el año 2050, bajo escenarios de cambio climático, se esperarían precipitaciones medias anuales comprendidas entre 981 mm y 1207 mm. La precipitación anual disminuye en el año 2050 en un promedio de 24 mm. La zona noroeste pierde aptitud en consideración a la precipitación requerida por café, dando lugar a la región sur y oriente a tener mejores condiciones para el desarrollo del cultivo. En este escenario se observan cambios drásticos en el territorio, para el caso del municipio de San Juan Comalapa, el aumento de productores que cultivan café en la región noreste del municipio, lo cual podría ser un indicador del cambio que se ha tenido principalmente en el clima local, comparado con escenarios pasados.

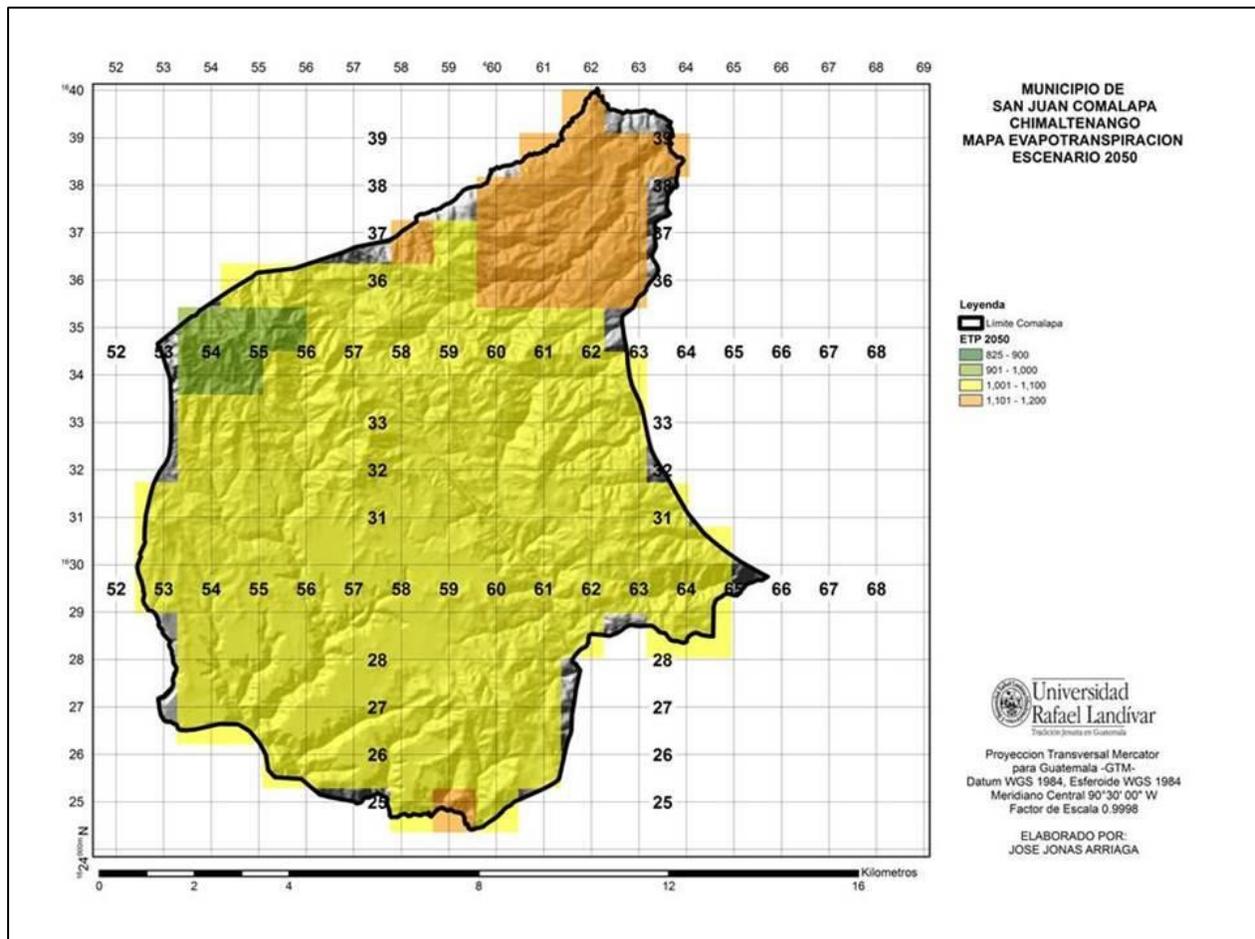


Figura 21. Mapa de evapotranspiración escenario 2050

Fuente: Base de datos Climatologica WorldClim (Hijmans, et. Al., 2005).

Como se puede esquematizar en el mapa de Evapotranspiración Escenario 2050 generado para el territorio de San Juan Comalapa la ETP ha aumentado considerablemente esto a su vez causa el aumento de la demanda hídrica de los cultivos en especial café que es muy sensible al aumento ya que conlleva a daños fisiológicos en el cultivo, la ETP 2050 se puede agrupar en 4 rangos, que oscila entre 825 mm y 1200 mm respectivamente con altitudes que van de 1700 a 2300 msnm, localizándose mayor evotranspiracion entre los rangos de 1060-1120 mm y con altitudes entre 1700-1900 msnm donde existen se concentra el mayor número de sistemas productivos de café.

De acuerdo con escenarios de cambio climático generados atravez de la base de datos de WorldClim, se elaboraron escenarios futuros de precipitación pluvial (mm) 2050 y temperatura promedio anual (°C) 2050, utilizando Arcgis 9.3 como plataforma de integración atravez de la herramienta multicriterio, conociendo los valores de cada factor que cuenta con la información de las variables ambientales adecuadas para la actividad productiva del cultivo del café, se procedió a elaborar el escenario potencial de café para el año 2050.

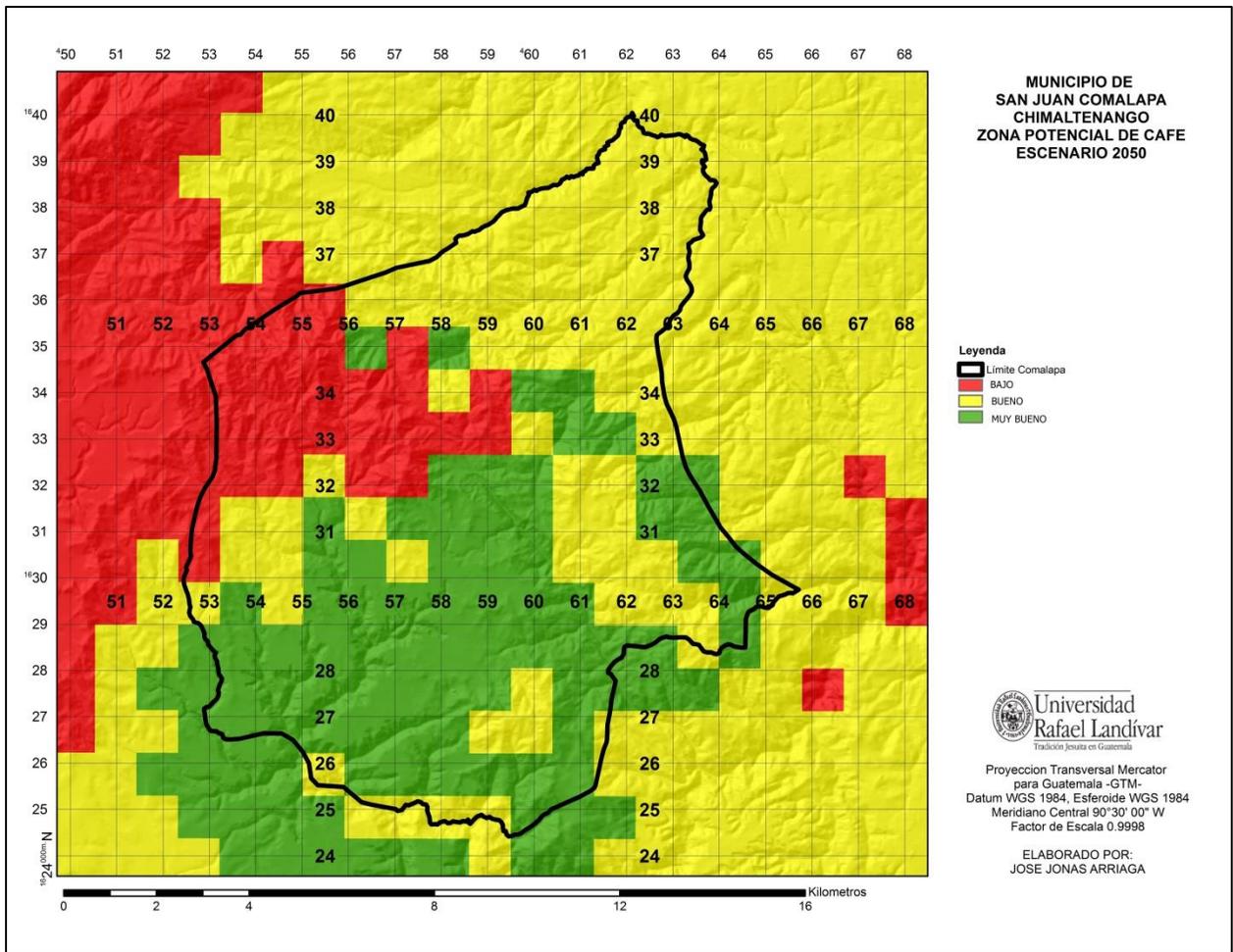


Figura 22. Mapa de zona potencial de café escenario 2050

Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de este escenario se tomaron los valores de temperatura, precipitación del escenario 2050 así mismo la altitud 1600 msnm, la zona óptima para producción de café es actualmente entre 700 y 1700 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Dados los resultados se agrupó en 3 categorías Bajo, Bueno y Muy bueno, estas categorías cumplen 1 criterio en el caso de Bajo y 2 criterios en el caso de Bueno y los 3 criterios en caso de Muy bueno, un 40% del territorio de San Juan Comalapa para el año 2050 será Bueno para los sistemas productivos de café, algo que es importante mencionar que la zona nororiente donde actualmente existen sistemas productivos de

café en ninguno de los escenarios es Muy bueno para la producción, la región sur del municipio donde en la actualidad no existe café será la zona futura de la caficultura del de territorio estudiado, las áreas protegidas y conservadas con vegetación boscosa no son recomendadas para introducir nuevas áreas para producir café, por ende es necesario alternativas para mejorar los sistemas productivos de café en las áreas con potencial para el cultivo.

6.8 Capacidad de Uso del suelo

La capacidad de uso de la tierra en el municipio de San Juan Comalapa la mayor parte de estos suelos se identifican como Agricultura sin Limitaciones según la capacidad del uso de la tierra con base en la metodología del INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB), ya que son áreas con aptitud para cultivos agrícolas sin mayores limitaciones de pendiente, profundidad, pedregosidad o drenaje, siendo este el área más extensa del municipio. Dichos suelos poseen excelentes características para la producción agrícola, son muy pocos los terrenos que cuentan con riego.

Cuadro 4. Capacidad de uso

Descripción	Area (has)	Porcentaje (%)
Agricultura sin limitaciones	5990,06	69,90
Agroforesteria con cultivos anuales	1707,60	19,92
Agroforesteria con cultivos permanentes	504,00	5,80
Tierras forestales de producción	146,42	1,70
Tierras forestales de protección	175,41	2,16
Sistemas silvopastoriles	44,89	0,52
Total	8568,38	100,00

Fuente: (Elaboración propia con base en SIG-MAGA, 2006).

También se identifica en menor cantidad de área las áreas denominadas Agroforesteria con cultivos anuales 1707.60 hectareas (19.92 %), estos poseen limitaciones de pendiente y profundidad de los suelos pero se permite los cultivos agrícolas asociados con árboles, existen diversidad de cultivos con obras de conservación de suelos en el municipio de San Juan Comalapa lo que permite mejorar las condiciones para la producción agrícola, también se localizan áreas de Agroforesteria con cultivos

permanentes 504 hectáreas (5.80 %) dichas áreas serian el uso correcto para los sistemas productivos de café, logrando así mantener, conservar el entorno pero dando lugar a áreas con sub-uso y sobre uso, también se localizan Sistemas silvopastoriles áreas muy reducidas 44.89 hectáreas (0.52 %) y en mayor área Tierras forestales de producción 146.42 hectáreas (1.70%) y Tierras forestales de protección 175.41 hectáreas (2.16 %) siendo estas la zona más boscosa del municipio, que de acuerdo al zona potencial para el cultivo de café para el escenario 2050 estas áreas se encuentran fuera de dicha ya que son las áreas con mayor pendiente y mayor altitud del municipio por lo que se deben considerar como zonas de reserva para la conservación y protección.

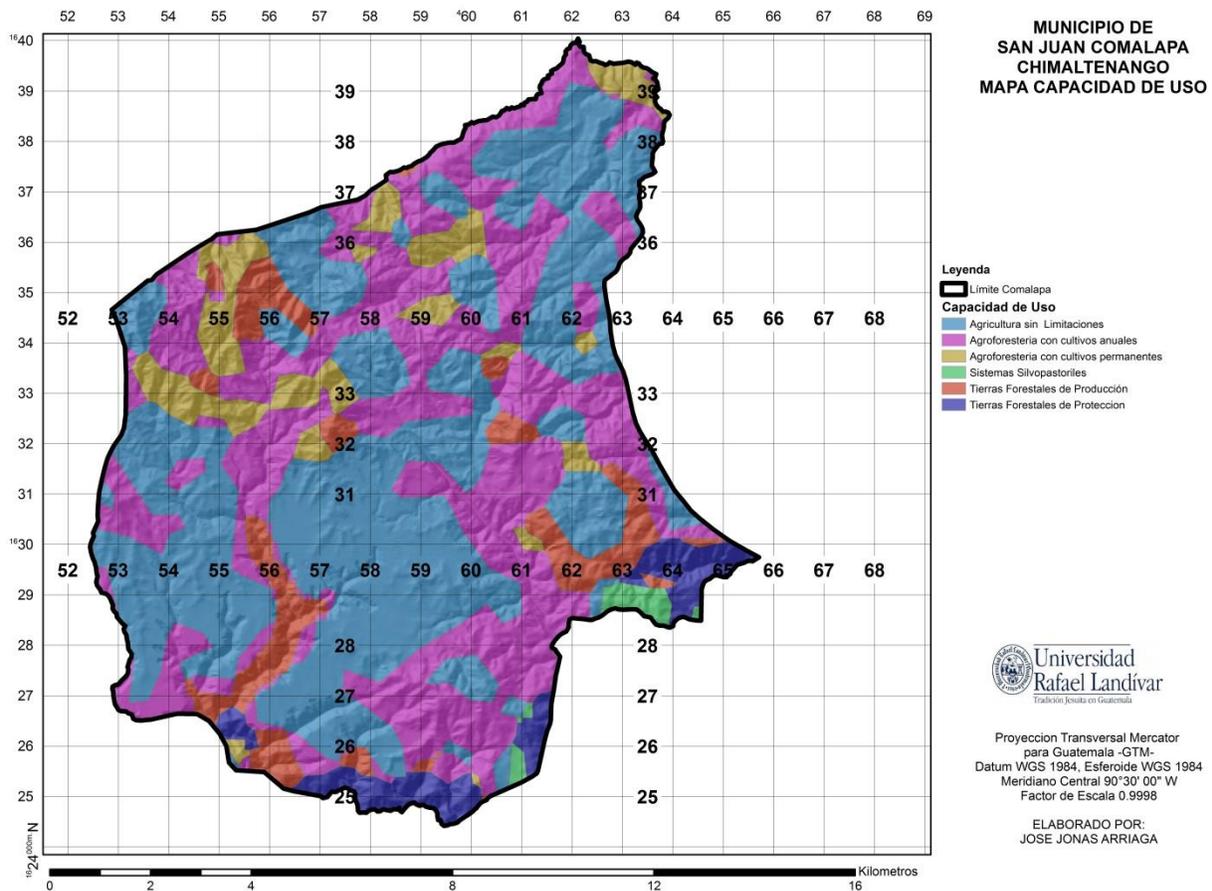


Figura 23. Mapa capacidad de Uso. Año 2006

Fuente: (Elaboración propia con base en SIG-MAGA, 2006).

6.9 Propuesta de lineamientos al cambio climático

El cambio climático es una de las amenazas de carácter global más complejas y difíciles de afrontar en la actualidad. Este fenómeno, además de la variabilidad natural del clima, es atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y es capaz de producir fuertes impactos en sistemas naturales y humanos. El Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), confirma que el calentamiento global de la superficie del planeta ha sido inducido por actividades humanas, específicamente por el aumento de la concentración de las emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia el incremento de actividades productivas y económicas, de la tendencia actual de los patrones de consumo, y el uso no sostenible de los recursos naturales, en especial de los combustibles fósiles IPCC (2007).

Es por ello que se proponen los siguientes lineamientos para el cambio climático

6.9.1 Social-ambiental

- Adaptar e incorporar el cambio climático en las políticas socio ambiental a nivel gubernamental, que a su vez se traduzcan en la sensibilización de las instituciones encargadas de la fomentación y educación de la población cafetalera nacional para tomar las medidas de mitigación necesarias para afrontar los cambios climáticos.
- Incorporar la adaptación del cambio climático como modelo de planificación, proponer medidas de adaptación al cambio climático, que a su vez conlleve a la formulación de medidas de transformación, que se convierta en herramienta educativa.

- Tramitar recursos financieros para la adaptación al cambio climático, asignar, movilizar o canalizar recursos financieros para el desarrollo de actividades relacionadas a la adaptación y mitigación al cambio climático
- Promover la responsabilidad social en temas relacionados a adaptación al cambio climático, promover el cuidado de los recursos básicos de aire, agua, suelo, biodiversidad y ambientes modificados por el ser humano para facilitar la descripción y concientización de la responsabilidad productora cafetalera.

6.9.2 Conservación y protección de los ecosistemas naturales

La conservación de los ecosistemas donde se localizan los sistemas productivos de café es necesario que las fincas reduzcan su vulnerabilidad ante tal situación es necesario prevenir con acciones que permitan evitar la degradación de la tierra, maximizando las funciones ecológicas del municipio de San Juan Comalapa, por medio de la siembra de especies vegetativas nativas o especies adaptadas promoviendo de esta manera la regeneración del entorno natural.

Ante tal situación se es necesario:

- Identificar zonas con alto potencial de erosión, he implementar obras de conservación de suelos, realizar las nuevas siembras de café en áreas con mínimo una obra de conservación de suelos.
- Reproducir las especies nativas o adaptadas para el municipio de Comalapa así como también la recuperación de los ecosistemas naturales tales como las franjas ribereñas, los nacimientos y humedales.
- Identificar zonas potenciales para algunos cultivos como manzana, ciruela, durazno, aguacate, para zonificar por sistemas productivos y asociarlos con el cultivo del café.

6.9.3 Manejo integrado del cultivo

En el municipio de San Juan Comalapa es necesario desarrollar y promover técnicas adecuadas para la producción cafetalera en las diferentes fases del cultivo, la mejora continua aplicada a todas las actividades, permite que ésta se convierta en la estrategia de producción para fortalecer la competitividad de los caficultores del municipio, permitiendo mencionar algunas técnicas a desarrollar.

- Renovación de cafetales

Existen dos formas de renovar un cafetal: mediante manejo de tejido o por sustitución de plantaciones improductivas.

Manejo de tejido: para manejar con éxito el tejido productivo del cafeto es indispensable conocer la fisiología de la planta y sus hábitos de crecimiento de acuerdo a las condiciones donde se desarrollará. Los objetivos del manejo de tejido son renovar el tejido productivo, modificar la estructura de la planta, estimular la producción con entrada de luz en zonas limitadas por el auto-sombrío y atenuar la bienalidad productiva, entre otros.

Sustitución de plantaciones: una práctica efectiva para mejorar la producción pero que requiere de un costo adicional es la eliminación y sustitución de plantaciones improductivas. Las actividades básicas son la preparación del terreno, el trazado y estaquillado, el ahoyado, la siembra, los programas de fertilización y los controles de malezas y fitosanitario, entre otras.

Densidad: la densidad de siembra ha sido motivo de discusión durante varios años, existiendo corrientes que impulsan alta densidad (5,000 o más plantas por manzana) y otras que son opuestas a ello. Sin embargo, ha sido demostrado que alta densidad de cultivo es más exigente en los programas de manejo de sombra y fertilización.

Distanciamientos de siembra: en general, para variedades de porte alto se recomiendan distancias de 2.40 X 1.20 metros, mientras que para variedades de porte bajo, 2 X 1 metro. Pueden darse algunas variaciones de estas medidas, dependiendo de los sistemas y finalidad de la producción

- Conservación de suelos

Se basa en la implementación de técnicas y estructuras que permitan mantener y mejorar las condiciones de los suelos. La ausencia de éstas, favorece la acción de los agentes erosivos, que ocasionan daños de carácter irreversible y reducen la fertilidad natural de los suelos. Por erosión se entiende al desgaste, lavado, arrastre o pérdida de un suelo por acción de las lluvias o del viento.

Las técnicas de conservación de suelos más difundidas son: siembra en contorno, barreras vivas y manejo adecuado de malezas y coberturas. Las estructuras de conservación de suelos de uso más frecuente son: acequias de ladera, terrazas y cajuelas. Cada una de estas prácticas o estructuras, requieren de una debida planificación desde el momento en que se establece el cafetal.

- Manejo de sombra

El café tiene su origen en el bosque sombrío de la selva tropical africana por lo que un ambiente sombreado es favorable al cultivo. En Guatemala se ha cultivado tradicionalmente bajo sombra fundamentado en factores eco-fisiológicos, económicos y de mercado.

Fundamentos de la sombra: el follaje del café funciona como un laboratorio que utiliza energía proveniente de la luz solar. Por ello al optimizar las condiciones lumínicas en el cafetal, se logra mejorar los rendimientos. La sombra densa tiene efectos negativos sobre la producción, mientras que el exceso de radiación solar reduce la longevidad del cafeto y dificulta la producción sostenida

Distanciamiento de Árboles de sombra y densidad de siembra: para lograr una producción sostenible debe considerarse la intensidad y cantidad de luz, la temperatura y la humedad en los cafetales, lo cual se logra mediante la regulación de la sombra y otros factores de manejo. La densidad de sombra variará de región a región e incluso de lote a lote y dependerá en gran parte, del tipo y arquitectura de los árboles, de las distancias de siembra y del manejo que se ha de dar a la cobertura arbórea mediante un sistema de podas.

Tipos de podas: para el manejo de los árboles de sombra se utilizan tres tipos de poda: la poda de formación que se realiza en árboles menores a 5 años de edad; la poda de mantenimiento o regulación, necesaria para mejorar la distribución de luz dentro del cafetal y el toconeo o poda drástica de los árboles, especialmente cuando se renovará el cafetal o manejará tejido en bloque compacto.

- Fertilización y enmiendas

Elementos nutrientes de las plantas: se debe conocer la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo, su movilidad, funciones y síntomas de deficiencia en la planta, ya que ello permite establecer la necesidad de suministrar los elementos esenciales a través de la fertilización y enmiendas.

Muestreo de suelos y foliar: Son básicos para el desarrollo de un programa de fertilización y enmiendas efectivo. Un adecuado procedimiento en la recolección de la muestra garantiza que los resultados del laboratorio sean acordes a lo que realmente existe en el suelo y en base a ello, suplir los requerimientos de la plantación.

Fertilización en las diferentes etapas del cultivo: deben establecerse programas de fertilización para cada etapa del cultivo: almácigos, plantaciones nuevas (plantías), plantaciones en producción y plantaciones bajo manejo de tejido.

Fertilizantes y enmiendas: en el mercado se dispone de diferentes tipos de fertilizantes químicos y orgánicos, que pueden ser aplicados al suelo o vía foliar. De igual manera, existe diversidad de productos que son utilizados como enmiendas o correctivos. Su uso debe estar condicionado a los resultados emitidos por el laboratorio de suelos.

Dosis, épocas y métodos de aplicación: depende de factores relacionados al suelo, a la productividad del cafetal y al clima de la región. La cantidad a aplicar también depende de la densidad de la plantación

- Manejo integrado de plagas y enfermedades

El manejo integrado de plagas y enfermedades integra los diferentes métodos de control para mantener las poblaciones de plagas y enfermedades en niveles económicamente aceptables y compatibles con la conservación del medio ambiente. La base para su implementación es el muestreo continuo, lo cual permite determinar los niveles de infestación o infección.

Entre los métodos de control que se integran dentro de un programa de manejo integrado están:

- Control biológico
- Control etológico
- Control legal
- Control cultural o de cultivo
- Control autocida
- Control químico

Plagas del café y su control: los programas de manejo deben estructurarse en base a la incidencia y daño económico. Las técnicas a utilizar dependerán de factores climáticos, nivel de infestación y recursos de la finca.

Enfermedades del café y su control: hay ciertas enfermedades que afectan en mayor proporción un área determinada. El conocimiento de los ciclos de los patógenos y su relación con las condiciones locales, permite el establecimiento de programas exitosos.

ASPECTOS COMERCIALES

Al 2020, San Juan Comalapa incrementa su áreas en un 10%, aumentando los sistemas productivos existentes y creado nuevos cafetales tomando en cuenta la propuesta de adaptación al cambio climático, mejorando considerablemente la producción que actualmente es muy baja, pero de excelente calidad, a su vez contribuye a posicionar en nichos de mercado micro lotes de Café Especial, generando un capital propio de trabajo que contribuye al mejoramiento sostenido del ingreso familiar y a la rentabilidad del rubro cafetero en la zona.

Al 2050, los sistemas productivos de café podrán incrementarse en un 40% del territorio de San Juan Comalapa, dando opción a mejorar la productividad de la región cafetalera, en la actualidad los pequeños productores cosechan café de una manera empírica que como resultado obtiene bajas cosechas, debido a la capacidad de adaptación de los sistemas productivos actuales el poco desarrollo de las variedades existentes, el mal manejo agronómico reduce la producción cafetalera, muchos productores han establecido cafetales años atrás y han logrado sus primeros ensayos 8 a 10 años después de establecerlos.

Nunca antes este municipio ha sido considerado un área con potencial en el cultivo del café, siendo esta un área viable de café especial por la buenas y diferentes características organolépticas mostradas por el perfil de taza, por lo que es necesaria la intervención de organización gubernamental y no gubernamental para el desarrollo de la caficultura en dicho municipio.

VII. CONCLUSIONES

Para el escenario de cambio climático 2020 del municipio de Comalapa la precipitación anual disminuirá 15 mm y la temperaturas anual aumentara 0.8 y 0.9 °C y continuaran aumentando progresivamente para el escenario 2050 la precipitación disminuirá en 24 mm y la temperatura aumentara en 2.1 °C.

Los sistemas productivos actualmente se localizan en la región nororiente dichas zonas que para el escenario 2020 no reúnen los 3 parámetros (altitud, precipitación, temperatura) lo cual hace que la zona sea Bueno, el cultivo de café representa el 0.23% respectivamente (20.11 ha) del municipio de San Juan Comalapa, áreas que se encuentran ubicadas principalmente en la zona nororiente del municipio, donde predominan las variables climáticas siguientes: precipitación pluvial ente 1800 y 2100 mm, temperatura menor a 17 °C, con rangos altitudes que van de 1800 y 2100 msnm el municipio de Comalapa por lo tanto se proyecta como la nueva zona cafetalera.

Partiendo del análisis de los escenarios de cambio climático se constituyó la propuesta de adaptación con lineamientos y directrices de manejo para los sistemas productivos de café, resultando tres categorías, permitiendo estrategias de adaptación que oriente y mejoren la caficultura del municipio de San Juan Comalapa. Estas tres categorías son: conservación y protección de los ecosistemas naturales, social-ambiental y el manejo integrado del cultivo.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar estrategias de concienciación y sensibilización de las instituciones encargadas de la fomentación y educación de la población cafetalera nacional para tomar las medidas de mitigación necesarias para afrontar los cambios climáticos futuros en los escenarios 2020-2050 y mejoren la caficultura del municipio de San Juan Comalapa.

Es necesario adaptar un sistema de manejo integrado del cultivo en los sistemas productivos existentes en la zona nororiente del municipio y tomar en cuenta los cambios en precipitación y temperatura para los escenarios a futuro para que los próximos sistemas productivos de café a establecer en los siguientes años puedan reducir los impactos del cambio climático, analizar la información climática de los escenarios futuros 2020 y 2050 para lograr mitigar y hacer frente al cambio climático.

Se recomienda socializar los mapas de escenarios de cambio climático con técnicos de instituciones y organizaciones relacionadas con la agricultura permitiendo que tengan una herramienta que permita analizar la información climática tomando en cuenta las condiciones necesarias para el desarrollo del cultivo y el desarrollo sostenible de la caficultura para el municipio de San Juan Comalapa.

Dicho estudio cuenta con lineamientos técnicos para el establecimiento de sistemas productivos, poder dar un plan de manejo del cafeto es necesario la realización de otros estudios.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Alianza por la Resiliencia Guatemala (2014), Módulo de Apoyo Metodológico de Adaptación al Cambio Climático, Cruz Roja Guatemalteca, CARE Guatemala, Asociación Vivamos Mejor, Cordaid, Cáritas Diócesis de Zacapa, Centro del Clima de la Cruz Roja y Media Luna Roja, Wetlands International, 37p.

Allen G, R., L. Santos P., D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 298 p.ç

Altamirano, (2012). Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica L.*) en Honduras. Tesis *Magister Scientiae* en Agroforestería Tropical. Turrialba, Costa Rica

Altieri, M.A.1999. Diseñando agroecosistemas sustentables. In Altieri, M.A (ed). Agroecología: Bases científica para una agricultura sustentable. Montevideo, UY. Nordan-Comunidad. p. 87-101.

Alpizar, L.; Fassbender, H W.; Heuveldop, J. 1983. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento Central del CATIE, Turrialba,1. Determinación de biomasa y acumulación de reservas nutritivas (N, P, K, Ca, Mg). Turrialba, Costa Rica. 28p.

Asociación Nacional del Café (ANACAFE), EFICO Foundation, Rainforest Alliance (2012), Manual de Implementación del Módulo Clima, basado en el Módulo clima de la red de agricultura sostenible.

Brigido M. J. G. Tesis Maestría ALTERACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO ATRIBUIBLE AL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE CAFÉ EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO, 2014.

Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT), Escenarios del Impacto del Clima Futuro en Áreas del Cultivo de Café en Guatemala. Informe Final, Cali, Colombia y Managua Nicaragua: Marzo, 2012.

Centro Interamericano de Agricultura tropical. 2012. Predecir el impacto del cambio climático sobre las áreas de cultivo de cacao en Nicaragua. Managua, Nicaragua.

Cifuentes Jara, Miguel. ABC del cambio climático en Mesoamérica / Miguel Cifuentes Jara.-1era ed.-Turrialba, C.R) : CATIE, 2010, 71 P : OL. – (Serie técnica, Informe técnico / CATIE; no.383)

Instituto de Café de Costa Rica, Centro de Investigación en café, CICAFFE, 2011. Guía técnica para el cultivo del café. Costa Rica

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2010. Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación. Memoria del seminario internacional realizado en Santiago, 10 y 11 de noviembre de 2010.

Franco R, G. M. 2015. ELABORACION DE UN SISTEMA DE CLASIFICACION CLIMATICA PARA GUATEMALA. Guatemala, 17-44 p.

Gómez, L .D. 1996. Vegetación de Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. 385 p.

GOMEZ A., A.; RIVERA P., J.H. 1993. La conservación de suelos y la sostenibilidad de la productividad en la zona cafetera. Chinchiná (Colombia), CENICAFE 1993. 4 p. (Avances técnicos CENICAFE N° 190).

Fichersworrning H, B.; RoBKamp R, R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica- 3ed. Lima, PE. Editorial López.153p. Fournier, LA. 1988. El cultivo de cafeto (Coffea

arabica L) al sol o la sombra: Un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense* 12 (1):131-146.

Icafé (Instituto del café de Costa Rica). 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. San José, Costa Rica: 193p.

IPCC. 2012 *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press. 582 pp.

JARAMILLO R., A. Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. *Cenicafé* 57(4):288-298.2006.

Läderach, P.; Hagggar, J.; Lau, C.; Eitzinger, A.; Ovalle, O.; Baca, M.; Jarvis, A.; Lundy, M. 2011. *Café mesoamericano: Desarrollo de una estrategia de adaptación al cambio climático*. CIAT Políticas en Síntesis no. 2. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.

MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2006. Orthofotos, "Proyecto obtención de imágenes digitales a escala de detalle de la República de Guatemala". Guatemala, GT, MAGA.

Manejo integrado de arvenses con criterios de sostenibilidad de los Recursos Suelo y Agua. XI Congreso Venezolano de Malezas. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal 02-05 de Noviembre de 2004.

Magaña R. V. O. 2010. *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. Publ. Centro de ciencias de la atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México

Magaña R. V. O. 2004. El cambio climático global: Comprender el problema. En: Cambio climático: Una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.

MARN-URL/IARNA-PNUMA. 2009. Informe Ambiental del Estado - GEO Guatemala 2009. Guatemala. 286 pp.