



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Tema:

**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL CULTIVO DE
CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA PROVINCIA DE LOJA BAJO
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**

PROYECTO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del Título de
MÁSTER EN CAMBIO CLIMÁTICO**

Presentado por:

LEONARDO A. JARAMILLO SÁNCHEZ

Dirigido por:

TUTOR: M. Sc. TERESA VERA S.M.

COTUTOR: M. Sc. EDWIN JIMÉNEZ

GUAYAQUIL-ECUADOR

2021

DEDICATORIA

A Dios, y a mi Familia.

Con cariño

AGRADECIMIENTO

A mis maestros, tutores y colaboradores que contribuyeron al desarrollo de este proyecto de grado.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Leonardo Alexander Jaramillo Sánchez* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Leonardo A. Jaramillo Sánchez

COMITÉ EVALUADOR

Ph.D. MARÍA DEL PILAR CORNEJO RODRÍGUEZ
DELEGADA DEL DECANATO DE FIMCM

M. Sc. TERESA JACQUELINE VERA SAN MARTÍN.
TUTORA

M. Sc. EDWIN ROLANDO JIMÉNEZ RUIZ
COTUTOR

Ph.D. MIGUEL QUILAMBAQUI JARA
EVALUADOR DEL DECANATO DE LA FACULTAD

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja bajo escenarios de cambio climático, mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y considerando los requerimientos agroecológicos óptimos para el cultivo de la especie: geomorfológico (pendiente y altitud), geopedológico (textura, profundidad, pedregosidad, drenaje MO, pH, toxicidad) y climático (precipitación y temperatura). Los escenarios climáticos se los obtuvo del estudio de proyecciones climáticas para el Ecuador, generado en el 2016 para el reporte de la Tercera Comunicación Nacional (TNC). Los escenarios utilizados corresponden a: i) Escenario base que comprende la precipitación y temperatura media anual del periodo 1981-2010; y ii) Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) 4.5 y 8.5 que corresponden a la precipitación y temperatura media anual para una proyección climática 2011-2040.

Efectuando la sobreposición de capas entre de las variables del factor geomorfológico, geopedológico y las del factor climático del escenario base (1981-2010), se verifica que el 27 % del área total de la provincia presenta Zonas con Aptitud Agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.); sin embargo, considerando las variables del factor climático del RCP 4.5 y 8.5 a su proyección 2011-2040, se obtuvo que las ZAA representan el 23,41 % y 23,22 % del área total provincial respectivamente.

Los resultados del estudio evidencian que el cambio climático causará afectaciones a la distribución espacial de las ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) Comparando las ZAA obtenidas en el escenario base con las del RCP 4.5 se evidencio que dejan de presentar aptitud para el cultivo de la especie 49.375,80 Ha, mientras que, haciendo la comparación entre las ZAA del mismo escenario base con las definidas el RCP 8.5 se reducen 51.865,72 Ha. Se presentaron nuevas ZAA para los RCP 4.5 y 8.5 que no estuvieron en las obtenidas en el escenario base.

Palabras claves: zonificación agroecológica, aptitud agroecológica, escenario climáticos, proyecciones climáticas, *Coffea arabica*.

ABSTRACT

The principal goal of this research was to determine the Agroecological Aptitude Zones (AAZ) for the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.) in the province of Loja under climate change scenarios, through the application of Geographic Information Systems (GIS) and considering the optimal agroecological requirements for the cultivation of the species: geomorphological (slope and altitude), geopedological (texture, depth, stoniness, MO drainage, pH, toxicity) and climatic (precipitation and temperature). The climate scenarios were obtained from the study of climate projections for Ecuador, generated in 2016 for the report of the Third National Communication (TNC). The scenarios used for this study are: i) Base scenario that includes precipitation and temperature annual average for the period 1981-2010; and ii) Representative Concentration Trajectories (RCP) 4.5 and 8.5 that correspond to precipitation and temperature mean annual for a climate projection 2011-2040.

By superimposing layers between the variables of the geomorphological and geopedological factor and those of the climatic factor of the base scenario (1981-2010), it is verified that 27% of the total area of the province has Agroecological Aptitude Zones for the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.); However, considering the variables of the climatic factor of RCP 4.5 and 8.5 in its 2011-2040 projection, it was obtained that the AAZ represent 23.41% and 23.22% of the total provincial area respectively.

The results of the study show that climate change will affect the spatial distribution of the AAZ for the coffee's cultivation (*Coffea arabica* L.). Comparing the AAZ obtained in the base scenario with those of RCP 4.5, it was evidenced that 49,375.80 Ha no longer present aptitude for the cultivation of the species, while, making the comparison between the AAZ of the same base scenario with those defined in RCP 8.5 a total that 51,865.72 Ha are reduced. New AAZ were determined for RCP 4.5 and 8.5 that were not present in the baseline scenario.

Keywords: agroecological zoning, agroecological aptitude, climate scenario, climate projections, *Coffea arabica*.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	7
3. MARCO TEÓRICO.....	10
3.1. El Cambio Climático y la Agricultura.....	10
3.2. Variabilidad Climática en Ecuador y su Afectación en la Agricultura	12
3.3. Escenarios Climáticos	14
3.3.1. Escenarios Climáticos para Ecuador	18
3.4. Zonificación Agroecológica.....	21
3.5. Aplicaciones de los SIG en la zonificación agroecológica	22
3.6. Requerimientos Agroecológicos del Café (<i>Coffea arabica</i> L.)	24
CAPITULO II.....	29
4. METODOLOGÍA	29
4.1. Zona de Estudio	29
4.2. Metodología para la Definición de los Requerimientos Agroecológicos para el cultivo del Café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	30
4.3. Metodología para Establecer las Zonas con Aptitud Agroecológica para el Cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	30
4.3.1. Recopilación de información cartográfica	30
4.3.2. Obtención de los datos climáticos de precipitación y temperatura del escenario base (1981-2010) y del RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040)	31
4.3.3. Recorte de la información cartográfica y de las capas de precipitación y temperatura, con base a los límites de la zona de estudio	32
4.3.4. Determinación y especialización de los requerimientos agroecológicos mediante el lenguaje de consulta SQL de ArcGIS	33
4.3.5. Sobreposición de capas especializadas	35
4.3.6. Elaboración del mapa de zonificación agroecológica para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) a escala 1:25.000	38
4.4. Metodología para comparar la distribución espacial de Zonas con Aptitud Agroecológica definidas para el Escenario base (1981 – 2010) con las Zonas con Aptitud Agroecológica estimadas para los RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040)	38

4.4.1. Obtención de zonas que siguen presentando aptitud agroecológica entre escenarios	38
4.4.2. Obtención de zonas que dejaron de mantener aptitud agroecológica entre escenarios	38
4.4.3. Obtención de las nuevas zonas con aptitud agroecológica entre escenarios	39
4.5. Metodología para la identificación del Uso Actual del Suelo en las áreas definidas como ZAA para cultivo de Café (<i>Coffea arabica</i> L.) para el Escenario Base	39
CAPITULO III.....	29
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5.1. Requerimiento Agroecológico del Café (<i>Coffea arabica</i> L.)	29
5.2. Zonas con Aptitud Geomorfológica, Geopedológica y Climática para el Cultivo del Café (<i>Coffea arabica</i> L.)	42
5.2.1. Zonas con Aptitud Geomorfológica (ZAGm).....	42
5.2.2. Zonas con Aptitud Geopedológica (ZAGp).....	43
5.2.3. Zonas con Aptitud Climática (ZAC)	45
5.3. Distribución Espacial de las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el Cultivo de Café (<i>Coffea arabica</i> L.) por Escenario Climático.....	50
5.3.1. Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) respecto al escenario base.....	50
5.3.2. Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) respecto al RCP 4.5 (2011-2040)	52
5.3.3. Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) respecto al RCP 8.5 (2011-2040)	54
5.4. Identificación del Uso Actual del Suelo en las ZAA para Cultivo de Café (<i>Coffea arabica</i> L.) Bajo el Escenario Base.	61
CAPITULO IV	65
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1. Conclusiones.....	65
6.2. Recomendaciones	67
CAPITULO V	68
7. BIBLIOGRAFÍA	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forzamiento radiactivo para los RCP y ECP (trayectorias de concentración extendida).	16
Figura 2. Cambio en la temperatura media en superficie (a) y cambio en la precipitación media (b) sobre la base de las proyecciones de la media multimodelos para 2081-2100 en relación con 1986-2005 bajo los escenarios RCP2.6 (izquierda) y RCP8.5 (derecha).	17
Figura 3. Precipitación y temperatura media anual de la provincia de Loja bajo el periodo histórico 1981-2010, RCP 4.5 y 8.5. Fuente: MAAE (2019)	21
Figura 4. Recorte de la información cartográfica	33
Figura 5. Superposición de capas para definir las zonas con aptitud agroecológica para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al escenario base.	36
Figura 6. Superposición de capas para definir las zonas con aptitud agroecológica para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al RCP 4.5	37
Figura 7. Superposición de capas para definir las zonas con aptitud agroecológica para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al RCP 8.5	37
Figura 8. Mapa de ZAGm para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la provincia de Loja	42
Figura 9. Mapa de ZAGp para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la provincia de Loja.	44
Figura 10. Mapa de ZAC para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la provincia de Loja.	49
Figura 11. Mapa de ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al escenario base (1981-2010)	50
Figura 12. Mapa de las ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al RCP 4.5 (2011-2040)	53
Figura 13. Mapa de ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al RCP 8.5 (2011-2040).....	55
Figura 14. Mapa de uso actual del suelo en las ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la provincia de Loja respecto al escenario base.	62
Figura 16. Mapa de áreas sembradas con café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la provincia de Loja para 2019.	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de vías de concentración respectiva	15
Cuadro 2. Matriz para sistematizar los requerimientos agroecológicos para el cultivo del café (<i>Coffea arabica</i> L.)	30
Cuadro 3. Cartografías utilizadas para la zonificación agroecológica del cultivo del café (<i>Coffea arabica</i> L.)	31
Cuadro 4. Lenguaje SQL para definir y espacializar los requerimientos agroecológicos del café (<i>Coffea arabica</i> L.) en las variables analizadas	34
Cuadro 5. Requerimientos agroecológicos para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	41
Cuadro 6. Detalle de las ZAGm para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la provincia de Loja.....	43
Cuadro 7. Detalle de las ZAGp para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la provincia de Loja.....	44
Cuadro 8. Detalle de las ZAC para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) considerando la precipitación y temperatura del escenario base	46
Cuadro 9. Detalle de las ZAC para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) considerando la precipitación y temperatura del el RCP 4.5	47
Cuadro 10. Detalle de las ZAC para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) considerando la precipitación y temperatura del RCP 8.5.....	48
Cuadro 11. Detalle de las ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al escenario base (1981-2010)	51
Cuadro 12. Detalle de las ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al RCP 4.5 (2011-2040)	54
Cuadro 13. Detalle de las ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) respecto al RCP 8.5 (2011-2010).	55
Cuadro 14. Detalle de la cobertura y uso de suelo existente en las ZAA para el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) para el escenario base	63

ABREVIATURAS

AA	Aptitud Agroecológica
CONALI	Comité Nacional de Límites Internos
ENSO	El Niño-Oscilación del Sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MAAE	Ministerio del Ambiente y Agua
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
RCP	Trayectorias de concentración representativas
TNC	Tercera Comunicación Nacional
ZAA	Zonas con Aptitud Agroecológica
ZAC	Zonas con Aptitud Climática
ZAGm	Zonas con Aptitud Geomorfológica
ZAGp	Zonas con Aptitud Geopedológica

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador se ha caracterizado por poseer una base productiva sustentada en el aprovechamiento de recursos primarios, destacándose entre ellos los de origen agropecuario (Viteri & Tapia, 2018). Históricamente, el sector agropecuario ha sido uno de los principales motores de la economía ecuatoriana (Naranjo, 2016; Viteri & Tapia, 2018; ESPAC, 2020), asentándose sobre él un complejo espacio de relaciones ambientales y sociales que contribuyen al progreso local y nacional (Carrera et al., 2017; Viteri & Tapia, 2018). Por ello, desde siempre ha estado en la mira de los formuladores de políticas públicas, quienes han tratado de defender y mejorar, desde sus capacidades, las condiciones sociales, económicas y ambientales de los actores que integran este importante grupo de trabajo (Carrera et al., 2017; Egas et al., 2018).

El sector agropecuario destaca en el país por las siguientes razones: (i) en el último decenio mantuvo una participación del 7 al 10% en el Producto Interno Bruto (PIB); (ii) en el 2018 fue el segundo generador de divisas para sostener la economía nacional, aportando con el 23,8% de las exportaciones; (iii) actualmente abarca el 29,4% de la población con empleo a nivel nacional; (iv) ocupa el 62% de la Población Económicamente Activa (PEA) rural; y, (v) desempeña un papel estratégico para la seguridad alimentaria, en este sector se produce el 95% de los alimentos que se consumen internamente (Naranjo, 2016; Egas et al., 2018; ESPAC, 2020).

A pesar de su importancia social y económica en el país, el sector agropecuario mantiene dos amenazas latentes que están afectando seriamente su dinamismo: (i) el cambio climático, relacionado principalmente con los cambios en la precipitación y temperatura; y, (ii) la degradación de los suelos relacionada con factores no climáticos, como la forma de producción o el manejo de la tierra (Rojas & Ibarra, 2003; Toulkeridis et al., 2020).

La comunidad internacional reconoce que el cambio climático es uno de los retos más importantes para el desarrollo y la sostenibilidad del siglo XXI (Mendizábal, 2015). Las diferentes eventualidades climáticas que se han dado a nivel mundial confirman que el fenómeno está ocasionando grandes pérdidas económicas en todos los sistemas sociales de una nación, principalmente en los que su economía se basa en la producción agropecuaria (Alteri & Nicholls, 2008; Balvanera, 2017). Los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación y la temperatura se verán severamente afectados, impactando drásticamente a los niveles de producción agrícola y pecuaria (Riera & Pereira, 2012; López & Hernández, 2016). Ecuador no está exento de esta problemática, a pesar de que los registros meteorológicos presentan vacíos importantes de datos que dificultan determinar con precisión las tendencias climáticas en todas las regiones del país (Cadilhac et al., 2017), se espera que en un futuro cercano existan cambios en la precipitación y temperatura y una mayor ocurrencia de eventos climáticos extremos, como el caso de sequías prolongadas o lluvias extremas, lo que conllevará a la disminución de la productividad agropecuaria (Elbehri, 2015; Naranjo, 2016). Según Egas (2018), el Ecuador podría alcanzar pérdidas económicas de 5,6 billones de dólares por eventos asociados con el cambio climático.

Los impactos del cambio climático se acentúan también por su interacción con otros factores no climáticos como los procesos de deforestación y expansión ineficiente de la frontera agrícola. En Ecuador, el nivel de degradación de la tierra y su influencia en el cambio climático está asociado justamente a las diversas formas de uso del suelo (Segarra, 2014). La población que permanece en los campos desde hace décadas ha establecido procesos insostenibles de producción, causando una serie de efectos negativos relacionados a la reducción en la calidad y disponibilidad de recursos naturales como el agua, suelo, vegetación y biodiversidad (Rojas & Ibarra, 2003; López & Hernández, 2016).

Bajo el contexto antes expuesto, es interesante notar que el sector agropecuario de la provincia de Loja no dista mucho de la importancia y problemática descrita. El PDOT

provincial (2015) menciona que el sector agropecuario concentra el 30,2 % de la PEA en actividades productivas, principalmente relacionadas con la ganadería, siembra de maíz y café. En esta provincia, desde hace décadas es visible que la amenaza climática de mayor impacto en el territorio es la sequía que, conjuntamente con la degradación de los suelos (asociada al establecimiento de sistemas de producción extensivos como la ganadería vacuna y de monocultivos como el maíz), han causado la reducción de la capacidad productiva de las tierras y la pérdida de zonas de importancia ecológica, tema preocupante ya que estas proporcionan a la población alimento y agua para el consumo humano y para la producción agropecuaria (MAAE, 2019).

Considerando lo mencionado, en la provincia de Loja se han establecido varias iniciativas locales de producción sostenible que contribuyan a la recuperación de ecosistemas alterados y frenen los procesos degradativos de la tierra. Por ello, estrategias como la implementación del cultivo del café (*Coffea arabica* L.) permanecen activas como respuesta al gran potencial que tiene la especie para establecer iniciativas de producción sostenibles (Aguirre et al., 2018). Loja ocupa el segundo lugar a nivel nacional (después de Manabí) con mayor superficie sembrada, posee un área de 29.552 Ha representando el 4,01 % del total de la superficie provincial; la producción anual de café bordea 180.320 qq lo que representa 13,5 % del total nacional (COFENAC, 2013; Vanegas et al., 2018)

En Loja al igual que el resto del país, el cultivo de esta especie tiene importancia económica, social y ambiental. En lo económico, constituye una fuente de ingresos para los actores de las cadenas del café; en lo social, involucra muchas etnias y pueblos; y, desde el punto de vista ambiental, se cultiva principalmente en sistemas agroforestales que favorecen a la conservación de recursos como el suelo y el agua (Duicela, 2016).

El café (*Coffea arabica* L.) de la provincia ha destacado en reiteradas ocasiones como uno de los mejores a nivel nacional e internacional, haciendo de él un producto muy apetecible por inversionistas locales y extranjeros (Rojas, 2019). Sin embargo, la producción de esta especie no ha sido del todo rentable en los últimos años. La baja rentabilidad se atribuye a la prevalencia de cafetales viejos, manejo inadecuado del

cultivo (falta de tecnologías), establecimiento de plantaciones en áreas no adecuadas para su producción, y, a las variaciones de precipitación y temperatura producto del cambio climático (COFENAC, 2013; Blanco & Aguilar, 2015).

Con relación a las dos últimas causas, en la provincia de Loja es de vital importancia para la planificación territorial, la incorporación de análisis relacionados a la zonificación agroecológica del cultivo del café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes escenarios climáticos con el fin de determinar áreas con mayor aptitud para su producción. La zonificación agroecológica de cultivos ha desempeñado un papel importante en la delimitación de áreas de mayor potencial de producción, considerando los parámetros agroecológicos y climáticos existentes en dicha área y los requeridos por el cultivo para obtener rangos óptimos de producción (Soto et al., 2001; González & Hernández, 2016).

El clima desde siempre ha sido un reto para aquellas personas cuyos medios de vida dependen de él, de tal manera que generar procesos adaptativos frente a escenarios de cambio climático es necesario para el desarrollo social de una población (López & Paz, 2007; Hellmuth, 2009). La zonificación agroecológica del café (*Coffea arabica* L.) también puede contribuir a la generación de procesos adaptativos para su producción bajo un contexto de cambio climático que garantice el desarrollo socio productivo de la población lojana. Adaptarse no solo implica modificar el comportamiento de las personas, los medios de vida o la infraestructura, consiste también en generar información técnica confiable que favorezca a la definición de estrategias de adaptación enfocadas a contrarrestar los impactos del cambio climático en el sector agrícola (BMU/GIZ, 2013).

La presente investigación permitirá desarrollar capacidades adaptativas a los tomadores de decisiones y a los agricultores de la provincia de Loja, para contribuir a la reducción de la vulnerabilidad del sector cafetalero ante los impactos negativos del cambio climático. Se generó un documento técnico con una perspectiva de ordenamiento territorial y de gestión del suelo rural actual y futuro de la provincia, con el cual se

podrá plantear planes y proyectos dirigidos al establecimiento del cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en áreas con alto potencial para su cultivo.

Para la presente zonificación agroecológica se consideró los requerimientos agroecológicos óptimos para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.); así como también datos de la precipitación y temperatura media anual de los escenarios climáticos establecidos para el Ecuador, información que fue generada en el 2016 por la Subsecretaría de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente y Agua (MAAE) en función a los lineamientos del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). Los escenarios utilizados corresponden a: i) Escenario base que comprende la precipitación y temperatura media anual del periodo 1981-2010; y ii) Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) 4.5 y 8.5 que corresponden a la precipitación y temperatura media anual para una proyección climática 2011-2040.

La investigación contribuirá a determinar espacialmente (mediante el uso de herramientas de información geográfica) las zonas que mantienen aptitud agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) de acuerdo con el escenario base (1981-2010), y a la estimación de dicha aptitud de acuerdo con los escenarios RCP 4.5 y 8.5 a una proyección climática 2011-2040.

Para dar cumplimiento al tema principal de la investigación se han establecido los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar la Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja, mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y considerando los escenarios (base y proyecciones futuras) de cambio climático establecidos para Ecuador.

Objetivos específicos

1. Definir, a través de revisión bibliográfica, los requerimientos agroecológicos para el desarrollo óptimo del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja.
2. Establecer mediante SIG, las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja, considerando los requerimientos agroecológicos de la especie, y correlacionando las variables de precipitación y temperatura media anual del escenario base (1981-2010) y los RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040).
3. Comparar a través de los SIG, las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) definidas en el escenario base con las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) estimadas en los RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040) a fin de identificar el impacto del cambio climático en la distribución espacial de las zonas aptas para el cultivo de la especie.
4. Determinar a través de los SIG el uso actual del suelo de la provincia de Loja para identificar la cobertura vegetal existente en las áreas establecidas como Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.).

2. ANTECEDENTES

Los estudios de zonificación agroecológica de cultivos han desempeñado un papel importante en la delimitación de áreas en las cuales es posible definir qué cultivos poseen mayor potencial de producción, considerando los parámetros agroecológicos existentes en dicha área y los requeridos por el cultivo para obtener rangos óptimos de producción (Soto et al., 2001a; González & Hernández, 2016). Las investigaciones más avanzadas al respecto han incorporado bases de datos enlazados a sistemas de información geográfica (SIG) con múltiples aplicaciones en el manejo de los recursos naturales y planificación del uso de la tierra (Díaz et al., 2010)

Conforme se desarrollan estudios en el campo ambiental y productivo, así como también avances tecnológicos en la implementación de los SIG, se incorporan diversas variables para definir con precisión y a escalas mayores las áreas donde existe técnicamente gran certeza para establecer un cultivo. Cada estudio tiene sus particularidades, caracterizados entre otros aspectos, por la disponibilidad de información ambiental del área y el conocimiento de los requerimientos agroecológicos de las especies (Pérez & Geissert, 2006).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) en 1978 desarrolló el proyecto Zonas Agroecológicas (ZAE) como primer ejercicio en la aplicación de la evaluación de tierras a una escala continental. La metodología usada fue innovadora para caracterizar extensiones de tierra por medio de información cuantificada de clima, suelos y otros factores físicos que se utilizan para predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo con sus necesidades específicas de entorno y manejo. La metodología desarrollada por FAO implicó ya la utilización de los SIG para la combinación de capas de información espacial, lo cual fue de gran ayuda para la espacialización de las zonas con mayor potencial para el establecimiento de cada cultivo (FAO, 1997; González & Hernández, 2016).

Con relación a los trabajos desarrollados de zonificación agroecológica del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la región, se presentan varios autores como Ortolani (1968),

Rojas (1987), Soto et al. (2001a), Soto et al. (2001b), Alpízar (2014), Cartago (2014), MAGAP (2014b), González y Hernández (2016), Ochoa et al. (2017), Caza (2018), entre otros, quienes han mantenido como principal objetivo de su estudio la selección y espacialización de áreas con mayor potencial para establecer el cultivo esta especie.

En las investigaciones descritas, parte fundamental para lograr su objetivo de trabajo es la selección de los requerimientos agroecológicos donde mejor se desarrolla la especie, tales como: relieve (altitud sobre el nivel del mar y la pendiente), clima (precipitación y temperatura) y la edafología (tipos de suelos), que mediante los SIG son puestos en un contexto territorial para la toma de decisiones. De acuerdo con los estudios mencionados los requerimientos agroecológicos óptimos para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) se enmarcan en: niveles hipsométricos (altitudes) entre 600 y 2000 msnm, pendientes menores de 26°, precipitaciones medias anuales entre 1000 y 1800 mm, temperaturas entre 16 a 22 °C y las unidades de suelos acrisoles con textura media y profundidad mayor a 100 cm.

Los estudios de zonificación agroecológica para el cultivo de café han permitido proponer acciones de acuerdo a cada potencial identificado. Por ejemplo, en las áreas que no se obtiene un potencial agroecológico para el café se recomienda sean las primeras áreas que cedan lugar a cultivos más apropiados al medio agroecológico; sin embargo, en las áreas potenciales para el cultivo de esta especie se destaca iniciativas de producción sostenible para aumentar la productividad del área cultivada (Rojas, 1987). Bajo este contexto, la zonificación agroecológica se convierte en una herramienta técnica que proporciona insumos para la evaluación y planificación de los recursos de la tierra (Díaz et al., 2010; González & Hernández, 2016)

Referente a la zonificación agroecológica de cultivos para el Ecuador, entidades gubernamentales, academia y organizaciones privadas reportan varias propuestas a escala 1:250.000. Entre los estudios efectuados se destaca la Zonificación Agroecológica de palma aceitera (MAGAP, 2014a); cacao (MAGAP, 2014b); café (MAGAP, 2014c), arroz, maíz duro, caña de azúcar (Lasso et al., 2010); papa (Díaz, et al., 2010); brócoli, cebolla blanca, cebada y pasto (Lucero, 2013); y, maracuyá, café y

cacao (Caza, 2018). Estos estudios inicialmente partieron de la definición de los requerimientos agroecológicos (altitud, pendiente, precipitación, temperatura, suelos) para el óptimo crecimiento de la especie, para luego, y mediante los SIG, espacializar dichos requerimientos en la información cartográfica disponible a nivel nacional.

En cuanto a zonificación agroecológica incorporando escenarios de cambio climático, se puede mencionar que el estudio más cercano a ello es el elaborado por Valdés (2016) el cual se enfocó en la zonificación del cultivo de café bajo sombra en la Isla Santa Isabel, Galápagos. Para determinar las zonas aptas para la producción de la especie, reunió información de los factores ambientales que favorecen el cultivo del café: suelo, clima y elevación, y adicional a esto realizó una predicción actual y futura de la aptitud del café usando el modelo Ecocrop. Los datos climáticos para el modelo actual los obtuvo de la base de datos del Worldclim y los datos climáticos futuros para el año 2050 del Climate Change Agricultura and Food Security del modelo CSTRO Mk3.5 de acuerdo con el escenario de cambio climático AIB1. Haciendo relación a lo descrito, en Ecuador no ha existido un estudio de zonificación agroecológica incorporando los escenarios climáticos establecidos para el país.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. El Cambio Climático y la Agricultura

En la actualidad existen dos fenómenos que tienen consecuencias en cualquier problemática social, ambiental y económica que se analice, dos de los más importantes hoy en día son la globalización y el cambio climático. Con referencia al segundo, podemos mencionar que la comunidad internacional reconoce que el fenómeno climático dejó de ser un término futurista para convertirse en una realidad que afecta al entorno en el que se desarrolla el ser humano, debido a las consecuencias que provoca en los sistemas naturales y sociales (Mendizábal, 2015).

De acuerdo con el IPCC, la intensa transformación del hombre sobre el sistema natural ha incrementado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, provocando un aumento de la temperatura de la Tierra en los últimos 100 años (IPCC, 2001; IPCC, 2007). Debido a estos cambios, se han documentado efectos sobre los sistemas naturales que no se explican con la variabilidad natural, sino que se relacionan con el cambio climático (Burroughs, 2001; IPCC, 2007).

Las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) han alcanzado niveles que no se habían presentado en la tierra en por lo menos 800 000 años; la evidencia apunta a que las tasas aceleradas a las que dichos gases han crecido desde 1750 se deben principalmente a la actividad humana. Esto ha derivado en un aumento de la temperatura promedio de la tierra de 0,85°C en el periodo 1880-2012 (Stocker et al., 2013).

En los últimos años, los episodios climáticos extremos han aumentado considerablemente tanto en intensidad como en frecuencia de ocurrencia (Pérez, 2012), y a nivel mundial estos episodios extremos han generado pérdidas en los sistemas económicos y productivos de todos los países (Ortiz, 2012), especialmente los que están en vías de desarrollo (Parry et al., 2001). Esto confirma sin lugar a duda que el cambio climático tendrá severas consecuencias en los sistemas alimentarios, debido al

incremento de los riesgos sociales y naturales que este genera (López & Paz, 2007; Mendizábal, 2015).

El incremento en la concentración de GEI es tal, que parecen inevitables los cambios en el clima, los cuales forzarán al sector agrícola a tomar medidas para mitigar los efectos negativos de este fenómeno (López & Hernández, 2016). El clima es uno de los principales determinantes de la productividad agrícola (Adams et al., 1998), por ello a nivel global en términos económicos se predice que el sector de la agricultura será probablemente el más afectado por el cambio climático (Günther et al., 2005).

Los impactos asociados de las altas temperaturas, los patrones alterados de precipitación y posiblemente una mayor frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones, probablemente se combinarán para reducir los rendimientos y aumentar los riesgos de producción en muchas regiones del mundo (IPCC, 2001). Ha surgido un consenso de que los países en desarrollo son más vulnerables al cambio climático que los países desarrollados, debido al predominio de la agricultura en sus economías, la escasez de capital para las medidas de adaptación, sus climas más cálidos y su mayor exposición a eventos extremos (Parry et al., 2001).

La agricultura tropical y subtropical en los países en desarrollo es más sensible al clima. Si los escenarios climáticos resultan ser relativamente calurosos y secos, causarán mucho daño a las zonas productivas en países de baja latitud (Argentina, Brasil, Chile, Perú, Paraguay, Uruguay, Ecuador, Bolivia). Sin embargo, si los escenarios climáticos resultan ser relativamente poco calurosos y secos y más bien húmedos, solo habrá daños modestos y tal vez incluso efectos beneficiosos. La magnitud del daño depende en gran medida del escenario climático (Mendelsohn, 2009).

En muchos países, la población rural más pobre vive en áreas expuestas y marginales, y en condiciones que los hacen muy vulnerables a los impactos negativos del cambio climático. Para estas personas, aun los menores cambios en el clima pueden tener un impacto desastroso en sus vidas y medios de sustento (Alteri & Nicholls, 2008). Las consecuencias pueden ser muy profundas para los agricultores de subsistencia

ubicados en ambientes frágiles, donde se esperan grandes cambios en su productividad, pues estos agricultores dependen de cultivos que potencialmente serán muy afectados (Alteri & Nicholls, 2008).

El cambio climático representa amenazas e impactos para la seguridad alimentaria (Günther et al., 2005). Con la utilización de modelos de cambio climático establecidos en el Quinto Informe del IPCC, se ha pronosticado la reducción de la producción en los cultivos, por lo que los efectos sobre el bienestar de miles de agricultores (principalmente de pequeña escala o familiares) serán muy severos, especialmente si el componente de la productividad de subsistencia se reduce. Estos cambios en la calidad y la cantidad de producción pueden afectar la productividad del trabajo de los agricultores e incluso afectar negativamente la salud de sus familias (Alteri & Nicholls, 2008).

3.2. Variabilidad Climática en Ecuador y su Afectación en la Agricultura

La ubicación del Ecuador lo hace susceptible de sufrir los efectos de fenómenos climáticos extremos (Cadhac et al., 2017). El Ecuador al estar ubicado en el paralelo cero es afectado continuamente por diferentes sistemas sinópticos (altas y bajas presiones) que ocurren durante el año, los cuales regulan al clima y a la variabilidad climática del país. La principal manifestación se evidencia en la variabilidad de precipitación (Montealegre & Pabon, 2000). La información climatológica indica que la cantidad de lluvias en el país aumentan o disminuyen, principalmente por la variabilidad climática interanual relacionada a la Oscilación del Sur (ENOS), durante su fase caliente denominada El Niño, o en la fría llamada La Niña (Garreaud & Aceituno, 2007; Hidalgo, 2017).

En Ecuador, durante los episodios de El Niño y La Niña los patrones de precipitaciones y circulación atmosférica se ven alterados, ocasionando sucesos climáticos extremos en distintos lugares del país relacionados con: sequías, inundaciones y cambios en la intensidad y frecuencia, los cuales son el resultado de las anomalías positivas y negativas de estos fenómenos (Cabrera, 2017; Cadilhac et al., 2017). Respecto a los mencionados

eventos, el IPCC en su informe de 2013, indica que probablemente se intensificará la variabilidad de la precipitación debido al incremento de la humedad disponible en el Pacífico (Stocker, 2013).

En las últimas décadas Ecuador ha presentado 22 episodios relacionados con El Niño, siendo cada vez más recurrentes e intensos. Los eventos ocurridos en 1982-83 y 1997-98 fueron calificados de extraordinarios, desde el punto de vista de las alteraciones causadas en los medios de vida, la agricultura, la infraestructura, y en la capacidad de respuesta de los gobiernos. Los daños al acervo y las pérdidas de producción generadas por El Niño 1997-98 han sido estimados en 7.500 millones de dólares (sin considerar los daños intangibles) y sus efectos se prolongaron hasta el mediano plazo debido al tiempo que se requirió para la rehabilitación y la reconstrucción de las condiciones preexistentes (García, 2000; Guenni et al, 2016). En el futuro se espera que el aumento de temperatura, sequías e inundaciones recurrentes, derretimiento de glaciares y una intensificación y variación de los patrones de precipitación tengan un amplio espectro de impactos en el país (Serrano et al., 2012).

Los fenómenos naturales de El Niño (inundaciones) y La Niña (sequía) se han establecido con mayor frecuencia e intensidad en las últimas décadas, transformándose en amenazas potenciales por los impactos que ocasionan en todos los sistemas sociales y ambientales. La agricultura es uno de los principales sectores de la economía que podría verse severamente afectado por estos fenómenos (Seidel, 2015; IDEAM, 2018). En cualquiera que sea el escenario, ya sea intensas precipitaciones o por déficit de lluvias, se predice pérdidas parciales o totales de grandes extensiones de cultivos importantes que dan abasto de alimentos en el mercado interno del país, y con ello pérdidas económicas considerables para los agricultores (Bermeo, 2015).

Entre los principales impactos de la variación climática sobre las comunidades locales destacan aquellos relacionados a la disponibilidad de agua para las actividades productivas (agricultura y ganadería) y el consumo de agua en las ciudades y comunidades de Ecuador, misma que proviene de las precipitaciones locales y en porcentaje menor de los glaciares (Caldilhac et al., 2017).

Considerando la superficie del Ecuador, el sector agropecuario representa el 19 % del territorio nacional que corresponde a 4,8 millones de hectáreas (INEC, 2016), aquí se encuentra toda la producción campesina la cual aporta con más del 95% del total de los alimentos consumidos en el país (ESPAC, 2020). Sin embargo, por la incertidumbre en la intensidad en los regímenes de lluvias y la prolongación de sequías extremas, la producción se verá considerablemente afectada en cantidad, permanencia y calidad de los alimentos (Naranjo, 2016; MAE, 2017).

En el Ecuador este fenómeno y los cambios en patrones de precipitación afectan directamente a algunos de los principales productos de exportación del país, perjudicando la productividad y la disponibilidad de estos para la venta al mercado exterior (Cabrera, 2017). Aunque una gran cantidad de organismos nacionales e internacionales ha generado aportes en el tema, es de reconocer que existen muchas limitaciones para poder determinar con exactitud cuáles serán los impactos de este fenómeno en la agricultura local (IICA, 2016).

El crecimiento poblacional, sumado a la incertidumbre de fenómenos de variabilidad climática causan grandes impactos negativos en los ecosistemas naturales y humanos, y, por ende, a la seguridad alimentaria. La gran demanda de alimentos, principalmente del sector urbano conlleva a que los productores agrícolas se expandan de manera progresiva a nuevas áreas de cultivos para obtener mayor producción, y esto les permita dar abasto al creciente mercado de alimentos (Bermeo, 2015). El aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos ha conducido a frecuentes condiciones de excesos y deficiencias de agua (IPCC, 2012), causando un estancamiento en el crecimiento y desarrollo de las plantas por efecto del estrés hídrico y por el aumento de la incidencia de plagas, enfermedades y arvenses (Corpoica, 2013; Martínez, 2015).

3.3. Escenarios Climáticos

Para lograr una mejor comprensión de las interacciones entre el sistema climático terrestre, los ecosistemas y las actividades humanas, la comunidad científica ha desarrollado y utilizado diversas herramientas y metodologías. Una de ellas es el uso

de “escenarios climáticos”, los cuales pueden definirse como: descripciones coherentes, internamente consistentes y convincentes de un posible estado futuro del mundo (IPCC-DDC, 2013). Los escenarios climáticos no son pronósticos o predicciones, cada uno de ellos es una imagen alternativa de cómo el futuro puede mostrarse bajo determinadas condiciones en un tiempo dado (Armenta et al., 2016).

Los escenarios se obtienen de experimentos forzados por distintos incrementos de GEI usando Modelos Climáticos Globales (MGC) (Bidegain et al., 2011). Estos son una representación numérica tridimensional de la dinámica atmosférica y de la circulación global alrededor de la Tierra (Jáuregui, 2003). En ellos se simulan procesos físicos de la atmósfera, océanos y la superficie terrestre, y constituyen una herramienta para pronosticar la respuesta del clima a futuro ante los aumentos de los gases de efecto invernadero en la atmósfera (IPCC, 2013). Al emplearse en los estudios de cambio climático, se convierten en escenarios climáticos de dicho fenómeno y son proyectados a diferentes horizontes de tiempo (proyecciones climáticas) (Fernández et al., 2015).

En el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC, la comunidad científica identificó cuatro escenarios específicos de emisiones (incluyendo datos sobre el uso del suelo y su cobertura) denominados como Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) que se caracterizan por el cálculo aproximado que hacen del forzamiento radiactivo (cantidad media de energía solar absorbida por metro cuadrado sobre la tierra y se mide en W/m^2) total para el año 2100 en relación con 1750. Cada RCP corresponde a un camino de forzamiento radiactivo (FR) específico (Ruíz et al., 2015) (Cuadro 1 y Figura 1).

Cuadro 1. Tipos de vías de concentración respectiva

Escenarios	FR	Tendencia FR	[CO₂] en 2100
RCP2.6	2,6 W/m^2	decrecimiento en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m^2	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m^2	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m^2	creciente	936 ppm

Fuente: IPCC (2014)

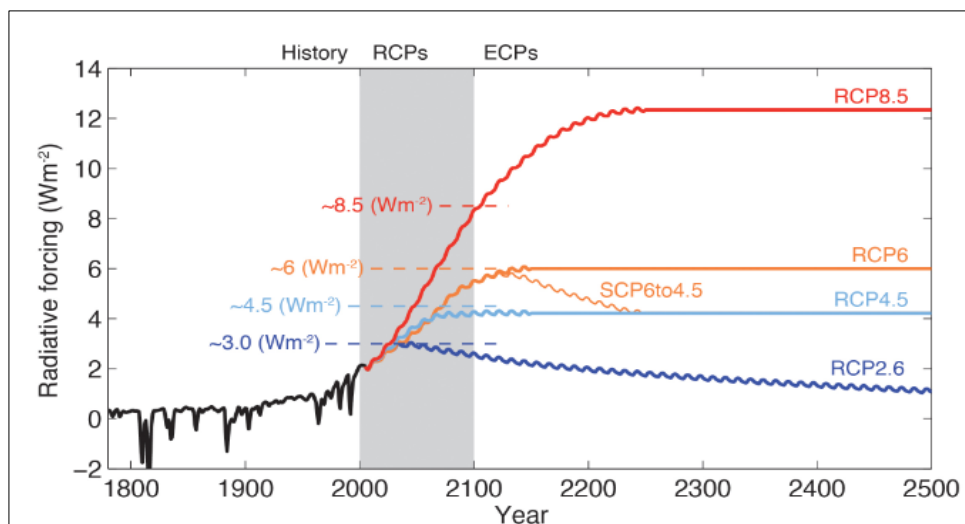


Figura 1. Forzamiento radiativo para los RCP y ECP (trayectorias de concentración extendida). Fuente: IPCC (2014)

Las emisiones antropogénicas de GEI dependen principalmente del tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática. Las trayectorias de concentración representativas (RCP) utilizadas para hacer proyecciones basadas en esos factores, describen en el siglo XXI cuatro trayectorias distintas de las emisiones y concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, de emisiones de contaminantes atmosféricos y del uso del suelo (IPCC, 2014).

Las trayectorias incluyen un escenario de mitigación estricto (RCP 2.6), dos escenarios intermedios (RCP 4.5 y RCP 6.0) y un escenario con un nivel muy alto de GEI (RCP 8.5). Los escenarios sin esfuerzos adicionales para limitar las emisiones dan lugar a trayectorias que se sitúan entre RCP 6.0 y RCP 8.5. El RCP 2.6 representa un escenario que tiene por objeto que sea probable mantener el calentamiento global a menos de 2 °C por encima de las temperaturas preindustriales. Cabe señalar que esos escenarios futuros no tienen en cuenta posibles cambios en los forzamientos naturales (por ejemplo: erupciones volcánicas) (IPCC, 2014).

Con relación a los modelamientos climáticos efectuados a nivel mundial bajo cada RCP es probable que el aumento de la temperatura media global en la superficie al final del

siglo XXI (2081-2100) respecto de 1986-2005, sea de 0,3 °C a 1,7 °C bajo el escenario RCP 2.6; de 1,1 °C a 2,6 °C bajo RCP 4.5; de 1,4 °C a 3,1 °C bajo RCP 6.0; y, de 2,6 °C a 4,8 °C bajo RCP 8.5. Así mismo se prevé que en las latitudes altas y en el Océano Pacífico ecuatorial se experimente un aumento en la precipitación media anual en el marco del escenario RCP 8.5. Además, es probable que la precipitación media disminuya en muchas regiones secas de latitud media y subtropical, mientras que es probable que en muchas regiones húmedas de latitud media la precipitación media aumente. Es muy probable que sean más intensos y frecuentes los episodios de precipitación extrema en la mayoría de las masas terrestres de latitud media y en las regiones tropicales húmedas (IPCC, 2014) (Figura 2).

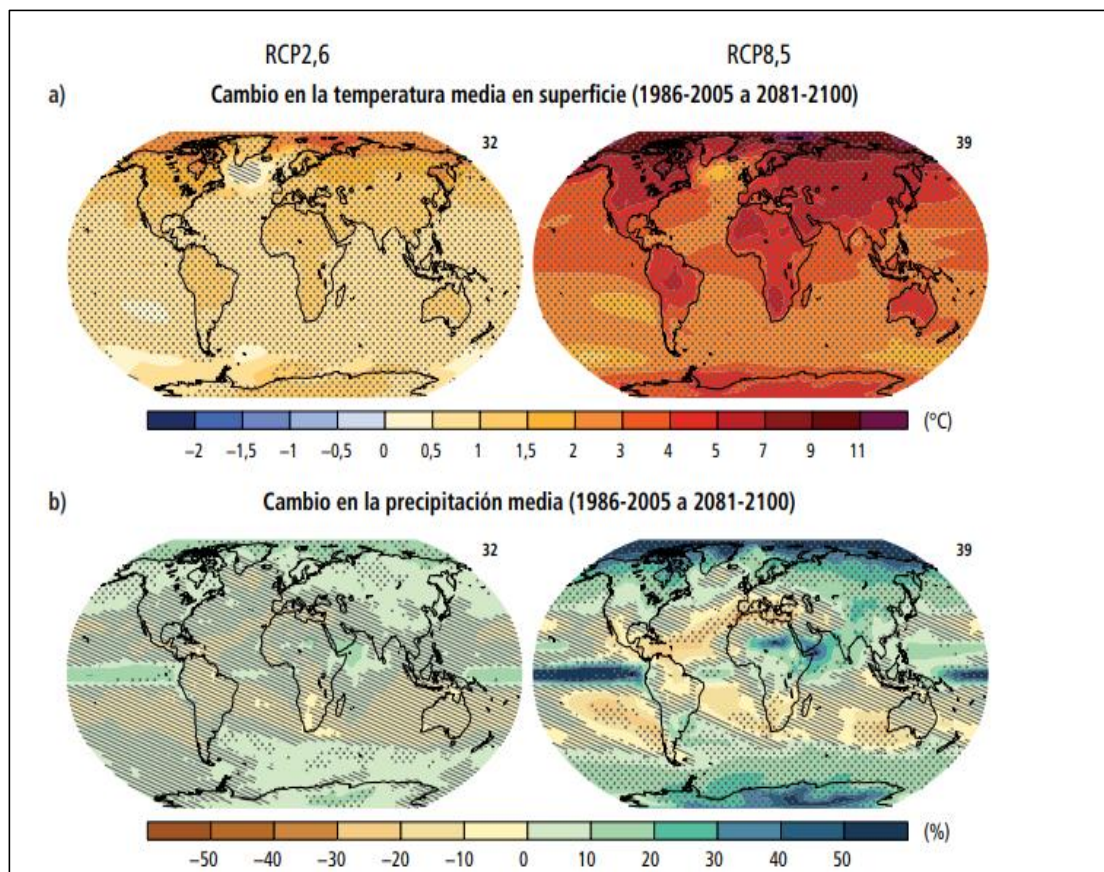


Figura 2. Cambio en la temperatura media en superficie (a) y cambio en la precipitación media (b) sobre la base de las proyecciones de la media multimodelos para 2081-2100 en relación con 1986-2005 bajo los escenarios RCP2.6 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). Fuente: IPCC (2014)

3.3.1. Escenarios Climáticos para Ecuador

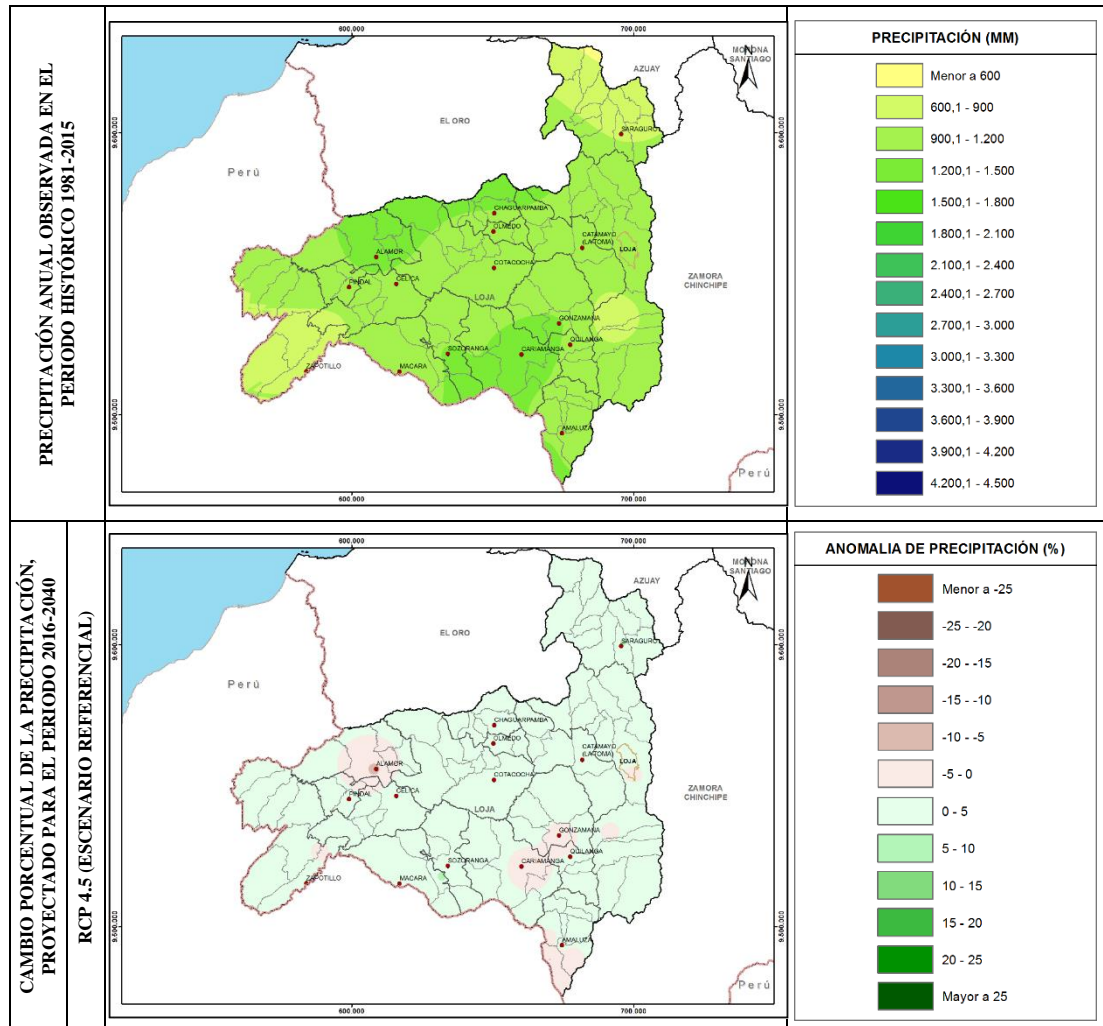
Ecuador cuenta con proyecciones climáticas de precipitación, y temperaturas media, máxima y mínima, bajo los escenarios de cambio climático del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del IPCC y utilizando cuatro modelos climáticos globales seleccionados del proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) (MAE, 2017). Las proyecciones efectuadas bajo cada uno de los escenarios se generaron usando el método de Ensamble Ponderado de Fiabilidad (REA), para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 tomando como periodo de referencia 1981-2010 (estas proyecciones fueron generadas como parte de la Tercera Comunicación Nacional (TCN)).

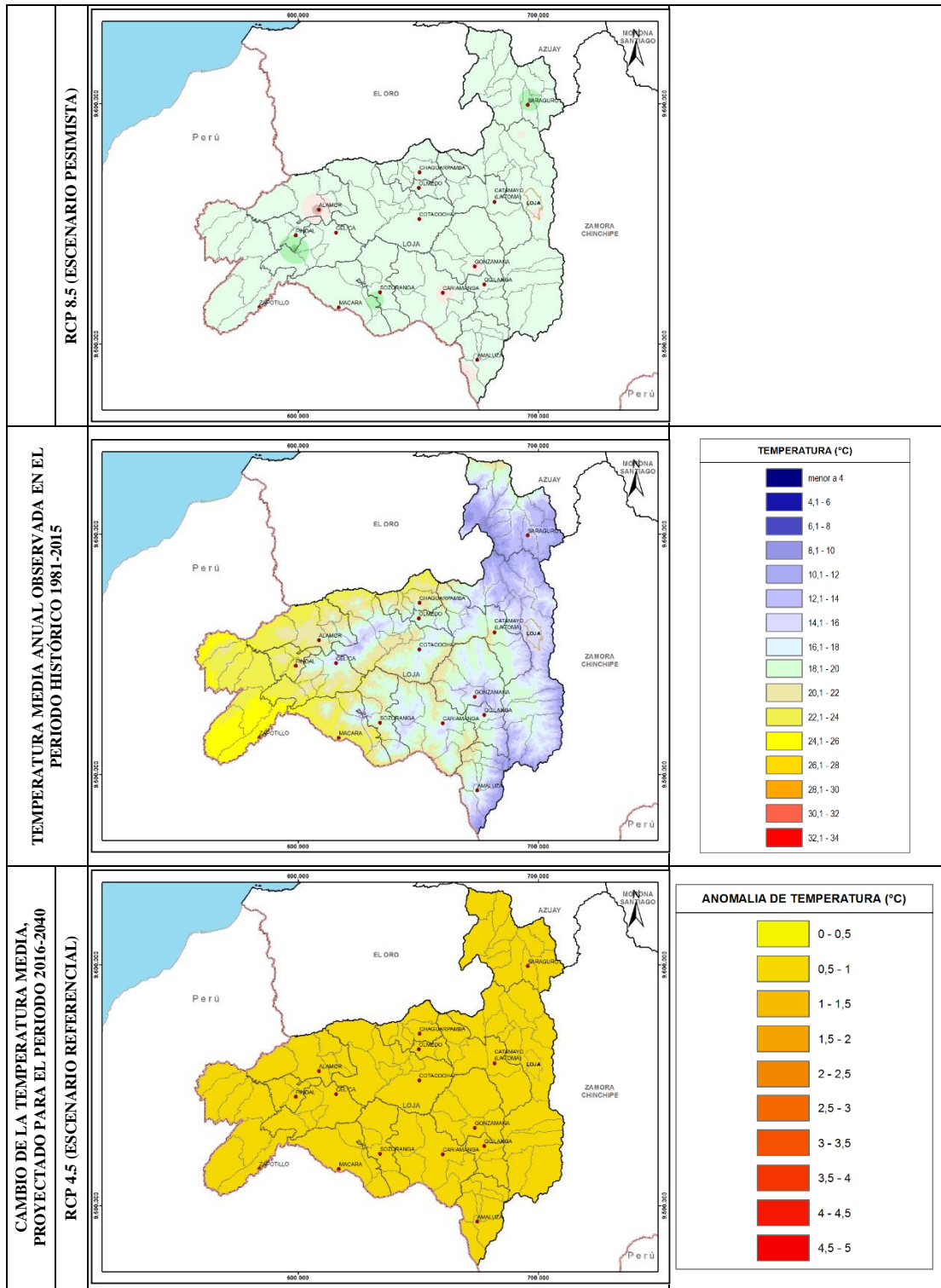
En el mencionado estudio se tomó este último periodo por dos razones: la primera de ellas porque para este periodo de tiempo se contó con la mayor cantidad de estaciones con datos confiables y completos en al menos el 85% de información; y, la segunda porque este periodo es el común entre las observaciones y los datos de los modelos globales (Armenta et al., 2016).

Los resultados del estudio de proyecciones climáticas para el Ecuador muestran posibles aumentos de la temperatura, con anomalías de 0,6°C bajo el RCP 2.6 y 2,8°C bajo el RCP 8.5 para la temperatura media; de 0,8°C bajo el RCP 2.6 y de 3,5°C bajo el RCP 8.5 para la temperatura máxima; y, de 0,6°C bajo el RCP 2.6 y de 2,8°C bajo el RCP 8.5 para la temperatura mínima. Las regiones donde habría mayores aumentos de la temperatura son la Costa, la Amazonía y Galápagos. Para la precipitación, las proyecciones muestran posibles reducciones en la Amazonía Oriental, entre 2-10 %; incrementos del 5-10 % al sur del país, y del 10-20 % en el centro, norte y occidente del área continental de Ecuador, y superiores al 15 % para la parte insular (Galápagos) (Armenta et al., 2016).

Para la provincia de Loja, los mayores valores de precipitación se darán en la parte norte y sur del centro de la provincia, con valores entre 1.200 y 1.500 mm/año. Los menores valores se dan en el norte y en la parte suroriental de la provincia, con lluvias

de 900 mm/año. Bajo los escenarios de cambio climático para 2011-2040, en el RCP 4.5 se darían incrementos del 3% en precipitación en la mayor parte de la provincia, y reducciones del 2% en algunas zonas del centro y sur. Bajo el RCP 8.5, habría incrementos de precipitación en toda la provincia con valores de 3-5 % (Figura 3).





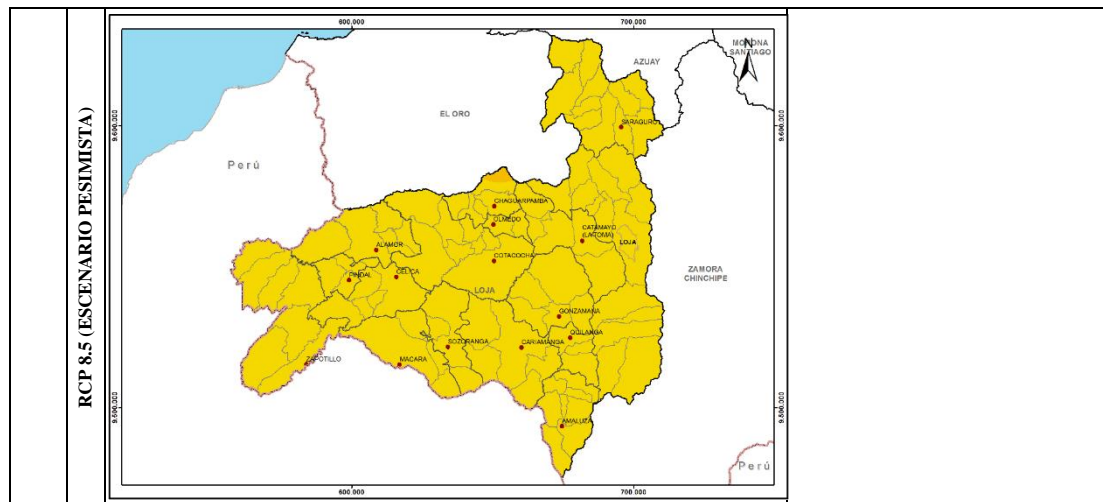


Figura 3. Precipitación y temperatura media anual de la provincia de Loja bajo el periodo histórico 1981-2010, RCP 4.5 y 8.5. Fuente: MAAE (2019)

3.4. Zonificación Agroecológica

Planificar y hacer un buen uso de los recursos rurales está directamente relacionado con la zonificación de la tierra (González & Hernández, 2016), la cual consiste en separar áreas que tienen combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola, presentando un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras. Dentro de este marco, la zonificación agroecológica sirve para la delimitación cartográfica de la capacidad natural para determinado cultivo, de acuerdo con las características climáticas, geomorfológicas y de geopedología de cada zona, y a las necesidades de los cultivos a determinadas condiciones ambientales (FAO, 1997).

Estudios de zonificación agroecológica de cultivos han desempeñado un papel importante en la delimitación de áreas, en las cuales es posible definir los cultivos que poseen mayor potencial de producción, considerando parámetros agroecológicos existentes en dicha área y los requeridos por el cultivo para obtener rangos óptimos de producción (Soto et al., 2001; González & Hernández, 2016). Las investigaciones más avanzadas al respecto han incorporado bases de datos enlazados a sistemas de información geográfica (SIG), relacionadas a modelos estadísticos, con múltiples aplicaciones en el manejo de los recursos naturales y planificación del uso de la tierra

(Díaz et al., 2010). El nivel de especificidad de cada estudio va de acuerdo, entre otros aspectos, a la disponibilidad de datos del área y el conocimiento de los requerimientos agroecológicos de las especies (Pérez & Geissert, 2006).

Para lograr la zonificación agroecológica de cualquier cultivo, es necesario tener en cuenta los requerimientos agroecológicos basados en su desarrollo fisiológico y productivo. Son varias las vías y métodos científicos utilizados en el mundo para determinar las bases de la zonificación agroecológica para los cultivos, el empleo de uno u otro método depende del tipo de cultivo, información existente sobre el mismo, y nivel de precisión y efectividad respecto al resultado final en los trabajos de investigación (Suárez et al., 2013).

Por consiguiente, la zonificación agroecológica del territorio constituye una estrategia de manejo del riesgo que orienta la implementación de medidas preventivas y de adaptación frente a las adversidades climáticas, geomorfológicas y de geopedología. La zonificación ha surgido como una estrategia territorial para generar políticas públicas y medidas de adaptación que hagan frente a eventos climáticos extremos al sector agropecuario (Martínez, 2015; Brunini, 2010). Autores como Brunini (2010) y Yazdanpanah et al., (2009) la consideran una herramienta clave para la determinación del potencial agrícola, la planificación territorial y el manejo de los suelos en áreas aptas para producción agropecuaria.

3.5. Aplicaciones de los SIG en la zonificación agroecológica

Los SIG son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de planificación económica, territorial y ambiental (FAO, 1996; Terán, 1998). La zonificación agroecológica es una de las primeras etapas del ordenamiento y del planeamiento ambiental y los SIG cumplen un papel decisivo en el desarrollo de estos estudios (Moreno, 2007; Alva, 2013). El enfoque integrado de planificación y ordenación de los recursos naturales requiere la aplicación de técnicas orientada a dar soporte a la toma de decisiones. Los SIG ponen a nuestra disposición herramientas para analizar y evaluar áreas con diferentes aptitudes o capacidades (Soto et al., 2001a).

Los SIG permiten gestionar y analizar la información espacial. Se trata de sofisticadas herramientas multipropósito con aplicaciones en distintos campos. Almacenan en capas información cartográfica y alfanumérica que se encuentran conectadas de forma tal que a cada uno de los objetos espaciales del mapa digital le corresponde un registro en la base de datos. De esta forma, al señalar en el mapa digital un determinado objeto, se puede conocer a través de su identificador cuáles son los valores que registra dicho elemento para los diferentes atributos (Soto et al., 2001b). El objetivo de la utilización de los SIG en la zonificación agroecológica siempre se relaciona con la clasificación y representación espacial de la aptitud de la tierra con respecto a un determinado uso (Pérez & Geissert, 2006; Alva, 2013)

Los SIG son una herramienta que tiene una importancia fundamental en temas orientados al desarrollo agrario (Alva, 2013), ya que permiten manejar las variables que representan al medio físico en donde se desarrolla esta actividad, tales como clima, suelo y recurso hídrico. Cada uno de ellos se caracteriza por la variación espacial que presentan en el territorio (Pineda, 2014). En el ámbito de la planificación agrícola, los SIG son una de las principales herramientas empleadas para disminuir los riesgos a los que está sometida la agricultura. Se mitiga el riesgo de baja productividad otorgando espacios a los cultivos atendiendo a sus exigencias edafoclimáticas para garantizar en gran medida el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los mismos (Pérez & Geissert, 2006; Alva, 2013).

Las investigaciones más avanzadas de zonificación agroecológica están compuestas por bases de datos enlazadas a un sistema de información geográfica y relacionadas con modelos computarizados, que contienen múltiples aplicaciones potenciales en el manejo de los recursos naturales y planificación del uso de la tierra (FAO, 1997). Para determinar las bases de la zonificación agroecológica para los cultivos existe diversidad de métodos científicos utilizados internacionalmente. Sin embargo, cada estudio tiene sus particularidades, determinadas entre otros aspectos por la disponibilidad de información ambiental (Espinosa, 2007).

3.6. Requerimientos Agroecológicos del Café (*Coffea arabica* L.)

La mayor parte del café del mundo proviene del arbusto perenne de la especie *Coffea arabica* L., cuyas plantaciones son productivas durante 20–50 años. El cultivo de café es una actividad agroproductiva que contribuye a dinamizar la economía mundial del sector agrícola, ya que alrededor de 25 millones de pequeños productores dependen de este cultivo (Bunn et al., 2015), lo que hace que la actividad sea muy importante para mantener los estilos de vida rurales, proporcionar mejores ingresos y distribuir de mejor manera la riqueza. Este es uno de los productos primarios más valiosos como fuente de divisas para los países en desarrollo (Aguirre et al., 2018).

Actualmente, el *Coffea arabica* L. representa aproximadamente el 62 % del total consumido a nivel mundial, el 38 % restante corresponde al *Coffea canephora* L. Entre los productos naturales, el café tiene un valor monetario solo superado por el petróleo. Su comercio internacional genera más de \$ 90.000 millones/año e involucra aproximadamente 500 millones de personas en su gestión, desde su producción hasta el consumo del producto final. El café se cultiva actualmente en 80 países en cuatro continentes. Brasil es el mayor productor del mundo, seguido por Colombia y Vietnam (DaMatta, 2004).

En Ecuador el café históricamente ha sido de gran importancia en el desarrollo económico, social y ambiental desde el siglo XVIII. En lo económico, constituye una fuente de ingreso para los actores de toda la cadena de producción y comercialización; en lo social, involucra muchas etnias y pueblos en 23 de las 24 provincias; y, desde el punto de vista ambiental, se cultiva básicamente en sistemas agroforestales, que contribuyen a la conservación de los ecosistemas (Duicela, 2016). El café ha aportado divisas al país y para quienes lo cultivan, lo que genera un efecto multiplicador dentro de la cadena de comercialización, especialmente en el acopio y la transformación, ya que genera oportunidades de empleo a un importante grupo de pobladores del sector rural (Viteri et al., 2018; Barrezueta, 2018; Monteros, 2016).

Gracias a la ubicación geográfica, el Ecuador es considerado uno de los pocos países en donde se cultivan todas las variedades existentes (arábiga lavado, natural y robusta) (Monteros, 2016; INIAP, 2020). Su producción se concentra en las provincias de Manabí, Loja y las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes (Ochoa et al., 2017). Las plantaciones de café ocupan un área de 199.215 Ha, de las cuales, el 68 % corresponden a *Coffea arabica* L. y 32 % a *Coffea canephora* L. La provincia de Loja ocupa el segundo lugar en superficie de producción de *Coffea arabica* L, con 29.552 Ha y una producción anual de 180.320 qq que representa el 13,5 % de la producción total nacional (COFENAC, 2013).

Según estudios efectuados a nivel de Latinoamérica, el café arábico (*Coffea arabica* L.) se desarrolla de mejor manera en un clima con temperaturas medias anuales de aproximadamente 20°C y más de 1.200 mm de precipitación anual. Un período seco corto de menos de 40 mm de precipitación por mes aumenta el rendimiento y promueve la floración uniforme, pero con más de tres meses secos se reduce el rendimiento. Las temperaturas superiores a 30°C durante períodos prolongados reducen los rendimientos y causan efectos negativos en la salud de la planta. Las limitaciones climáticas más fuertes del café son las heladas y la sequía (DaMatta & Ramalho, 2006).

Se ha determinado que en Ecuador el café (*Coffea arabica* L.) se produce adecuadamente entre los 500 y los 1.700 msnm (Barva, 2011). Duicela et al., (2004) describen que la altitud más apropiada para el cultivo de esta especie son las estribaciones occidentales de los Andes, en Loja y El Oro que se encuentra entre los 1.000 a 1.800 msnm, para el noroccidente de Pichincha se encuentra entre los 300 a 1500 msnm y para la provincia de Manabí se encuentran zonas apropiadas por encima de los 500 msnm. PRO-ECUADOR (2013) evidencia que el rango de elevación para la producción del café (*Coffea arabica* L.) es de acuerdo a las zonas de producción; en Galápagos y Loja, las principales áreas de producción de café en Ecuador la elevación varía de 500m a 2200m respectivamente.

Con relación al rango de temperatura óptimo para producir café (*Coffea arabica* L.), Duicela et al., (2004) mencionan que la mejor se encuentra entre 19 a 23°C, lo que es

corroborado por Caza (2018), quien menciona un rango de entre 18 a 21°C. La humedad relativa óptima para su desarrollo va desde 70 a 95% (INIAP, 2020).

En cuanto a precipitación, AGROCALIDAD (2013) e INIAP (2020) menciona que los límites máximo y mínimo varían mucho en función de varios factores como: temperatura, estructura y textura del suelo, pendiente del terreno, drenaje o tipo de asociación de cultivos. Los límites bajos para un buen desarrollo del café (*Coffea arabica* L.) fluctúan entre 760 y 780 mm/año, mientras los límites altos varían de 990 a 3.000 mm/año. Los mejores promedios de lluvia para este cultivo fluctúan entre 1200 y 1.800 mm/año, bien distribuidos.

Con relación a los suelos, la profundidad efectiva es de 50 a 100 cm aproximadamente, la textura de suelos puede variar de franco arcilloso, franco arenoso o franco limoso, sin sobrepasar más de un 15 % de piedras. El suelo debe presentar un contenido de materia orgánica (MO) entre 2,1 % a 5,7 %, pH entre 5,5 a 6,5 y una fertilidad alta (Duicela, 2004; INIAP, 2020).

De acuerdo con COFENAC (2013), en la provincia de Loja los cultivos de café (*Coffea arabica* L.) con mejores valores en cuanto a parámetros organolépticos permanecen en altitudes de 1600 y 1900 msnm con precipitaciones que van de los 900 a los 1.800 mm/año. Este tipo de café se los encuentra generalmente en los cantones de Chaguarpamba, Celica, Loja, Gonzanamá, Olmedo, Paltas y Quilanga.

4. METODOLOGÍA

4.1. Zona de Estudio

La provincia de Loja se encuentra ubicada en la región sur del Ecuador, y es considerada una de las zonas más diversas del país (Aguirre et al., 2017). Está conformada por una serie de cadenas montañosas entrecruzadas denominadas nudos (Cajanuma, Guagrahuma y Sabanilla), originando el relieve más irregular del país que ejerce influencia directa en la diversidad ecosistémica de la provincia, como resultado se tiene una región muy compleja biológicamente y por ende megadiversa (Aguirre & Delgado, 2005; Aguirre et al., 2017).

Los factores que determinan el clima de la provincia y sus variaciones son geográficos y meteorológicos, entre los que se destacan la latitud, orografía (conjunto relieve-altitud) y la presencia de océano Pacífico (Pourrut, 1983; Maldonado, 2002; Samaniego et al., 2016). Esta provincia presenta algunas particularidades a nivel de su topografía, pues la cordillera de los Andes sufre una caída altitudinal extrema conocida como la Depresión de Huancabamba (Emck, 2007; Rollenbeck, et al., 2011), la misma que se constituye en una barrera climática que incide sobre las dos grandes regiones naturales presentes en esta zona: la región Costa o Litoral; y la región Andina o Sierra (Aguirre et al., 2017).

La provincia de Loja cuenta con una extensión de 11.000 km² y una población de 448.966 habitantes, distribuida en 24 cantones (78 parroquias rurales). Este territorio mantiene el 46 % de la población en zonas rurales (INEC, 2010) y su economía se basa en una producción mixta que incluye cultivos (principalmente maíz, café y caña de azúcar) y animales (ganado de leche y carne) para la alimentación humana y comercialización, y otra relacionada al aprovechamiento de los recursos naturales (Chamba et al., 2018). Según el PDOT provincial (2015), la rama de actividad relacionada con la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, alcanza una PEA del 30

% y el 2 % a nivel nacional, y económicamente aporta con el 2% al PIB nacional. Metodología para la Zonificación Agroecológica para el cultivo de Café (*Coffea arabica* L.)

Los datos de precipitación y temperatura media anual de los escenarios climáticos utilizados en esta investigación fueron: Escenario base 1981-2010, y RCP 4.5 y 8.5 con sus proyecciones climáticas 2011-2040 se los obtuvo del estudio de proyecciones climáticas para el Ecuador, documento generado en el 2016 para el reporte de la Tercera Comunicación Nacional (TNC). Se trabajó con los RCP 4.5 y RCP 8.5 debido a que, según el IPCC (2014), son los escenarios más realistas que se pueden dar a un mediano y largo plazo, considerando los niveles de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) obtenidos hasta la actualidad.

Una síntesis de la metodología utilizada en la presente investigación, se describe a continuación:

- En el primer apartado (sección 4.3) se detalla la metodología que se utilizó para la determinar los requerimientos agroecológicos del café (*Coffea arabica* L.).
- En el segundo y tercer apartado (sección 4.4 y 4.5 respectivamente) se describe la metodología que se utilizó para definir las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) de acuerdo con cada escenario, y los cambios en la distribución espacial de las ZAA para cada escenario.
- Finalmente, en el cuarto apartado (sección 4.6) se describe el proceso que se siguió para definir el tipo de cobertura vegetal y uso de suelo que existe en las áreas establecidas como ZAA para el escenario base.

Se resalta que en la presente investigación la información de la variable precipitación y temperatura se las obtuvo de las proyecciones climáticas para el Ecuador, estudio que utilizó datos de precipitación y temperatura histórica de las estaciones meteorológicas de INAMHI; no se considera como variable la dotación o el acceso al recurso agua (riego), ya que esto cambiaría drásticamente los resultados expuestos en el trabajo.

4.2. Metodología para la Definición de los Requerimientos Agroecológicos para el cultivo del Café (*Coffea arabica* L.)

En esta sección se identificó los requerimientos agroecológicos de las variables de cada factor establecido: climático, geomorfológico y de geopedología, donde mejor se desarrolla el cultivo del café.

La obtención de los requerimientos de las variables de cada factor fue a partir de una revisión bibliográfica de artículos disponibles en páginas web, ya sean del estado o de institutos de investigación nacionales o extranjeros. En el Cuadro 2 se ejemplifica la matriz utilizada para recabar y ordenar la información relacionada a los requerimientos agroecológicos.

Cuadro 2. Matriz para sistematizar los requerimientos agroecológicos para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.)

Factor	Variable	Requerimiento agroecológica (rango)	Referencias bibliográficas
Climático	Precipitación		
	Temperatura		
Geomorfológico	Altitud		
	Pendiente		
Geopedológico	Textura		
	Profundidad		
	Pedregosidad		
	Drenaje		
	pH		
	Materia orgánica (MO)		
	Toxicidad		

4.3. Metodología para Establecer las Zonas con Aptitud Agroecológica para el Cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

4.3.1. Recopilación de información cartográfica

Se procedió con la recopilación de las capas cartográficas (formato shp o tiff) que contenían únicamente la información sobre los requerimientos agroecológicos de las variables de cada factor identificado (climático, geomorfológico, geopedológico). Esta información fue descargada del geoportal que posee el Gobierno Nacional del Ecuador,

donde permanece la información cartográfica oficial del país. El Geoportal es de libre acceso y está al servicio de todos los usuarios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cartografías utilizadas para la zonificación agroecológica del cultivo del café (*Coffea arabica* L.).

Componente	Fuente	Proyecto	Año	Escala	Coordenadas	Proyección	
Límites provinciales y Nacionales	CONALI	Actualización periódica de límites internos.	2019	1:25.000	Planas (metros)	UTM	WGS 84
Modelo de elevación digital (DEM)	IGM	Generación de curvas de nivel para Ecuador Continental.	2012	1:25.000	Planas (metros)	UTM	WGS 84
Geopedología	MAG	Generación del Mapa de Geopedología del Ecuador Continental a escala 1:25.000.	2014	1:25.000	Planas (metros)	UTM	WGS 84
Cobertura y uso del suelo.	MAG	Generación del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental a escala 1:25.000.	2014	1:25.000	Planas (metros)	UTM	WGS 84
Proyecciones climáticas	MAE	Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos Escenarios de Cambio Climático.	2016	10 km	-	-	-

4.3.2. Obtención de los datos climáticos de precipitación y temperatura del escenario base (1981-2010) y del RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040)

Los datos climáticos de los escenarios utilizados se los obtuvo a partir de los archivos tiff que el MAAE generó en estudio de las proyecciones climáticas para el Ecuador. A estos tiff se les efectuó análisis geográficos en el programa ArcGIS para obtener los

datos numéricos de precipitación y temperatura media anual de cada escenario climático utilizado.

Para obtener los datos numéricos de la precipitación media anual del escenario base (1981-2010) se procedió a cargar en el programa ArcGIS el archivo tiff correspondiente al escenario, luego nos ubicamos en la caja de herramientas del programa y nos dirigimos al ícono desplegable “Spatial Analyst Tools” para hacer uso de la opción “Int”. Esta opción permitió obtener una tabla numérica de la precipitación media anual con la cual se generó la capa de precipitación del escenario base (1981-2010). El mismo proceso se realizó para los tiff de precipitación de los RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040).

Para el caso de la temperatura media anual se realizó un proceso más sencillo. En el programa ArcGIS se cargó el tiff correspondiente a la temperatura media anual del escenario base (1981-2010) y automáticamente aparece la capa de temperatura media anual con su respectiva nomenclatura. Con el proceso se generó la capa de temperatura media anual del escenario base (1981-2010). El mismo proceso se realizó para los tiff de temperatura de los RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040).

4.3.3. Recorte de la información cartográfica y de las capas de precipitación y temperatura, con base a los límites de la zona de estudio

Mediante la utilización del programa ArcGIS se efectuó un recorte de las capas descritas en la sección 4.4.1 y 4.4.2 (capas cartográficas), con base a los límites provinciales del área de estudio. Este proceso se lo desarrolló mediante la caja de herramientas de dicho programa “ArcToolbox” ícono “Extract” opción “Clip”. El recorte de las capas permitió manejar la información climática, geomorfológica y de geopedología únicamente de la provincia de Loja (Figura 4), facilitando así el procesamiento de datos.

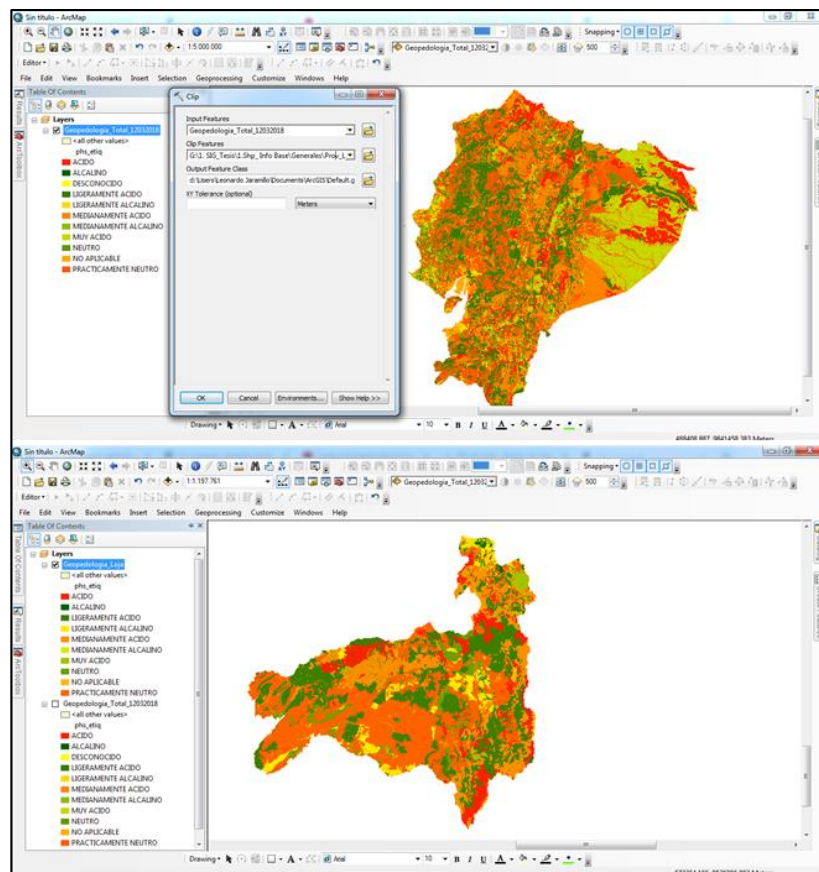


Figura 4. Recorte de la información cartográfica

4.3.4. Determinación y especialización de los requerimientos agroecológicos mediante el lenguaje de consulta SQL de ArcGIS

El lenguaje de consulta estructurado o SQL (*structured query language*, por sus siglas en inglés) es un lenguaje de declaraciones en lugar de procedimientos, es decir, las sentencias SQL dicen lo que quiere que suceda, no cómo quieres que suceda. El lenguaje tiene pocas instrucciones y éstas funcionan con bastante lógica, la mayor parte de las sentencias de selección en los SIG son de tipo SQL (Mora et al. 2003).

Este paso fue ejecutado en el programa ArcGIS, dirigiéndonos al ícono “Selection” opción “Select By Attributes”, para luego escoger la capa y el campo donde se realizaría el proceso de lenguaje SQL. Este proceso fue esencial debido a que en esta parte se ubica los requerimientos agroecológicos del cultivo del café en las capas de las variables de cada factor climático (obtenidos en la sección 4.4.3), geomorfológico y

geopedológico (obtenidos en el numeral 4.4.2). Es decir, por ejemplo: los requerimientos agroecológicos de altitud aptos para el cultivo del café se los identificó en la capa de geomorfología.

A continuación en el Cuadro 4 se muestra las consultas elaboradas con SQL con cada variable, con base a la terminología ya establecida en la información cartográfica.

Cuadro 4. Lenguaje SQL para definir y espacializar los requerimientos agroecológicos del café (*Coffea arabica* L.) en las variables analizadas

Factor	Variable	Lenguaje SQL
Climático	Precipitación Escenario base	"Precipitación" = "800-1000" OR "1000-1200" OR "1200-1400" OR "1400-1600" OR "1600-1800"
	Precipitación RCP 4.5	"Precipitación" = "800-1000" OR "1000-1200" OR "1200-1400" OR "1400-1600" OR "1600-1800"
	Precipitación RCP 8.5	"Precipitación" = "800-1000" OR "1000-1200" OR "1200-1400" OR "1400-1600" OR "1600-1800"
	Temperatura Escenario base	Temperatura = "16-18" OR "18-20" OR "20-22" OR "22-24"
	Temperatura RCP 4.5	Temperatura = "16-18" OR "18-20" OR "20-22" OR "22-24"
	Temperatura RCP 8.5	Temperatura = "16-18" OR "18-20" OR "20-22" OR "22-24"
Geomorfológico	Altitud	"Altitud_ran" = '600-800' OR "Altitud_ran" = '800-1000' OR "Altitud_ran" = '1000-1200' OR "Altitud_ran" = '1200-1400' OR "Altitud_ran" = '1400-1600' OR "Altitud_ran" = '1600-1800' OR "Altitud_ran" = '1800-2000'
	Pendiente	"Pendiente_" = '0-12' OR "Pendiente_" = '12-25' OR "Pendiente_" = '25-50'
Geopedológico	Textura	"tsu_etiq" = 'ARCILLO-ARENOSO' OR "tsu_etiq" = 'ARCILLO-LIMOSO' OR "tsu_etiq" = 'ARCILLOSO' OR "tsu_etiq" = 'ARENO FRANCOSO' OR "tsu_etiq" = 'FRANCO' OR "tsu_etiq" = 'FRANCO ARCILLO-ARENOSO' OR "tsu_etiq" = 'FRANCO ARCILLO-LIMOSO' OR "tsu_etiq" = 'FRANCO ARCILLOSO' OR "tsu_etiq" = 'FRANCO ARENOSO' OR "tsu_etiq" = 'FRANCO LIMOSO'
	Profundidad	"pef_etiq" = 'PROFUNDO' OR "pef_etiq" = 'MODERADAMENTE PROFUNDO'
	Drenaje	"dna_etiq" = 'BUENO' OR "dna_etiq" = 'MODERADO'
	pH	"pH_desc" = '>5.5 - 6.0 BAJA SOLUBILIDAD DEL P Y REGULAR DISPONIBILIDAD DE Ca Y Mg; ALGUNOS CULTIVOS COMO LAS LEGUMINOSAS REQUIEREN

	ENCALAMIENTO' OR "phs_desc" = '>6.0 - 6.5 CONDICION ADECUADA PARA EL CRECIMIENTO DE LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS' OR "phs_desc" = '>6.5 - 7.5 (EXCEPTO 7) BUENA DISPONIBILIDAD DE Ca Y Mg; MODERADA DISPONIBILIDAD DE P; BAJA DISPONIBILIDAD DE LOS MICROELEMENTOS CON EXCEPCION DEL Mo' OR "phs_desc" = '7.0 CONDICION ADECUADA PARA EL CRECIMIENTO DE LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS'
Toxicidad	"tox_etiq" = 'SIN O NULA'
MO	"mos_desc" = '<3.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA' OR "mos_desc" = '> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA' OR "mos_desc" = '>2.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA COSTA' OR "mos_desc" = '3.0 - 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA'
Salinidad	"sal_etiq" = 'NO SALINO' OR "sal_etiq" = 'LIGERAMENTE SALINO'
Fertilidad	"fet_etiq" = 'ALTA' OR "fet_etiq" = 'MEDIANA'

4.3.5. Sobreposición de capas especializadas

Una vez efectuado la espacialización de los requerimientos agroecológicos de cada variable, se procedió a realizar la sobreposición de capas por grupo de variables de cada factor. A las variables de precipitación y temperatura se les realizó la sobreposición de capas para obtener la capa de aptitud climática; de igual manera para la variable de altitud y pendiente para obtener la capa de aptitud geomorfológica; y, finalmente con las variables de textura, profundidad, pedregosidad, toxicidad, drenaje, pH y MO para obtener la capa de aptitud geopedológica. El proceso de sobreposición de capas se lo realizó mediante la opción “Intersect” ubicada en el ícono “Geoprocessing”, en esta se seleccionó las capas que se iba a sobreponer.

Luego de haber efectuado la sobreposición de capas por grupo de variables de cada factor, se generó una última sobreposición de capas con las tres capas resultantes (climática, geomorfológica y geopedológica). Con dicho proceso se obtuvo la capa de Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) bajo los diferentes escenarios.

Es importante mencionar que el factor climático (precipitación y temperatura) mantuvo diferentes capas de aptitud climática: i) capa de aptitud climática para el escenario base (1981-2010); ii) capa de aptitud climática para el RCP 4.5 (2011-2040); y, iii) capa de aptitud climática para el RCP 8.5 (2011-2040). Por ejemplo: para obtener las ZAA para el escenario base se utilizó la capa de aptitud climática para dicho escenario, más las capas de geomorfología y geopedología ya obtenidas en el numeral 4.2.3. La representación gráfica de esta superposición de capas se presente a continuación en la Figura 5.

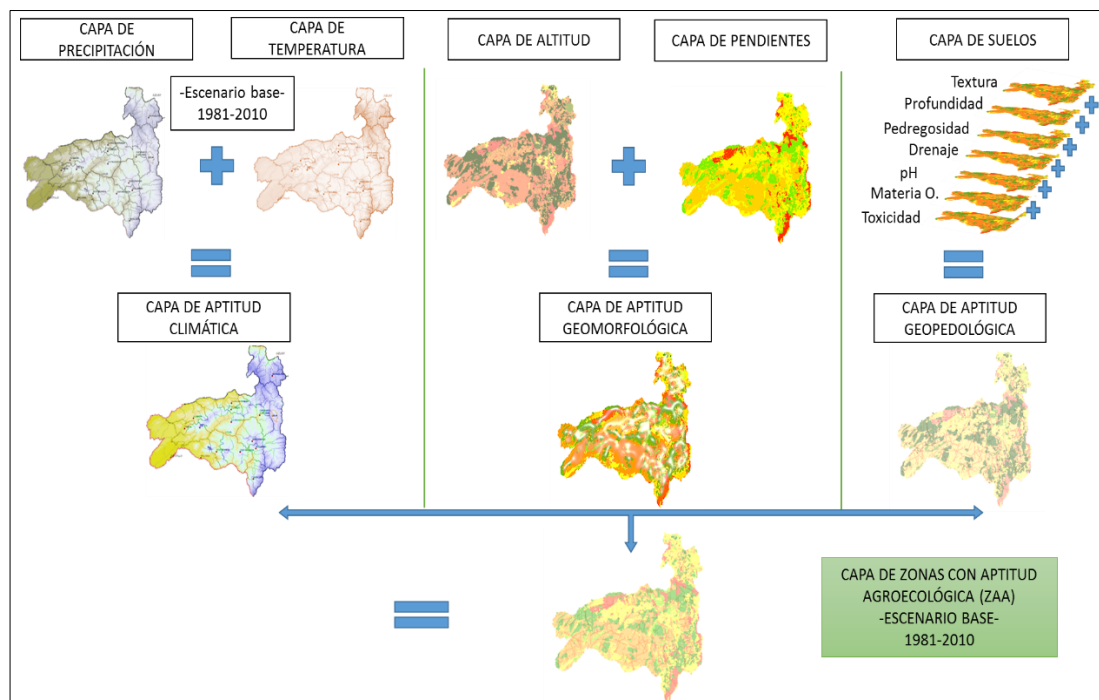


Figura 5. Superposición de capas para definir las zonas con aptitud agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al escenario base.

Proceso similar se realizó para obtener las ZAA bajo el RCP 4.5 y 8.5 teniendo en cuenta que para cada escenario se utiliza la capa que le corresponde de aptitud climática (Figura 5 y 6).

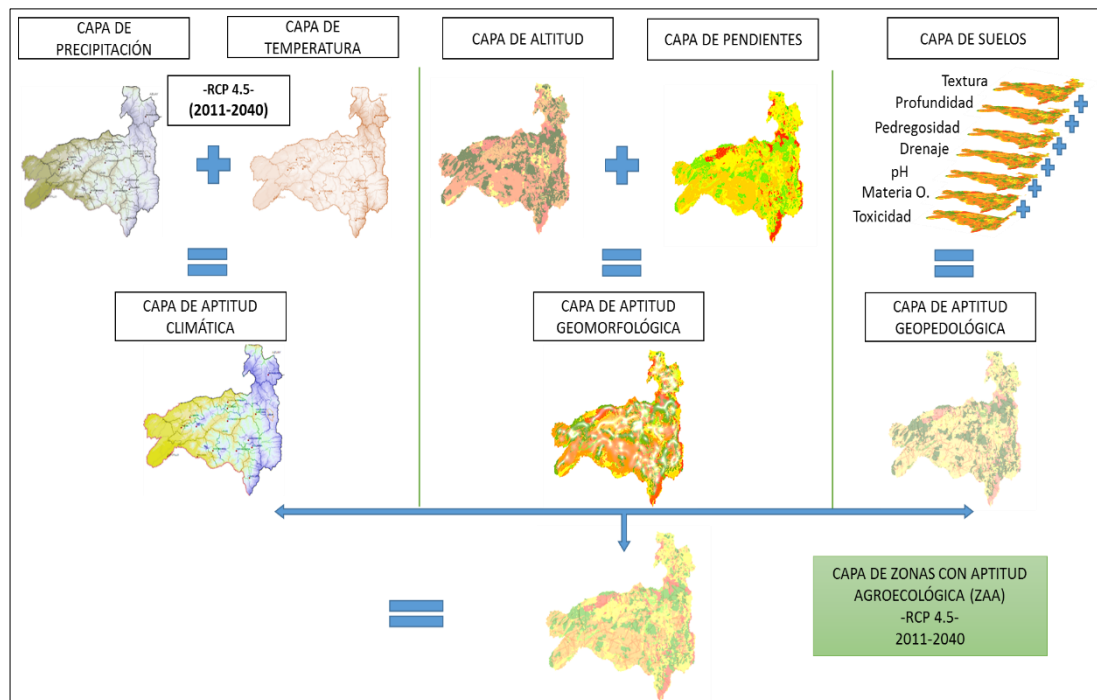


Figura 6. Superposición de capas para definir las zonas con aptitud agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al RCP 4.5

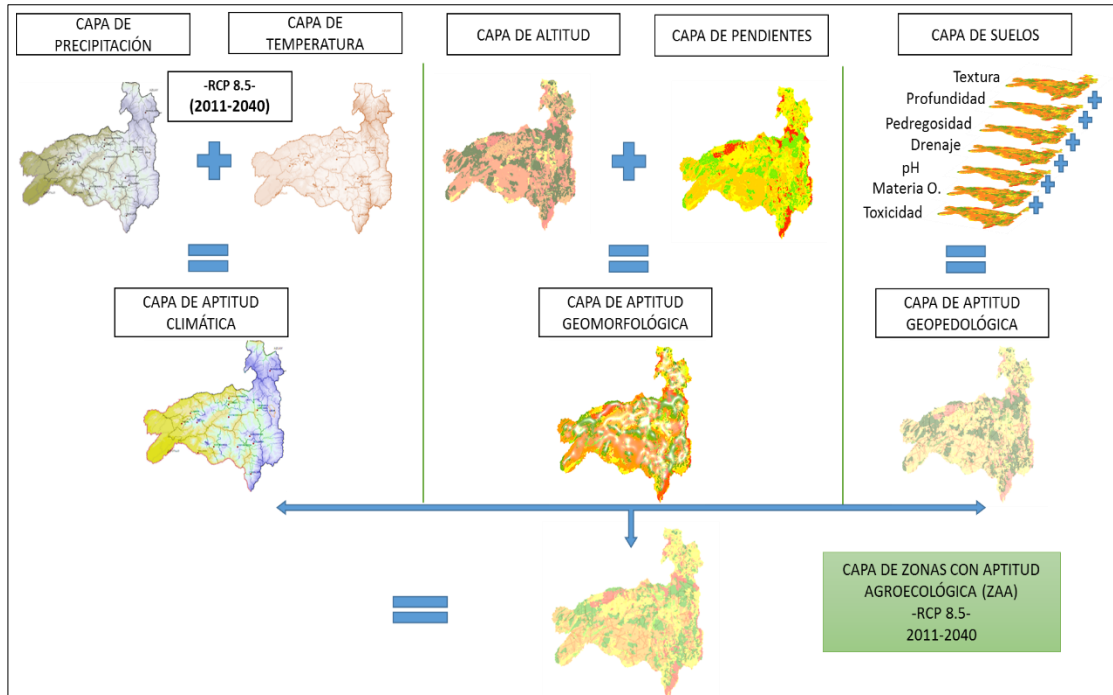


Figura 7. Superposición de capas para definir las zonas con aptitud agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al RCP 8.5

4.3.6. Elaboración del mapa de zonificación agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) a escala 1:25.000

El mapa de ZAA consistió en la representación espacial gráfica de los sitios que cumplieron con los todos los requerimientos climáticos, geomorfológicos y geopedológicos para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). La información espacializada fue descrita por cantones, con la finalidad de obtener un análisis detallado del área de estudio, además se integró al mapa información secundaria que permita un mejor entendimiento del mismo.

4.4. Metodología para comparar la distribución espacial de Zonas con Aptitud Agroecológica definidas para el Escenario base (1981 – 2010) con las Zonas con Aptitud Agroecológica estimadas para los RCP 4.5 y 8.5 (2011-2040)

En este apartado se presenta la metodología que permitió determinar los cambios en la distribución espacial de las ZAA de cada RCP (4.5 y 8.5) respecto al escenario base.

4.4.1. Obtención de zonas que siguen presentando aptitud agroecológica entre escenarios

Se procedió a cargar en el programa ArcGIS las capas de ZAA obtenidas con el escenario base y con el RCP 4.5, luego nos dirigimos al ícono “Geoprocessing” y hacemos uso de la opción “Intersect” cargamos nuevamente las capas descritas. Con este proceso se obtiene una nueva capa de ZAA que mantienen la misma aptitud agroecológica tanto en el escenario base como en el RCP 4.5. El mismo proceso se desarrolló entre el escenario base y el RCP 8.5

4.4.2. Obtención de zonas que dejaron de mantener aptitud agroecológica entre escenarios

Se procedió a cargar en el programa ArcGIS las capas de ZAA del escenario base y del RCP 4.5, luego nos dirigimos a la caja de herramientas e ingresamos en el ícono desplegable “Analysis Tools”, acto seguido ingresamos en el ícono “Overlay” y finalmente hacemos uso de la opción “Erase”, aquí cargamos la capa de ZAA del escenario base y luego cargamos la capa de ZAA del RCP 4.5. Con este proceso se

obtuvo una nueva capa de zonas que dejaron de mantener aptitud agroecológica en el RCP 4.5 en relación a las ZAA del escenario base. El mismo proceso se desarrolló entre el escenario base y el RCP 8.5.

4.4.3. Obtención de las nuevas zonas con aptitud agroecológica entre escenarios

Para este proceso se cargó en el programa ArGIS las capas de ZAA del escenario base y las ZAA del RCP 4.5, luego nos dirigimos a la caja de herramientas e ingresamos en el ícono desplegable “Analysis Tools”, presionamos en el ícono “Overlay” y finalmente hacemos uso de la opción “Erase”, aquí cargamos la capa de ZAA del RCP 4.5 y luego cargamos la capa de ZAA del escenario base. Con este proceso generamos una nueva capa que contiene las nuevas ZAA del RCP 4.5 que no se presentaron en el escenario base. El mismo proceso se desarrolló entre el escenario base y el RCP 8.5.

4.5. Metodología para la identificación del Uso Actual del Suelo en las áreas definidas como ZAA para cultivo de Café (*Coffea arabica* L.) para el Escenario Base

Para conseguir este objetivo se efectuó lo descrito en la sección 4.4.3 (recorte de capas) a la capa de cobertura y uso de suelo, a fin de trabajar únicamente con información de la provincia de Loja. Luego de ello, se efectuó lo descrito en la sección 4.4.5 (sobreposición de capas) lo cual consistió en cargar en el programa ArcGIS la capa de ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) del escenario base y la capa de uso actual del suelo, luego nos dirigimos a opción “Intersect” ubicada en el ícono “Geoprocessing” y cargamos las capas descritas. Dicho proceso permitió determinar qué uso de suelo existe en las ZAA consideradas para el escenario base. Finalmente se efectuó lo descrito en el numeral 4.4.6 para representar el mapa de conflictividad de uso de suelo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para asegurar una mayor comprensión de los resultados, estos se presentan en el siguiente orden: i) primero se expone los parámetros agroecológicos que requiere el café (*Coffea arabica* L.) para su correcto desarrollo; ii) luego, se presenta por separado las Zonas con Aptitud Geomorfológica (ZAGm), Aptitud Geopedológica (ZAGp) y Aptitud Climática (ZAC) para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.); iii) después se presentan las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), de acuerdo al escenario base (1981-2010) y a los RCP 4.5 y 8.5. (2011-2040). En este capítulo también se muestran los cambios que se han dado en la distribución espacial de las ZAA bajo cada escenario; y, iv) finalmente se detalla la cobertura y el uso del suelo presente en las ZAA para el escenario base.

5.1. Requerimiento Agroecológico del Café (*Coffea arabica* L.)

Los resultados obtenidos a partir de la revisión bibliográfica muestran que para efectuar la zonificación agroecológica es necesario realizar una adecuada identificación de los requerimientos agroecológicos que necesita el café y las condiciones ambientales de un área en particular donde se pretende establecer la especie. Solo así se establecerá correctamente las áreas potenciales para cultivarlo y se obtendrán mejores resultados en cuanto a rendimientos de producción (Cuadro 5). Esto va en línea con lo mencionado por Soto et al., (2001) y González & Hernández (2016) quienes indican que, considerando los dos aspectos mencionados se podrá delimitar de forma precisa las zonas que poseen las condiciones necesarias para el cultivo del café, lo que permitiría la obtención de rangos óptimos de producción/ha.

Estudios como INIAP (1987), INIAP (2013), COFENAC (2013), MAGAP (2014c), Rivera et al. (2013), González y Hernández (2016), entre otros autores, corroboran lo antes mencionado. Estos autores consideran que las zonas que cumplen con los requerimientos agroecológicos para el cultivo del café reducen considerablemente el

riesgo de problemas fitosanitarios en las plantaciones. Condiciones climáticas, geomorfológicas y de geopedología no aptas para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) incrementarían el riesgo a presentar problemas en el desarrollo fisiológico de la raíz, hojas, flor y granos, lo que conllevarían a una baja productividad e incluso la muerte de la planta.

Cuadro 5. Requerimientos agroecológicos para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Factor	Variable	Aptitud agroecológica	Referencias
Climático	Precipitación	800-1.800 mm/año	INIAP, 1987; INIAP, 2013; COFENAC, 2013; MAG, 2014; González y Hernández, 2016; Ochoa et al., 2017; Cámara de Agricultura del Ecuador, 2020
	Temperatura	16 °C - 24°C	INIAP, 1987; MAG, 2013; INIAP, 2013; COFENAC, 2013; MAG, 2014; González y Hernández, 2016; Ochoa et al., 2017; Cámara de Agricultura del Ecuador, 2020
Geomorfológico	Altitud	600 - 2.000 m.s.n.m.	INIAP, 1987; MAG, 2013; INIAP, 2013; COFENAC, 2013; MAG, 2014; González y Hernández, 2016; Ochoa et al., 2017; Cámara de Agricultura del Ecuador, 2021
	Pendiente	Menor 40%	MAG, 2013; MAG, 2014; González y Hernández, 2016; Ochoa et al., 2017
Geopedológico	Textura	Franco, limoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso, arcilloso, arcillo arenoso, arcillo limoso (arenoso franco)	INIAP, 1987; INIAP, 2013; MAG, 2013; MAG, 2014; Ochoa, Ochoa et al., 2017; Fernández, 2017
	Profundidad	Mayor a 40 cm	MAG, 2014; Ochoa et al., 2017; Fernández, 2017
	Pedregosidad	Sin, Muy poca, Poca	MAG, 2014; Ochoa et al., 2017; Fernández, 2017
	Drenaje	Bueno, moderado	INIAP, 1987; INIAP, 2013, MAG, 2014 Fernández, 2017
	pH	Ligeramente ácido neutro (5,5-6,5)	INIAP, 1987; INIAP, 2013; Ochoa et al., 2017; Fernández, 2017; Cámara de Agricultura del Ecuador, 2020
	MO	Muy alto, alto	INIAP, 1987; INIAP, 2013; MAG, 2013
	Toxicidad	Sin o nula	INIAP, 1987; INIAP, 2013, MAG, 2014 Fernández, 2017

5.2. Zonas con Aptitud Geomorfológica, Geopedológica y Climática para el Cultivo del Café (*Coffea arabica* L.)

5.2.1. Zonas con Aptitud Geomorfológica (ZAGm)

Considerando el factor geomorfológico (altitud y pendiente) se determinó que 553.535,49 Ha que corresponde al 50,3% del total de la superficie de la provincia de Loja, son aptas para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Estas zonas poseen mayor representatividad al noroeste y en la parte centro de la provincia, mientras que para el noreste y sureste se aprecia una disminución considerable de las mismas. Los cantones con mayor potencial geomorfológico para el cultivo de esta especie son: Paltas con 79.269,42 Ha seguido de Calvas con 55.185,68 Ha; los cantones con menor aptitud geomorfológica son: Olmedo con 8.473,37 Ha seguido de Quilanga con 10.571,63 Ha (Figura 8 y Cuadro 6).

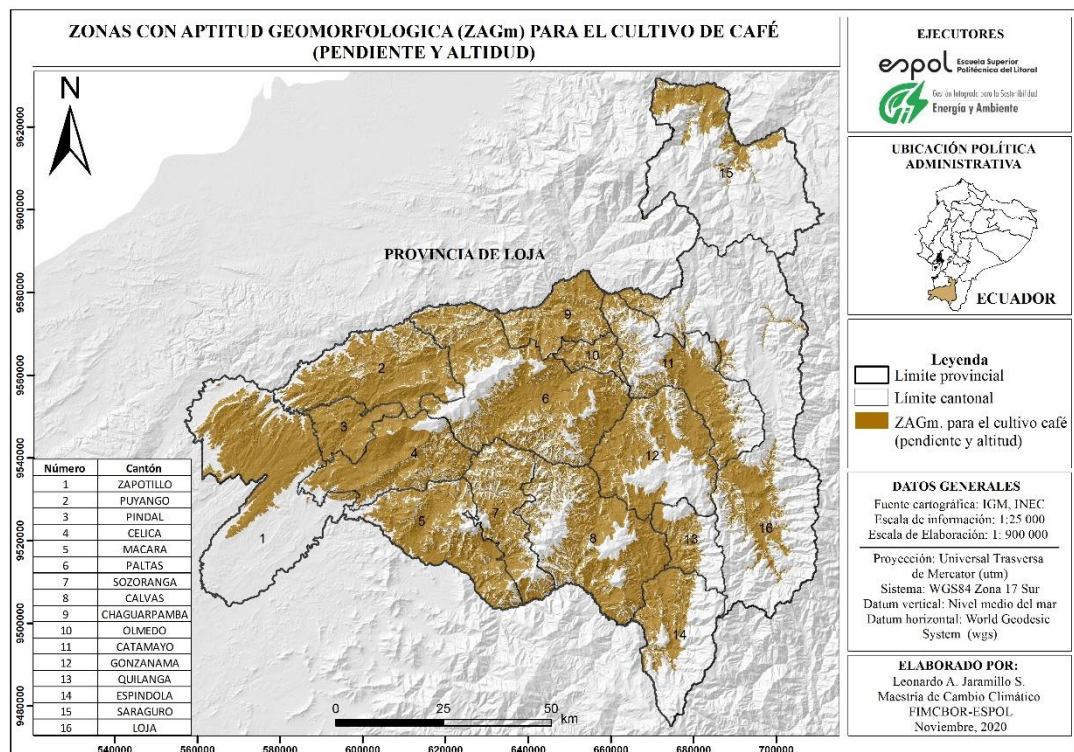


Figura 8. Mapa de ZAGm para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja

Cuadro 6. Detalle de las ZAGm para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja

Cantón	ZAGm (ha)	Superficie cantonal (ha)	% de ZAGm respecto al cantón	% de ZAGm respecto a la provincia.
Paltas	79.269,42	115.616,47	68,56	7,16
Calvas	55.185,68	85.100,23	64,85	4,99
Zapotillo	50.140,55	121.157,79	41,38	4,53
Puyango	49.746,11	63.698,89	78,10	4,50
Macará	43.019,44	57.302,41	75,07	3,89
Celica	41.338,27	52.159,82	79,25	3,74
Gonzanamá	40.601,68	68.190,62	59,54	3,67
Catamayo	33.934,62	65.184,32	52,06	3,07
Loja	29.348,80	189.124,76	15,52	2,65
Sozoranga	27.934,18	42.188,25	66,21	2,52
Chaguarpamba	26.144,19	31.322,81	83,47	2,36
Espíndola	19.930,96	51.623,47	38,61	1,80
Pindal	19.310,48	20.200,25	95,60	1,75
Saraguro	18.541,57	108.487,62	17,09	1,68
Quilanga	10.571,63	23.652,43	44,70	0,96
Olmedo	8.473,37	11.377,73	74,47	0,77
TOTAL	553.490,96	1.106.387,87		50,03

5.2.2. Zonas con Aptitud Geopedológica (ZAGp)

Con relación a al factor geopedológico (textura, profundidad, drenaje, pH, toxicidad, MO, salinidad y fertilidad) se determinó que 573.727,29 Ha que corresponden al 51,86% del total de la provincia de Loja, son aptas para el cultivo de café. Dichas zonas se concentran notablemente al noroeste y suroeste de la provincia, mientras que en la parte noreste y sureste se verifica menor representatividad.

Los cantones con mayor aptitud geopedológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) son: Loja con 89.114,30 Ha seguido de Zapotillo con 85.344,50 Ha. Por otro lado, los cantones con menor aptitud son: Olmedo con 6.300,25 Ha seguido de Quilanga con 7.408,77 Ha (Figura 9 y Cuadro 7).

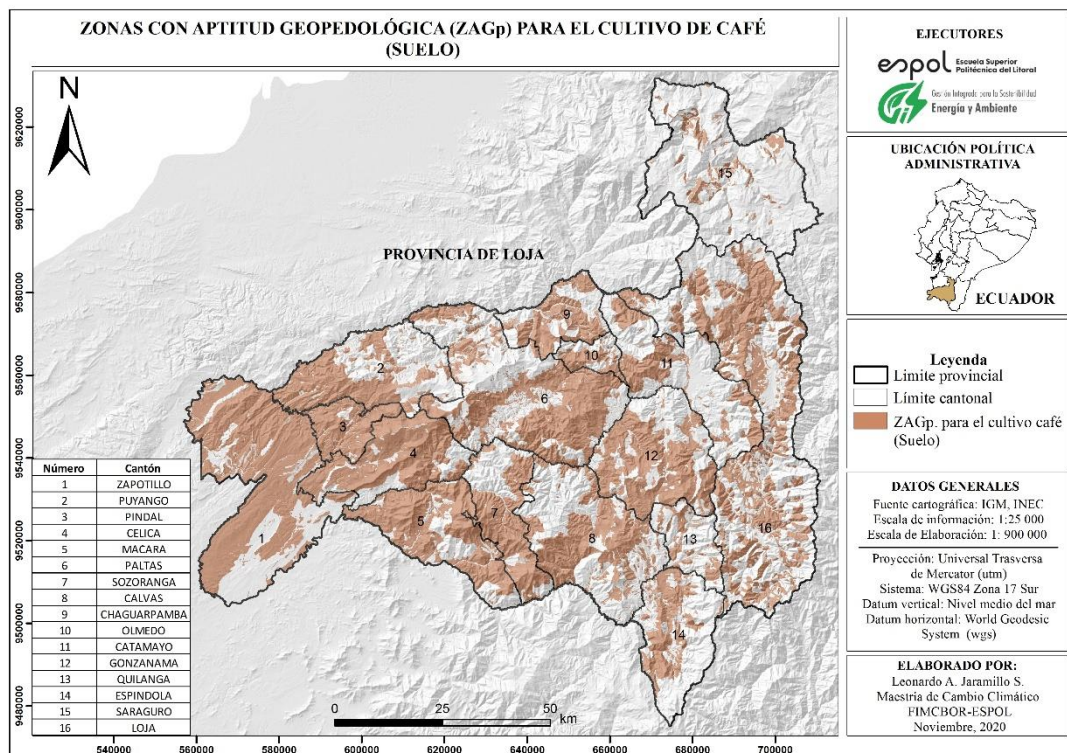


Figura 9. Mapa de ZAGp para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja.

Cuadro 7. Detalle de las ZAGp para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja

Cantón	ZAGp (ha)	Superficie cantonal (ha)	% de ZAGp respecto al cantón	% de ZAGp respecto a la provincia.
Loja	89.114,30	189.124,76	47,12	8,05
Zapotillo	85.344,50	121.157,79	70,44	7,71
Paltas	65.910,02	115.616,47	57,01	5,96
Gonzanamá	43.616,51	68.190,62	63,96	3,94
Macará	43.276,95	57.302,41	75,52	3,91
Celica	40.944,40	52.159,82	78,50	3,70
Calvas	39.607,73	85.100,23	46,54	3,58
Puyango	34.072,97	63.698,89	53,49	3,08
Sozoranga	28.108,49	42.188,25	66,63	2,54
Catamayo	21.704,52	65.184,32	33,30	1,96
Espíndola	19.731,31	51.623,47	38,22	1,78
Chaguarpamba	18.986,93	31.322,81	60,62	1,72
Pindal	18.633,07	20.200,25	92,24	1,68
Saraguro	10.966,56	108.487,62	10,11	0,99
Quilanga	7.408,77	23.652,43	31,32	0,67
Olmedo	6.300,25	11.377,73	55,37	0,57
Total	573.727,29	1.106.387,87		51,86

5.2.3. Zonas con Aptitud Climática (ZAC)

Con base a los datos de las proyecciones climáticas para el Ecuador, se efectuó un análisis cartográfico para definir la distribución de las zonas con aptitud climática para el cultivo en función a: i) escenario base (1981-2010); ii) RCP 4.5 (2011-2040); y, iii) RCP 8.5 (2011-2040).

Es preciso mencionar que las proyecciones climáticas de Ecuador presentan un grado de incertidumbre debido a la data histórica utilizada. Esto va de la mano con lo mencionado por Cadilhac et al., (2017) quienes afirman que la información sobre los impactos potenciales del cambio climático en los diferentes sectores en Ecuador es escasa, y los registros meteorológicos presentan vacíos importantes que dificultan determinar con precisión las tendencias climáticas en todas las regiones del país.

Considerando lo indicado, la predicción de los impactos que ocasionaría el cambio climático sobre el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) es incierta. La información que se genera a partir de las proyecciones climáticas presenta un sesgo en cuanto a la determinación del impacto del fenómeno sobre el cultivo, sin embargo, permite dimensionar de mejor manera cuales podrían ser las repercusiones si se tuviera un clima cambiante en la zona de estudio.

a) Escenario base (1981-2010)

Para el escenario base (1981-2010) se determinó que en la provincia de Loja las ZAC para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) se distribuyen en 695.824,35 Ha, lo que representa el 62,89% del territorio provincial. Las ZAC para este escenario se concentran en la parte céntrica y noroeste de la provincia, mientras que para la zona noreste y suroeste se divisa áreas con poco potencial climático para el cultivo esta especie (Figura 10a).

Los cantones con mayor ZAC para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) son: Paltas con 107.652,79 Ha y Calvas con 81.871,38 Ha. Por el contrario, los cantones con menor aptitud climática son: Olmedo y Saraguro con 11.376,28 Ha y 1.444,04 Ha respectivamente.

Es importante mencionar que, considerando el área que ocupan las ZAC dentro de cada cantón, Olmedo y Chaguarpamba mantienen en gran parte de su territorio zonas climáticamente aptas para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) (99,91 % y el 99,58 % respectivamente), realidad que se no presenta en los cantones de Zapotillo y Saraguro los cuales poseen un menor porcentaje de ZAC (29,68 % y 1,33% respectivamente) respecto a su superficie total cantonal (Cuadro 8).

Cuadro 8. Detalle de las ZAC para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) considerando la precipitación y temperatura del escenario base

Cantón	ZAC (ha)	% de ZAC respecto al cantón	% de ZAC respecto a la provincia
Paltas	107.652,79	93,11	9,73
Calvas	81.871,38	96,21	7,40
Loja	64.780,65	34,25	5,86
Gonzanamá	58.326,40	85,53	5,27
Catamayo	53.972,10	82,80	4,88
Puyango	52.822,03	82,92	4,77
Macará	46.545,22	81,23	4,21
Celica	44.620,87	85,55	4,03
Sozoranga	41.133,40	97,50	3,72
Zapotillo	35.953,69	29,68	3,25
Chaguarpamba	31.191,21	99,58	2,82
Espíndola	29.177,94	56,52	2,64
Pindal	19.009,92	94,11	1,72
Quilanga	15.955,44	67,46	1,44
Olmedo	11.367,28	99,91	1,03
Saraguro	1.444,04	1,33	0,13
TOTAL	695.824,35		62,89

b) RCP 4.5 (2011-2040)

Para el RCP 4.5 (2011-2040) se verifica que las ZAC mantienen un total de 677.373,42 Ha, ocupando el 61,22% del territorio provincial. Tomando como referencia las ZAC del escenario base (1981-2010), se corrobora que para el RCP 4.5 existe una reducción de ZAC de 71.169,36 Ha.

Los cantones que presentaron mayor reducción de las ZAC son: Puyango con 11.438,20 Ha seguido de Zapotillo con 10.933,27 Ha. Los cantones que presentan un aumento considerable de las ZAC dentro de su territorio son: Loja con 25.478,93 Ha seguido de Catamayo con 5.252,65 Ha (Cuadro 9 y Figura 10b).

Cuadro 9. Detalle de las ZAC para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) considerando la precipitación y temperatura del el RCP 4.5

Cantón	Z. que siguen manteniendo AC. (ha)	Z. que dejaron de mantener AC. (ha)	Z. que aumentaron su AC. (ha)	Total de Z. con AC (ha)	% de ZAC respecto al cantón	% de ZAC respecto a la provincia
Paltas	103.574,10	4.078,69	3.424,07	106.998,16	92,55	9,67
Loja	61.797,33	2.983,32	25.478,93	87.276,26	46,15	7,89
Calvas	81.868,55	2,83	2.307,64	84.176,19	98,91	7,61
Gonzanamá	58.326,40	-	4.876,23	63.202,62	92,69	5,71
Catamayo	53.954,67	17,43	5.252,65	59.207,33	90,83	5,35
Puyango	41.383,83	11.438,20	323,40	41.707,23	65,48	3,77
Sozoranga	40.779,80	353,60	657,45	41.437,25	98,22	3,75
Celica	38.739,07	5.881,80	512,15	39.251,22	75,25	3,55
Macará	35.611,95	10.933,27	461,36	36.073,30	62,95	3,26
Espíndola	29.173,33	4,61	2.738,15	31.911,47	61,82	2,88
Chaguarpamba	26.971,76	4.219,45	-	26.971,76	86,11	2,44
Quilanga	15.955,44	-	2.211,73	18.167,17	76,81	1,64
Pindal	14.501,54	4.508,38	-	14.501,54	71,79	1,31
Olmedo	11.367,28	-	10,45	11.377,73	100,00	1,03
Zapotillo	9.207,50	26.746,18	-	9.207,50	7,60	0,83
Saraguro	1.442,45	1,59	4.464,23	5.906,67	5,44	0,53
TOTAL	624.654,99	71.169,36	52.718,43	677.373,42		61,22

c) Escenario 8.5 (2011-2040)

Los datos demuestran que para el RCP 8.5 existirá un total de 678.095,39 Ha con aptitud climática para el cultivo de café, lo que representa al 61,29% de área total de la provincia. Contrastando las ZAC del escenario base (1981-2010) con las del RCP 8.5 se verifica un cambio en la distribución de dichas zonas, principalmente en la parte nor y sur occidental de la provincia (Figura 10c). Entre los dos escenarios se evidencia una reducción de ZAC de 74.428,42 Ha.

Los cantones con mayor reducción de ZAC son: Zapotillo con 27.481,81 Ha seguido de Puyango con 12.105,71 Ha. Los cantones que presentaron un área considerable de

nuevas ZAC dentro de su territorio son: Loja con 26.375,49 Ha seguido de Saraguro con 6.557,59 ha.

Cuadro 10. Detalle de las ZAC para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) considerando la precipitación y temperatura del RCP 8.5

Cantón	Z. que siguen manteniendo AC. (ha)	Z. que dejaron de mantener AC. (ha)	Nuevas ZAC. (ha)	Total de Z. con AC (ha)	% de ZAC respecto al cantón	% de ZAC respecto a la provincia
Paltas	103.204,99	4.447,80	3.607,99	106.812,98	92,39	9,65
Loja	62.864,83	1.915,81	26.375,49	89.240,32	47,19	8,07
Calvas	81.865,96	5,42	2.419,45	84.285,40	99,04	7,62
Gonzanamá	58.326,40	-	5.034,52	63.360,92	92,92	5,73
Catamayo	53.941,51	30,59	5.392,46	59.333,97	91,02	5,36
Sozoranga	40.687,93	445,48	696,00	41.383,92	98,09	3,74
Puyango	40.716,32	12.105,71	336,61	41.052,93	64,45	3,71
Celica	38.180,42	6.440,45	544,89	38.725,31	74,24	3,50
Macará	34.842,56	11.702,66	487,09	35.329,64	61,65	3,19
Espíndola	29.171,81	6,12	2.901,11	32.072,92	62,13	2,90
Chaguarpamba	26.371,34	4.819,87	-	26.371,34	84,19	2,38
Quilanga	15.955,44	-	2.335,84	18.291,28	77,33	1,65
Pindal	13.983,79	5.026,13	-	13.983,79	69,23	1,26
Olmedo	11.367,28	-	10,45	11.377,73	100,00	1,03
Zapotillo	8.471,88	27.481,81	-	8.471,88	6,99	0,77
Saraguro	1.443,47	0,57	6.557,59	8.001,06	7,38	0,72
TOTAL	621.395,92	74.428,42	56.699,47	678.095,39	1.128,24	61,29

Haciendo una síntesis de los resultados obtenidos en cuanto a las ZAC para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), se puede mencionar que su distribución espacial varía entre escenarios. Las zonas que permanecieron con la misma aptitud entre el escenario base y el RCP 4.5 fueron un total de 624.654,99 Ha, mientras que las zonas que dejaron de mantener aptitud mantuvieron un total de 71.169,36 Ha. Paralelo a dicha reducción, también se registro nuevas ZAC para el cultivo de esta especie las cuales abarcaron un área de 52.718,43 Ha.

Caso similar se presentó en la distribución espacial de las ZAC entre el escenario base y el RCP 8.5. Las áreas que siguieron manteniendo aptitud climática entre ambos escenarios sumaron un total de 621.395,92 Ha, mientras que las áreas que dejaron de mantener aptitud corresponden a un total de 74.428,42 Ha. Las nuevas áreas que registraron aptitud climática para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el RCP 8.5 sumaron un total de 56.699,47 Ha.

Los resultados obtenidos confirman que el cambio climático alteraría la distribución espacial de las Zonas con Aptitud Climática (ZAC) para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) Esto es corroborado por Isaza & Cornejo (2014) y Coffee & Climate (2016), quienes concluyen que el cambio climático causará que áreas que anteriormente mantenían aptitud climática en un futuro dejen de mantenerlo debido a que las precipitaciones y la temperatura ya no serán las adecuadas para el cultivo de esta especie. Además, coinciden en que con el fenómeno se obtendrá también nuevas ZAC. En este contexto, Camargo (2010) considera que si se establecen plantaciones de café en las áreas que ya no son aptas para la producción, la planta podría desarrollar ciertas enfermedades que afectarían a su desarrollo fisiológico.

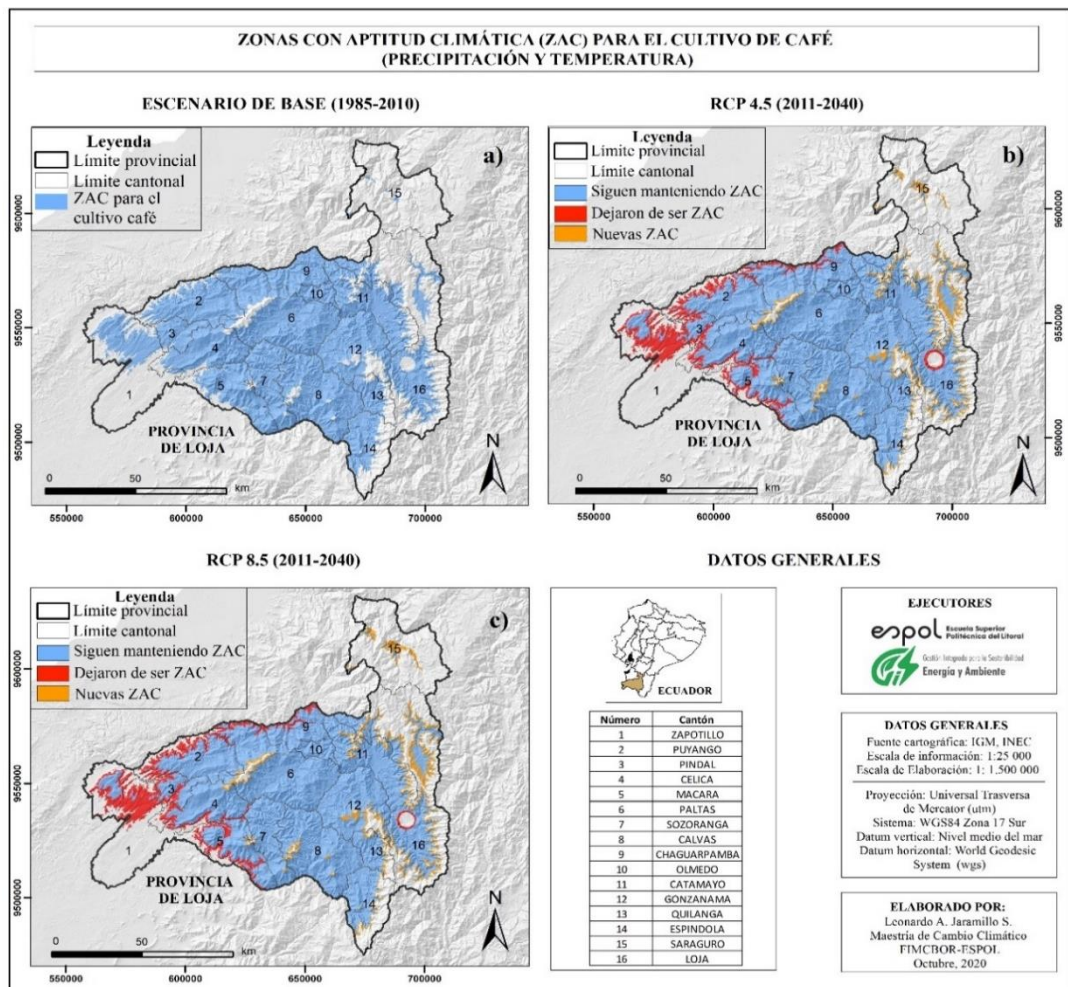


Figura 10. Mapa de ZAC para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja.

5.3. Distribución Espacial de las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el Cultivo de Café (*Coffea arabica* L.) por Escenario Climático

Luego de efectuar los análisis por factor (geomorfológico, geopedológico y climático), se determinó la distribución de las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja bajo los diferentes escenarios. A continuación se presenta la distribución de las ZAA, diferenciadas para cada escenario (Escenario base, RCP 4.5 y RCP 8.5).

5.3.1. Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) respecto al escenario base

De acuerdo con los resultados obtenidos, la provincia de Loja posee 308.283,52 Ha con aptitud agroecológica para la siembra de café (*Coffea arabica* L.), lo que representa al 27,86% del territorio provincial. Se aprecia que la distribución de estas zonas se presenta con mayor presencia en la parte noroeste, noreste y sureste, mientras que en la franja extrema no existe mayor representatividad de ZAA (Figura 11).

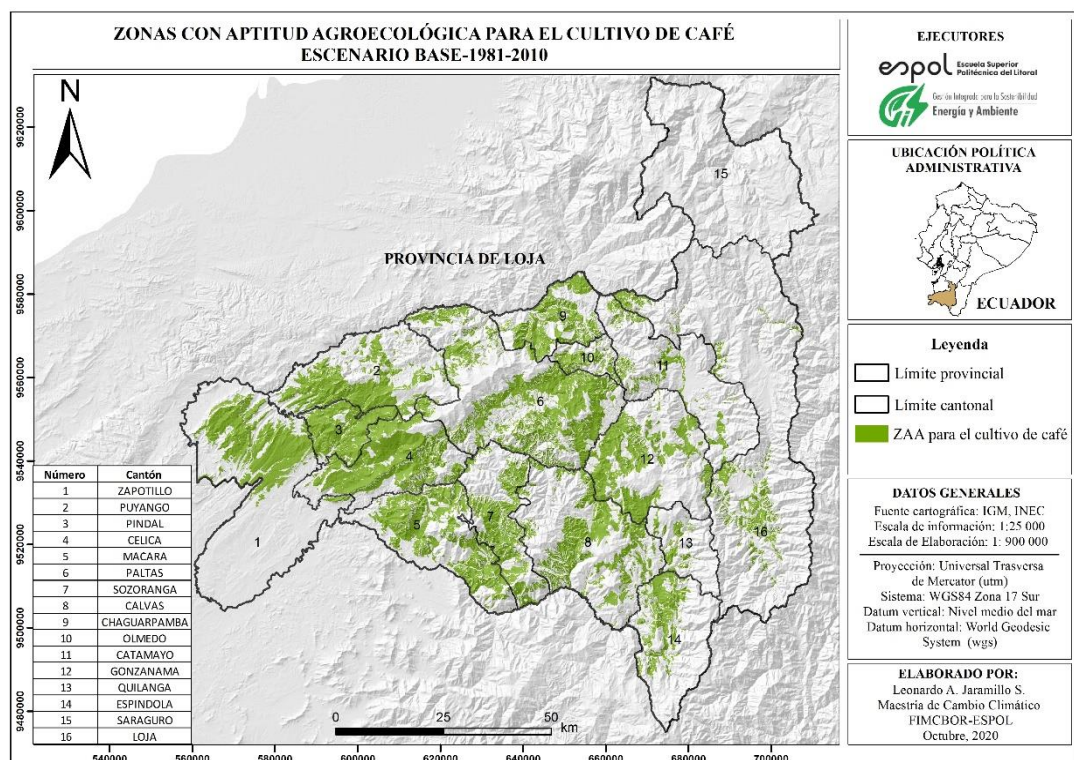


Figura 11. Mapa de ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al escenario base (1981-2010)

En el detalle de las ZAA por cantón, se verifica que Paltas con 47.450,43 Ha, Celica con 31.720,82 Ha, Zapotillo con 30.413,85 Ha y Macará con 27.601,30 Ha son los cantones que presentan mayor aptitud agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica L.*); Olmedo, Quilanga y Saraguro con 4.746,82 Ha, 3.523,80 Ha y 3,13 Ha respectivamente son los cantones con menor aptitud agroecológica (Figura 12).

Tomando en cuenta el porcentaje de ZAA dentro del cantón, se verifica que Pindal con 83,73% y Celica con 60,81% son los cantones con mayor superficie ocupada, caso contrario se presenta en los cantones de Loja y Saraguro los cuales poseen tan solo el 7,47% y el 0,00% respectivamente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Detalle de las ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica L.*) respecto al escenario base (1981-2010)

Cantón	ZAA (ha)	% de ZAA ocupada respecto al cantón	% de ZAA ocupada respecto a la provincial
Paltas	47.450,43	41,04	4,29
Celica	31.720,82	60,81	2,87
Zapotillo	30.413,85	25,10	2,75
Macará	27.601,30	48,17	2,49
Calvas	26.248,03	30,84	2,37
Gonzanamá	25.947,01	38,05	2,35
Puyango	24.881,56	39,06	2,25
Sozoranga	18.756,02	44,46	1,70
Pindal	16.914,23	83,73	1,53
Chaguarpamba	15.712,69	50,16	1,42
Loja	14.136,74	7,47	1,28
Espíndola	11.700,20	22,66	1,06
Catamayo	8.526,90	13,08	0,77
Olmedo	4.746,82	41,72	0,43
Quilanga	3.523,80	14,90	0,32
Saraguro	3,13	0,00	0,00
TOTAL	308.283,52		27,86

Con relación a los resultados descritos, los cantones que obtuvieron una mayor superficie de ZAA, según el MAG (2019), son los cantones que presentan menor área de siembra de café (*Coffea arabica L.*), y más bien han basado su economía en la producción de maíz y la ganadería. En cambio, los cantones que presentaron menor superficie de ZAA, según los mismo datos del MAG (2019), son los cantones que

actualmente registran plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) y abastecen de materia prima al mercado nacional e internacional.

Esto último va en concordancia con lo explicado por Rojas (2019) quien menciona que el principal cantón productor café (*Coffea arabica* L.) es Olmedo, seguido de Chaguarpamba, Puyango, Loja, y en menor proporción Calvas, Espíndola, Gonzanamá y Quilanga. COFENAC (2013) respalda lo descrito y asevera que los cantones mencionados poseen las mejores valoraciones en propiedades organolépticas a nivel nacional debido a que son áreas donde se puede producir café (*Coffea arabica* L.) de altura, producto con mayor demanda en el mercado por ser de especialidad.

Los cantones Paltas, Zapotillo, Macará y Pindal por décadas han implementado procesos de producción agrícola insostenibles en la mayoría de su territorio. No obstante, estos cantones presentan ZAA que podría favorecer el establecimiento de cultivos de café (*Coffea arabica* L.) en sistemas de producción combinados (agroforestales), contribuyendo así a la recuperación de los agro ecosistemas degradados. Según datos de MAG (2019) los cantones mencionados presentaron la siembra y renovación de 202 Ha de café (*Coffea arabica* L.).

De acuerdo con la información oficial del MAG (2019), en la provincia de Loja se ha registrado la siembra de alrededor de 29.500 Ha de café (*Coffea arabica* L.). Haciendo un contraste con esta información, y considerando que las zonas donde se ha sembrado esta especie sean zonas aptas para su cultivo, la provincia de Loja mantendría sembrada únicamente el 9 % del total de las ZAA definidas en la presente investigación.

5.3.2. Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) respecto al RCP 4.5 (2011-2040)

Considerando los datos climáticos para el RCP 4.5 (2011-2040) se determinó que 259.052,72 Ha mantienen aptitud agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), representando el 23,40 % del territorio provincial. Los análisis geográficos confirman que un total de 49.375,80 Ha dejaron de mantener aptitud agroecológica respecto al escenario base, reflejando que el cambio climático mantendrá impactos negativos sobre la distribución de las zonas aptas para la producción de café (*Coffea*

arabica L.). De acuerdo con la Figura 12, las zonas que dejaron de mantener aptitud agroecológica en mayores proporciones permanecen al noroeste, mientras que en menor cantidad se exponen en la parte noreste de la provincia. Por otro lado, se verifica que hubo un aumento de ZAA, las cuales suman un total de 145,00 Ha (Figura 12).

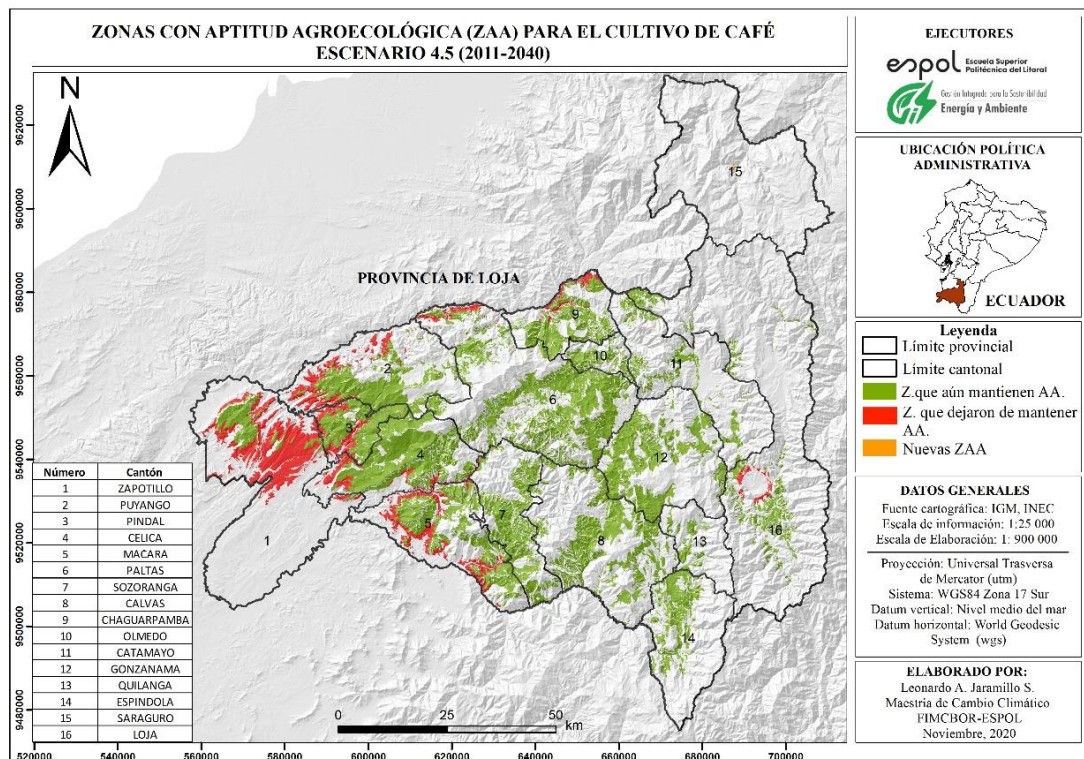


Figura 12. Mapa de las ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al RCP 4.5 (2011-2040)

En el cuadro 12 se puede verificar que los cantones con mayor reducción de ZAA son Zapotillo y Macará, con 22.588,21 Ha y 7.555,89 Ha correspondientemente, mientras que el cantón con mayor aumento de ZAA es Saraguro con 142,23 Ha. Considerando el total de ZAA, los cantones que sobresalen son Paltas con 45.725,75 y Celica con 28.201,65 Ha, mientras que Quilanga y Olmedo son los cantones con menor ZAA con 4.746,82 Ha y 3.523,80 Ha respectivamente.

Cuadro 12. Detalle de las ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al RCP 4.5 (2011-2040)

Cantón	Z. que siguen manteniendo AA. (ha)	Z. que dejaron de mantener AA. (ha)	Nuevas ZAA. (ha)	Total de Z. con AA (ha)	% de ZAA respecto al cantón	% de ZAA respecto a la provincia
Paltas	45.725,75	1.724,68	-	45.725,75	39,55	4,13
Celica	28.201,65	3.519,16	-	28.201,65	54,07	2,55
Calvas	26.248,03	-	0,02	26.248,05	30,84	2,37
Gonzanamá	25.947,01	-	-	25.947,01	38,05	2,35
Macará	20.045,41	7.555,89	-	20.045,41	34,98	1,81
Sozoranga	18.598,08	157,95	0,12	18.598,20	44,08	1,68
Puyango	18.401,91	6.479,65	-	18.401,91	28,89	1,66
Chaguarpamba	13.620,03	2.092,66	-	13.620,03	43,48	1,23
Pindal	13.056,46	3.857,77	-	13.056,46	64,64	1,18
Loja	12.738,44	1.398,29	0,81	12.739,25	6,74	1,15
Espíndola	11.699,27	0,92	1,82	11.701,09	22,67	1,06
Catamayo	8.526,29	0,61	-	8.526,29	13,08	0,77
Zapotillo	7.825,64	22.588,21	-	7.825,64	6,46	0,71
Olmedo	4.746,82	-	-	4.746,82	41,72	0,43
Quilanga	3.523,80	-	-	3.523,80	14,9	0,32
Saraguro	3,13	-	142,23	145,36	0,13	0,01
TOTAL	258.907,72	49.375,80	145,00	259.052,72		23,41

5.3.3. Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) respecto al RCP 8.5 (2011-2040)

Conforme a los resultados obtenidos en los análisis cartográficos, bajo el RCP 8.5 (2011-2040) se encuentran 256.651,46 Ha con aptitud agroecológica, mismas que representan el 23,20% del territorio provincial. Efectuando una comparación entre las ZAA del escenario base y el RCP 8.5 se determinó que: 256.417,80 Ha aún siguen mantenido aptitud agroecológica; 51.865,72 Ha dejaron de mantener aptitud agroecológica; y, 233,66 ha se establecieron como nuevas ZAA (Figura 13).

Los cantones que presentaron mayor reducción de sus ZAA respecto al escenario base son Zapotillo y Macará con 23.188,55 Ha y 8.071,18 respectivamente, mientras que Saraguro es el cantón que mostró mayor incremento de nuevas zonas con aptitud agroecológica a nivel de todos los cantones con 230,14 Ha (Figura 13, Cuadro 13). Considerando el área total de cada cantón, se verifica que los cantones de Pindal y Celica (62,43 % y 53,23% respectivamente) mantienen mayor porcentaje de ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), mientras que los cantones de Saraguro y Zapotillo presentan menor porcentaje ZAA (0,22% y 5,96% respectivamente).

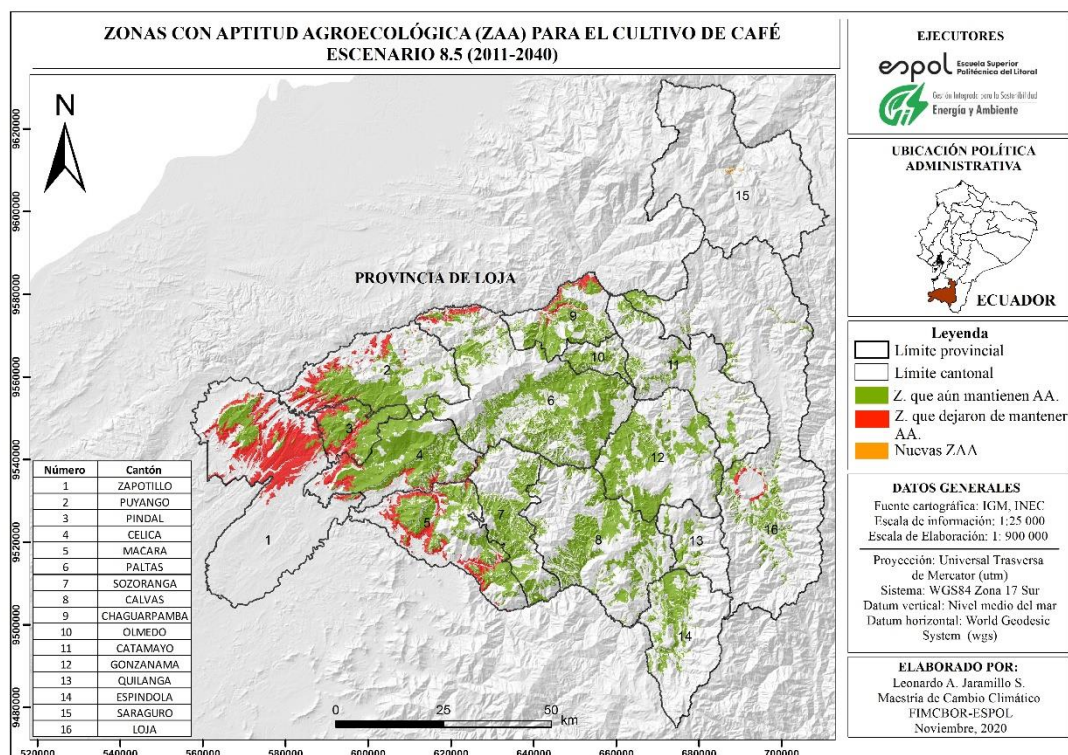


Figura 13. Mapa de ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al RCP 8.5 (2011-2040)

Cuadro 13. Detalle de las ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) respecto al RCP 8.5 (2011-2010).

Cantón	Z. que siguen manteniendo AA. (ha)	Z. que dejaron de mantener AA. (ha)	Nuevas ZAA. (ha)	Total de Z. con AA (ha)	% de ZAA respecto al cantón	% de ZAA respecto a la provincia
Paltas	45.575,77	1.874,66	-	45.575,77	39,42	4,12
Celica	27.763,54	3.957,28	-	27.763,54	53,23	2,51
Calvas	26.248,03	-	0,02	26.248,05	30,84	2,37
Gonzanamá	25.947,01	-	-	25.947,01	38,05	2,35
Macará	19.530,12	8.071,18	-	19.530,12	34,08	1,77
Sozoranga	18.540,16	215,87	0,40	18.540,55	43,95	1,68
Puyango	18.031,01	6.850,55	-	18.031,01	28,31	1,63
Chaguarpamba	13.277,20	2.435,48	-	13.277,20	42,39	1,20
Loja	13.168,67	968,07	1,36	13.170,03	6,96	1,19
Pindal	12.611,52	4.302,71	-	12.611,52	62,43	1,14
Espíndola	11.699,49	0,71	1,75	11.701,24	22,67	1,06
Catamayo	8.526,24	0,66	-	8.526,24	13,08	0,77
Zapotillo	7.225,29	23.188,55	-	7.225,29	5,96	0,65
Olmedo	4.746,82	-	-	4.746,82	41,72	0,43
Quilanga	3.523,80	-	-	3.523,80	14,90	0,32
Saraguro	3,13	-	230,14	233,27	0,22	0,02
TOTAL	256.417,80	51.865,72	233,66	256.651,46		23,20

Haciendo un contraste entre los resultados obtenidos por factor en la sección 5.2 (Zonas con aptitud geomorfológica, geopedológica y climática) y los descritos en esta sección 5.3 (Zonas con Aptitud Agroecológica para cada escenario), se evidencia notablemente una diferencia en los porcentajes de áreas obtenidos a nivel provincial para cada análisis. Al efectuar individualmente la sobreposición de capas de las variables del factor geomorfológico (altitud y pendiente), geopedológico (suelo) y climático (temperatura y precipitación) se obtuvo como áreas potenciales para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) alrededor del 50 % de la superficie provincial, sin embargo, al efectuar la sobreposición de capas de todos los factores y consolidarlos en un solo cuerpo, cambió ampliamente el panorama. Las zonas que cumplían con las condiciones para que se desarrolle la especie se redujeron aproximadamente al 25 % del área total de la provincia.

Esto va en línea con lo concluido por Soto et al. (2001b), quien menciona que en algunos casos las zonificaciones agroecológicas no se consideran todos los factores que determinan las áreas aptas para el cultivo del café, y, por tanto no existe una delimitación correcta de áreas aptas para el establecimiento de la especie. Si se definen adecuadamente los parámetros agroecológicos que necesita el café, los trabajos relacionados al tema serán de mayor confiabilidad.

Considerando los resultados obtenidos en el análisis de ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes escenarios climáticos, se aprecia que la provincia de Loja mantiene un alto potencial para el cultivo de café, a pesar de ello, se corrobora que el cambio climático causaría afectaciones en la distribución de las ZAA bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5. Esto va en concordancia con Coffee & Climate (2016) quien menciona que el cambio climático será uno de los factores más importantes que afectará a la producción de café. Los impactos son muy específicos para cada región geográfica pero pueden presentarse en tres situaciones marcadas, principalmente en lo concerniente a la distribución donde se desarrolla la especie: i) áreas que ya no son disponibles para la producción cafetalera; ii) áreas aún disponibles donde se debe hacer

adaptación técnica de la producción; y, iii) áreas nuevas apropiadas donde se podría empezar a cultivar café.

Según los resultados alcanzados, en el escenario base (1981-2010) se obtuvo un total de 308.283,52 Ha con aptitud agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.), mientras que en los RCP 4,5 y RCP 8,5 se obtuvieron 259.052,72 ha y 256.885,11 Ha respectivamente; es decir que, para el RCP 4,5 se redujeron 49.230,80 Ha respecto al escenario base, y para el RCP 8.5 se redujeron 51.398,40 Ha respecto al mismo escenario base.

Las zonas que conservaron la aptitud agroecológica entre el escenario base y el RCP 4.5 fueron 258.907,72 Ha, mientras que entre el escenario base y el RCP 8.5 fueron 256.651,46 Ha. Las zonas que aún siguen presentando aptitud agroecológica en los RCP 4.5 y 8.5 respecto al escenario base responden a que los requerimientos climáticos para el cultivo de la especie están dentro de los rangos óptimos.

Baker & Hagggar (2012) y Isaza & Cornejo (2014) coinciden en que el cambio climático causará que, en las áreas montañosas cambien las zonas adecuadas para el crecimiento del café hacia zonas de mayor altitud. Estiman también que si a finales de este siglo las temperaturas aumentan en unos 3°C (algunos expertos creen que un aumento de hasta 5°C es posible), el límite inferior de altitud para el crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) de buena calidad puede aumentar en alrededor de 4,5 msnm/ año, es decir, que con el tiempo las áreas que son actualmente demasiado frías para el café podrían ser adecuadas para su producción.

Lo descrito justificaría los resultados obtenidos en cuanto a las nuevas ZAA para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.), a pesar de notarse una disminución en las áreas con aptitud agroecológica en los RCP 4.5 y 8.5, también se presentaron nuevas ZAA que no se habían registrado en el escenario base (145 Ha para el RCP 4.5 y 233 Ha para el RCP 8.5).

Según Field (2014) y López & Hernández (2016), las proyecciones climáticas indican que durante los próximos años el aumento de la temperatura puede venir acompañado de un crecimiento en la producción, pero este probablemente sea un panorama positivo para los países desarrollados. Para los países en vía de desarrollo como Ecuador, se enfrentaría a los impactos del clima, disminuyendo sus cosechas y ocasionando la desestabilización económica para la población que depende del sector productivo. Esto mantiene estrecha relación con los resultados obtenidos en la presente investigación. Los análisis geográficos efectuados indican que el cambio climático causaría alteraciones en la distribución espacial de la ZAA, lo cual podría ocasionar bajas en los rendimientos productivos debido a que la precipitación y temperatura ya no estarán dentro de los rangos óptimos para el desarrollo efectivo del cultivo.

La variación de precipitación y temperatura podría provocar fuertes daños en el desarrollo del café (*Coffea arabica* L.), provocando la pérdida de las plantaciones y con ello mermas en la economía de quienes cultivan la especie. Respecto a ello, Camargo (2010) y Rivera, et al., (2013) mencionan que la variación anual de la producción de café está relacionada principalmente con la variación climática, debido a que los factores climáticos afectan el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo. El proceso de la fotosíntesis se limita cuando se produce el estrés hídrico, debido al cierre de estomas y a la reducción de actividades fisiológicas de la planta. Otro factor climático que puede reducir la productividad son las temperaturas extremas del aire, menores a 4 °C ocasionando el amarillamiento de las hojas y muerte de tejidos y brotes, mientras que temperaturas mayores a 30 °C reducen la fotosíntesis y provocan el aborto de flores, lo que resulta finalmente en una pérdida de la cosecha.

Villers et al., (2009) y CEPAL (2014) corrobora lo dicho. Estos autores consideran que los rendimientos del cultivo por hectárea se reducirán debido a que zonas que mantuvieron aptitud para el cultivo de la especie, en un futuro reducirán al ya no presentar las condiciones necesarias de precipitación y temperatura aptas para su desarrollo. El aumento que las variaciones de temperatura y precipitación serán

perjudiciales para el café ya que disminuirá su floración y por lo tanto no se desarrollará el fruto.

Las condiciones de temperatura y las precipitaciones son algunos de los principales factores climáticos relacionados con la producción y tienen mayor impacto en las cosechas, por tanto, si en la provincia de Loja se establecen áreas de producción en las zonas que dejaron de mantener aptitud agroecológica en los RCP 4.5 y 8.5 respecto al escenario base, podrían verse afectado el rendimiento del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) y con ello, la economía de los agricultores que dependen de este medio de vida. Isaza & Cornejo (2014) establecieron que la situación del cambio climático puede llevar a redefinir la vocación de uso de muchas regiones cafeteras. Esto tendría implicaciones sociales y económicas que deben valorarse en detalle para que las comunidades rurales no terminen siendo las principales afectadas y altamente impactadas de manera negativa

Se evidenció que un correcto análisis de zonificación agroecológica del cultivo del café permitirá enfocar acciones específicas para que los agricultores reduzcan su vulnerabilidad frente a impactos negativos de cambio climático en un área determinada. Según Isaza & Cornejo (2014) la mayoría de agricultores que se dedican a la producción del café, no han implementado medidas de adaptación al cambio climático y dependen únicamente de las precipitaciones, ubicándolos en una posición de vulnerabilidad frente a este fenómeno. Lo mencionado mantiene relación con la realidad socioambiental de la provincia de Loja, la mayor parte de las plantaciones cafetaleras se encuentran bajo un sistema de producción convencional que no les permite obtener resultados alentadores, y más bien los hace más vulnerables a las amenazas climáticas como la sequía, que desde hace décadas ha perjudicado a este territorio.

Con base a los conversatorios desarrollados con productores y técnicos especialistas en el marco del proyecto Manejos Sostenible de la Tierra (MST) implementado por la FAO y MAE, se menciona que en la provincia de Loja existe una problemática seria en cuanto a procesos de adaptación al cambio climático en áreas de producción

cafetalera. En la provincia existe un número considerable de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) que no presentan un adecuado manejo en cuanto a fertilización, riego, podas y cosecha, lo que ha conllevado a obtener un rendimiento promedio de 7 quintales de café (en grano) por hectárea, siendo este comercializado al mercado local en un precio no mayor a 120 USD/qq. Estos datos, vistos desde cualquier punto de desarrollo económico no son nada alentadores. La baja rentabilidad, la poca capacidad financiera para establecer cultivos de café (*Coffea arabica* L.) semi tecnificados, y la variabilidad climática registrada en los últimos tiempos ha hecho que los productores obtén por remplazar esta especie por monocultivo menos exigentes en cuanto a riego, dando paso a otra problemática relacionada con la degradación de los ecosistemas naturales y agrícolas.

Los agricultores que han renovado su café con variedades de especialidad y han establecido medidas de adaptación al cambio climático (producción tecnificada o semi tecnificada) presentan mayor resiliencia a los problemas que se dan en el cultivo de café, principalmente por las bajas precipitaciones. Las fincas que han establecido reservorios de agua, sistemas de riego por goteo y un buen plan de fertilización, mantienen un rendimiento entre 30 a 40 quintales (óptimo) de café (*Coffea arabica* L.) en grano por hectárea, y llega a ser comercializado entre 400 y 500 USD/qq.

El café (*Coffea arabica* L.) producido en la provincia de Loja tiene reconocimientos importantes a nivel internacional. El concurso nacional denominado “Taza Dorada” que se desarrolla desde el año 2010 ha reunido a reconocidos compradores de café de especialidad que cada vez muestran mayor interés por establecer acuerdos de cooperación entre empresas extranjeras y productores locales para la exportación del café (*Coffea arabica* L.) a mediana y gran escala, y a un precio muy rentable. Según ANECAFE el ganador de la taza dorada del 2019 mantuvo ofertas de compradores extranjeros (Asia y EEUU principalmente) que ofrecieron adquirir el lote de café (*Coffea arabica* L.) a un precio de 20 USD por kilo de café en grano, es decir 1.120 dólares por quintal (125 lb). Existen experiencias en la provincia donde el kilo de café

(*Coffea arabica* L.) en grano llegó a ser comercializado en el mercado asiático en 60 USD, lo que representa a 3.360 USD por quintal (125 lb).

Bajo este contexto, la zonificación agroecológica permitirá priorizar áreas donde exista mayor probabilidad de un adecuado desarrollo de la especie, de tal manera que, con esta investigación también se contribuye a que los actores (como instituciones, proyecto o agricultores) puedan tomar adecuadas decisiones y evitar pérdidas económicas por la instalación de sistemas productivos en áreas no aptas para su cultivo.

Los resultados obtenidos guardan estrecha relación con lo mencionado por González & Hernández (2016), quienes comentan que una adecuada zonificación agroecológica indiscutiblemente contribuye a los procesos de optimización del uso de suelo y, en especial, a fomentar la instalación de plantaciones de café en áreas aptas para su cultivo, mismas que deben promoverse con base a un consenso entre todos los actores sociales para su implementación como modelo de desarrollo sostenible, evitando así el desgaste y la improductividad de los suelos, y más bien obteniendo rangos óptimos de producción.

5.4. Identificación del Uso Actual del Suelo en las ZAA para Cultivo de Café (*Coffea arabica* L.) Bajo el Escenario Base.

Analizando la distribución espacial de las ZAA del escenario base con la información oficial de uso del suelo de 2014 del MAG, se visualiza que la mayor parte de áreas consideradas con aptitud agroecológica se encuentran bajo el uso de suelo de “Bosque”, lo que se podría considerar una ventaja debido a que el café (*Coffea arabica* L.) cultivado bajo un estrato arbóreo (bajo la sombra) presenta mejores rendimientos que permaneciendo al descubierto (Figura 14 y Cuadro 14). Lo dicho lo confirma Anta (2006), Farfán (2010) y Jha (2014) quienes han obtenido mejor rendimiento del grano de café kg/ha/año bajo el sistema de producción agroforestal, y a de más destacan los bienes y servicios ambientales que se generan con la implementación de estos agroecosistemas. El establecimiento de plantaciones de café en sistemas agroforestales bajo sombra es una buena alternativa de implementación de medidas de manejo

sostenible de la tierra y adaptación al cambio climático, a más de evitar la deforestación de áreas boscosas para la implementación de monocultivos como el maíz, contribuye a la preservación de zonas de importancia ecológica e hídrica de la provincia.

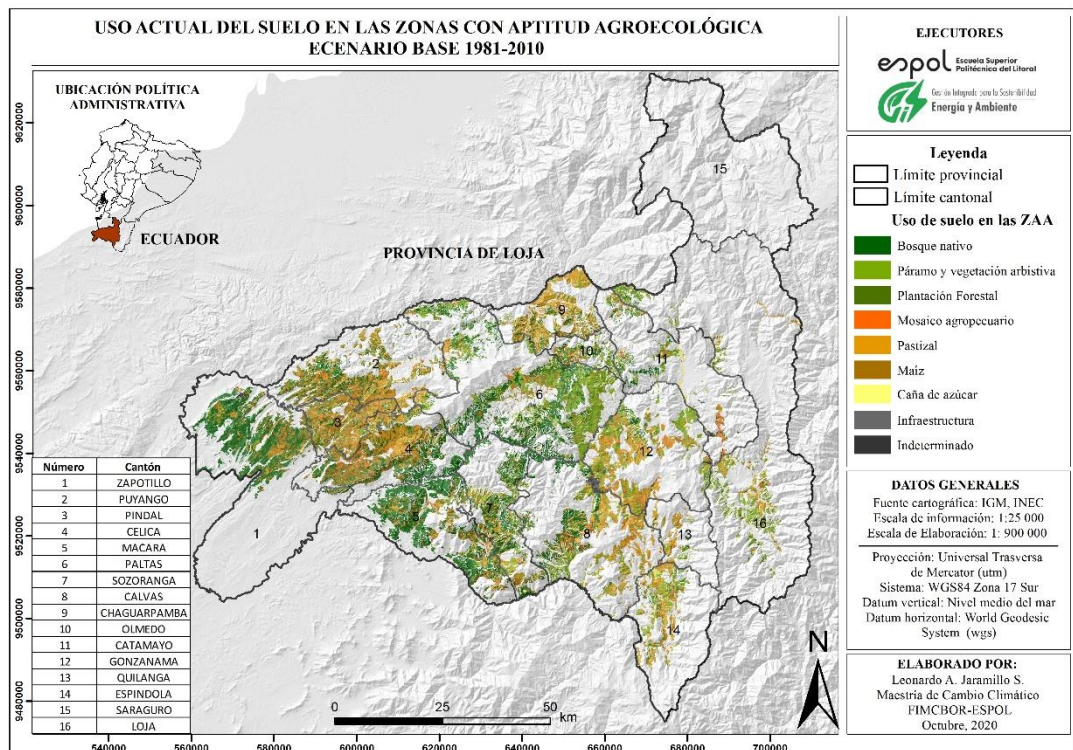


Figura 14. Mapa de uso actual del suelo en las ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja respecto al escenario base.

Se verifica que las zonas de pastizal y de cultivo del maíz mantienen una gran representatividad en las ZAA (72.884,37 Ha y 40.239,53 Ha respectivamente), reflejando una problemática ambiental relacionada a la pérdida de cobertura vegetal por el establecimiento de estos procesos productivos insostenibles. El PDOT provincial (2015) menciona que el cultivo de maíz y el establecimiento de zonas ganaderas han causado la pérdida de áreas de importancia hídrica y ecológica, degradación de los suelos y desertificación, contaminación de fuentes de agua, entre otros. El establecimiento de sistemas agroforestales para la producción de café como estrategia de recuperación de áreas degradadas permitirá obtener beneficios ambientales y

sociales que contribuirán al desarrollo económico de las poblaciones que se dedican a la producción de esta especie.

Cuadro 14. Detalle de la cobertura y uso de suelo existente en las ZAA para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) para el escenario base

Uso actual del suelo	Área ocupada por las ZAA (ha)	% de área respecto al total de ZAA
Bosque nativo	106.703,84	34,61
Pastizal	72.884,37	23,64
Paramo y vegetación arbustiva	67.187,21	21,79
Maíz	40.239,53	13,05
Mosaico agropecuario	14.123,05	4,58
Indeterminado	3.115,66	1,01
Caña de azúcar	2.034,97	0,66
Plantación forestal	1.480,26	0,48
Infraestructura	514,62	0,17

Considerando la información oficial de la Dirección Provincial del MAG en Loja, para el 2019 existen registradas un total de 1.783,57 Ha sembradas con café (*Coffea arabica* L.), de las cuales 727,853 Ha coinciden con las ZAA definidas en la presente investigación; esta superficie no representan ni el 2 % del total de zonas definidas con aptitud agroecológica. Además, con base en los cuadros de cálculos obtenidos se visibiliza que 1.055,72 Ha de café se encuentran sembradas en áreas que no poseen un alto potencial agroecológico para la siembra de café (*Coffea arabica* L.) (Figura 16). La siembra del cultivo en áreas poco aptas para su desarrollo podría generar bajos rendimientos productivos.

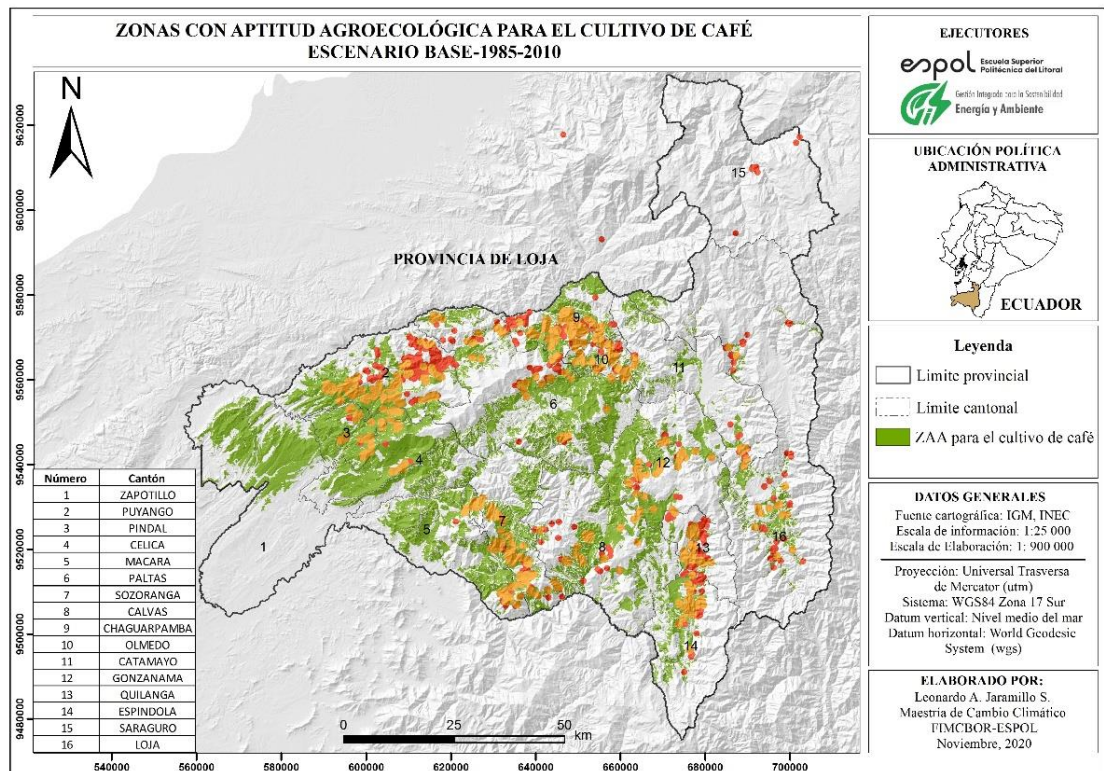


Figura 15. Mapa de áreas sembradas con café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja para 2019.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, a continuación se muestran las principales conclusiones de la presente investigación:

- Para delimitar correctamente las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en la provincia de Loja se debe definir con precisión las condiciones (rangos) climáticas, geomorfológicas y de geopedología donde mejor se desarrolló la especie.
- La provincia de Loja presenta gran potencial para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Las áreas registradas como Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de esta especie de acuerdo con el escenario base (1981-2010) fueron 308.283,52 Ha, lo que representa al 27,86% del territorio provincial. Para los escenarios RCP 4.5 y el RCP 8,5 (2011-2040) las ZAA fueron de 259.052,72 Ha y 256.885,11 Ha respectivamente.
- Considerando los datos de precipitación y temperatura de cada escenario evaluado, se determina que el cambio climático ocasionará alteraciones en la distribución espacial de las áreas aptas para el cultivo de la especie. Las zonas que dejaron de mantener aptitud agroecológicas para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el RCP 4.5 respecto del escenario base, fue de 49.375,80 Ha, mientras que zonas que dejaron de mantener aptitud agroecológicas en el RCP 8.5 respecto del escenario base, fue de 51.865,72 Ha.
- Se determinó que las Zonas con Aptitud Agroecológica (ZAA) para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) que se encontraron en el escenario base y en el RCP 4.5 ocuparon un área de 258.907,72 Ha, mientras que las Zonas con Aptitud Agroecológica que se encontraron presentes en el Escenario base y en el RCP 8.5

- fueron 256.417,80 Ha. En ciertas zonas de la provincia el cambio climático favorecerá a la distribución espacial de áreas aptas para el cultivo de la especie. Se registra nuevas ZAA que no se encontraban presentes en el escenario base. En el RCP 4.5 se registraron como nuevas ZAA a 145,00 Ha, mientras que para el RCP 8.5 se registraron 233,66 Ha.
- Los cantones que registraron mayor ZAA para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) de acuerdo con el escenario base son Paltas y Celica con 47.450,43 Ha y 31.720,82 Ha respectivamente, mientras que los cantones que registraron menor ZAA de acuerdo con el mismo escenario son Quilanga con 3.523,80 Ha y Saraguro con 3,13 Ha.
- Los cantones con mayor reducción de ZAA son Zapotillo y Macará; para el RCP 4.5 en el cantón Zapotillo se reducirían 22.588,21 Ha y en el cantón Macará 7.555,89 Ha. Para los mismos cantones en el escenario RCP 8.5 la reducción es de 23.188,55 Ha y 8.071,18 Ha respectivamente.
- La mayor parte de la cobertura y uso de suelo existente en las Zonas con Aptitud Agroecológica (del escenario base) corresponde a la categoría de bosque nativo, la cual ocupa un área de 106.703,84 Ha. Las zonas de pastizal y de cultivo de maíz mantienen una gran representatividad en las ZAA (del escenario base); los pastizales ocupan un área 72.884,37 Ha mientras que el monocultivo de maíz ocupa 40.239,53 Ha.
- La siembra y renovación de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) efectuada por el MAG en el 2019 registra un total de 1.783,57 Ha, de los cuales 727,853 Ha se ha sembrado dentro de las ZAA (del escenario base).

6.2. Recomendaciones

- La determinación de los requerimientos agroecológicos del cultivo del café es un proceso esencial para la delimitación de las áreas aptas para el cultivo del café. Es necesario que esta información sea obtenida de documentos técnicos oficiales o de artículos con los cuales se respalde la veracidad de los datos utilizados para los estudios de zonificación agroecológica.
- Los registros meteorológicos a nivel nacional presentan vacíos importantes que dificultan determinar con precisión las zonas con aptitud agroecológica para el cultivo de café, por lo que, si existe datos climáticos de estaciones meteorológicas locales, se recomienda considerarlos para trabajar con información acorde a la realidad de la provincia
- Para estudios posteriores de zonificación agroecológica del cultivo del café es importante considerar la variable heliofanía (cantidad de sol que recibe la planta) y la variable riego para definir con mayor precisión las zonas donde se pueda obtener rangos óptimos de producción del cultivo del café.
- En futuros análisis relacionados al presente tema de estudio, se recomienda efectuar el cruce de información cartográfica de uso del suelo con las zonas con aptitud agroecológica definidas para cada escenario.
- Se recomienda que este documento sea utilizado como una base técnica para evidenciar las zonas aptas para el cultivo del café, y con ello gestionar recursos financieros con organismos locales, nacionales o internacionales que apoyen a la implementación de esta especie.
- Se recomienda que esta información sea socializada a las autoridades provinciales de Loja y otros actores locales, a fin de concertar procesos de producción sostenibles en Zonas con Aptitud Agroecológica para el cultivo de café.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, R., Hurd, B., Lenhat, S., & Leary, N. (1998). Effects of Global Climate Change on Agriculture: An Interpretative Review. *Climate Researc*, vol. 11, núm. 1, pp. 19-30.
- Aguirre, L., Rodríguez, Z., Saca, V., & Apolo, V. (2018). Caracterización bromatológica de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). *Cuban Journal of Agricultural Science*, Vol. 53 pp 1-8.
- Aguirre, Z., & Delgado, T. (2005). Vegetación de los Bosques Secos de Cerro Negrocazaderos, Occidente de la Provincia de Loja. *EcoCiencia*, pp 9-24.
- Aguirre, Z., Nikolay, A., & Muñoz, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, pp 523 - 542.
- Alpízar, E. (2014). Zonificación agroecológica del café (*Coffea arabica*) y el cacao (*Theobroma cacao*, Lin) en Costa Rica, mediante el sistema de zonas de vida. *Campus Cartago*, Costa Rica.
- Alteri, M., & Nicholls, C. (2008). Los Impactos del Cambio Climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *LEISA*.
- Alva, M. (2013). Determinacion de zonas potenciales para cultivos frutícolas en la región Tacna, mediante sistemas de análisis espacial. *Espacio y Desarrollo* , N° 25, 2013, pp. 123-135.
- Armenta, G. V. (2016). Proyecciones climáticas de precipitación y Temperatura para Ecuador, bajo distintos escenario de Cmabio Climático. . *Quito-Ecuao* .
- Baker, P., & Haggar, J. (2012). Calentamiento Global; Impacto sobre el café mundial.
- Balvanera, P. A. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 141-149.
- Barrezueta, S. M. (2018). Análisis del cacao y café ecuatoriano desde su cadena de valor en el periodo 2010-2015 . *Revista para la transformación agraria sostenible* , Volumen 6, Número 3. pag. 1-18.
- Barva, E. &. (2011). *Guía Técnica para el Cultivo de Café*. Costa Rica.

- Bermeo, F. (2015). Seguridad Alimentaria . Quito-Ecuador: Abya-Yala.
- Bidegain, M., Coronel, G., Ríos, N., & de los Santos, B. (2011). Escenarios Climáticos Futuros Para Paraguay. Meteorológica, pp 47-55.
- Blanco, R., & Aguilar, A. (2015). Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. Agriculture, Ecosystems & Environment, Pages 25-35.
- BMU/GIZ. (2013). Proyecto Seguros para la Adaptación al Cambio Climático: Memoria del Proyecto Seguros para la Adaptación al Cambio Climático. Lima, Perú: GIZ.
- Brunini, O. C. (2010). groclimatic zoning and climatic risks for sugarcane in Mexico: a preliminary study considering climate change scenarios,. Proceedings International Society Sugar Cane Technologists, 1-13.
- Bunn, C., Läderach, P., Pérez, J., Montagnon, M., & Schilling, T. (2015). Multiclass Classification of Agro-Ecological Zones for Arabica Coffee: An Improved Understanding of the Impacts of Climate Change. Plos One, 10(10): e0140490.
- Burroughs, W. (2001). Climate change a multidisciplinary approach. Cambridge University Press, London.
- Cabrera, K. A. (2017). Influencia de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en la producción de banano: provincia de El Oro (2001-2014). UTMACH, 1149-1059.
- Caldilhac, L., Torres, R., Calles , J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. Neotropical Biodiversity, pp 168–181.
- Carrera, F., Vernaza, L., Quiroz, F., Solís, K., & da Silva, E. (2017). Situación de la agricultura familiar y el extractivismo en el Ecuador caso de estudio en las parroquias rurales del cantón Muisne. Dominio de las Ciencias, Vol. 3, núm. mon., agos., 2017, pp. 689-713.
- Caza, P. (2018). Zonificación Agroecológica para los cultivos de Maracuyá (*Passiflora edulis*), Café (*Coffea arabica*) y Cacao (*Theobroma cacao*) en la parroquia rural de San Isidro, provincia de Manabí. Quito.
- CEPAL. (2014). Impactos potenciales del cambio climático sobre el café en Centroamérica. Mexico .

- Chamba, M., Morocho, L., & Vásquez, E. (2018). Tipificación de los sistemas productivos en el proyecto de riego Campana-Malacatos del cantón Loja, provincia de Loja. Bosques Latitud Cero, 96-108 p.
- COFENAC. (2013). El Sector Cafetalero Ecuatoriano . Portoviejo, Manabí.
- Corpoica. (2013). Informe ejecutivo. Plan para el manejo de los impactos en el sector agropecuario ocasionados por la emergencia Invernal. Colombia.
- DaMatta, F. (2004). Explorando a tolerância à seca em café: uma abordagem fisiológica com algumas contribuições for o melhoramento vegetal. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, pp 16(1), 1-6.
- DaMatta, F., & Ramalho, D. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. Braz J Plant Physiol., pp 55–81.
- Díaz, G., Cartagena, Y., & Cuesta, H. (2011). Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en la Sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Manejo de Suelos y Aguas.
- Duicela, L. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero: Situación actual y perspectivas. Artículos In extenso (ISBN: 978-9942-21-969-5), 9-19.
- Duicela, L. C. (2004). Caracterización física y organoléptica de cafés arábigos en los principales agroecosistemas del Ecuador. Manta. Impregcol.
- Ecuador, C. d. (03 de marzo de 2020). Cámara de Agricultura del Ecuador. Obtenido de <http://www.agroecuador.org/index.php/blog-noticias/item/101-cultivo-de-cafe-arabigo>
- Egas, J., Shik, O., Inurritegui, M., & De Salvo, C. (2018). Análisis de políticas agropecuarias en Ecuador. Ecuador.
- Elbehri, A. G. (2015). Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia.
- Emck, P. (2007). A climatology of South Ecuador - whit special focus on the major andean ridge as atlantic-pacific climate divide. Universität Erlangen, Nürnberg.

- ESPAC. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Quito.
- Espinosa, J. &. (2007). “Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en las provincias de: Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua”. Revista Rumipamba, Vol. 21(1): 54-56.
- FAO. (1996). Los sistemas de información geográfica SIG, son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de planificación económica, territorial y ambiental. La zonificación agroecológica es una de las primeras etapas del ordenamiento y del planeamiento ambie. Santiago, Chile.
- FAO. (1997). Especies Arbóreas y Arbustivas para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina. Santiago, Chile: Zonas Áridas y Semiáridas N° 12 Publicado en el marco del Programa Conjunto FAO/PNUMA de Control de la Desertificación en América Latina y el Caribe.
- FAO. (1997). Zonificación Agroecológica. Guía general. Roma.
- Farfán, F. (2010). Café orgánico al sol y bajo sombra. Una doble posibilidad para la zona cafetalera de Colombia. Caldas, Colombia.
- Field, C. B. (2014). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,. Cambridge University Press / Cambridge, Reino Unido / Nueva York.
- García, E. (2000). El fenómeno El Niño 1997- 1998. Memoria, retos y soluciones. Quito.
- Garreaud, R., & Aceituno, P. (2007). Atmospheric Circulation and Climatic Variability. Chapter 3 The Physical Geography of South America. Oxford University Press, pp 45-59.
- González , H., & Hernández, J. (2016). Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, pp. 105-118.
- Guenni, L., García , M., Muñoz, A., Santos, J., Cedeño, A., Perugachi, C., & Castillo, J. (2016). Predicción de precipitación mensual a lo largo de la costa de Ecuador: modelos de

- ENOS y de funciones de transferencia. *Theoretical and Applied Climatology*, pp 1059 - 1073.
- Günther , F., Mahendra , S., Francesco N. , T., & Harrij , v. (2005). Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080. *Biological sciences*, 2067–2083 pp.
- Hellmuth, M. O. (2009). Seguros en base a índices climáticos: Perspectivas para el desarrollo y la gestión de desastres. The Earth Institute at Columbia University, Nueva York, EEUU: *Clima y Sociedad* No. 2.
- Hidalgo, M. (2017). Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. *CienciAmérica*, pp 32-37.
- IDEAM. (2018). Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IICA. (2016). El fenómeno de El Niño en la agricultura de las América.
- INEC. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010.
- INEC. (2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2016. Quito.
- INIAP. (1997). Manual Agrícola de los principales cultivos del Ecuador. Quito.
- INIAP. (2020). Programa Nacional de Café y Cacao .
- IPCC. (2001). Cambio Climático 2001: la base científica. Contribución IPCC del grupo de trabajo I al tercer informe de evaluación del IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Ginebra.
- IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Cambridge University Press. Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). Resumen para responsables de políticas. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra.

- IPCC. (2014). Cambio Climático 2014. Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra.
- IPCC-DDC. (2013). Definition of Terms Used Within the Pages DDC.
- Isaza, C., & Cornejo, J. (2014). Cambio Climático y su impacto en el cultivo de café .
- Jáuregui, O. (2003). Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera. . Investigaciones Geográficas, pp 121-143.
- Jha, S. C. (2014). «Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity» , . BioScience, 64(5).
- López, A., & Hernández, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. El Trimestre Económico., pp. 459-496.
- López, J., & Paz, S. (2007). El Sector Asegurador ante el Cambio Climático: riesgos y oportunidades. Madrid.
- Lucero, S. (2013). Modelamiento a través de un SIG para la zonificación agroecológica de los principales cultivos (papa, maíz, brócoli, cebolla blanca, cebada y pasto) dentro de la parroquia de Alóag. Quito.
- MAAE. (2019). Guía para la interpretación y uso de los escenarios de Cambio Climático. Provincia de Loja. Quito, Ecuador.
- MAE. (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático. Quito.
- MAG. (2013). Buenas prácticas agrícola para el café. Quito.
- MAGAP. (2014a). Mapa de Zonificación Agroecológica del cultivo de Palma africana en el Ecuador continental, escala 1:250.000. Quito, Ecuador.
- MAGAP. (2014b). Mapa de Zonificación Agroecológica Económica del cultivo de Cacao en el Ecuador continental, escala 1:250.000. Quito, Ecuador.
- MAGAP. (2014c). Mapa de Zonificación Agroecológica Económica del cultivo de Café en el Ecuador continental, escala 1:250.000. Quito.

- Maldonado, N. (2002). Clima y vegetación de la región sur del Ecuador. Botánica Austroecuatoriana: Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora-Chinche, Quito, Ecuador. 484 p.
- Martínez, F. D. (2015). Aptitud agroclimática e identificación de nichos productivos de bajo riesgo de déficit hídrico para aguacate en fresno, Colombia. Manejo de Técnicas y de Cultivo • Cultural Management and Techniques.
- Mendelsohn, R. (2009). The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries. Journal of Natural Resources Policy Research, pp 15-19.
- Mendizábal, G. (2015). La seguridad social ante los retos del cambio climático. Boletín Mexicano de Derecho Comparado, 697-730.
- Montealegre, J., & Pabon, J. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. Meteorología Colombiana, pp 7-21.
- Monteros, A. (2016). Rendimientos de café grano seco en el Ecuador. Quito, Ecuador: MAGAP.
- Moreno, A. (2007). Sistemas y análisis de la información geográfica. Editorial RAMA, España.
- Naranjo, M. (2016). La política agropecuaria ecuatoriana: hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025. I parte. Quito.
- Ochoa, P., Chamba, Y., & Arteaga, J. (2017). Estimation of suitable areas for coffee Growth using a GIS approach and Multicriteria evaluation in Regions with scarce data. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 33(6): 841-848 .
- Ortiz, R. (2012). El cambio climático y la producción agrícola. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Parry, M., Arnell, N., Nicholls, R., Martens, P., & Kovats, S. (2001). Millions at risk: defining critical climate change threats and targets. Global Environ. Change., pp 181-183.
- PDOT. (2015). Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja 2015-2025. Loja.

- Pérez, E., & Geissert, D. (2006). “Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.)–palma camedor (*Cha-madorea elegans* Mart). INCI, Vol. 31(8):.
- Pérez, M. (2012). La importación de los índices en la transferencia de riesgo del sector asegurador a los mercados de capital. Análisis de los índices de pérdida por catastrofes en el ramo no-vida. *Revista Ibero Latinoamericana de seguros*, Vol. 21 Núm. 37. pag. 237-259.
- Pineda, D. S. (2014). Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *Ingeniería Agrícola*, Vol. 4, No. 3 pp. 28-32,.
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos*. Quito. Quito.
- Riera, C., & Pereira, S. (2012). Entre el riesgo climático y las transformaciones productivas: la agricultura bajo riego como forma de adaptación en Río Segundo, Córdoba, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Núm. 82, 2013, pp. 52-65.
- Rojas. (2019). La ruta turística del café. *Polo del Conocimiento*. Edición núm. 36. Vol. 4, No 8, 3-22.
- Rojas, A., & Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población . *Población y Desarrollo* .
- Rojas, O. (1987). Zonificación Agroecológica para el Cultivo del café (*Coffea arabica*) En Costa Rica Programa Cooperativo para la Protección y Modernización de la Caficultura en México. pp 39.
- Rollenbeck, R., Bendix, J., & Fabian, P. (2011). Spatial and temporal dynamics of atmospheric water inputs in tropical mountain forests of South Ecuador. *Hydrological Processes*, 25: 344-352 p.
- Ruíz, F., Gutierrez, J., Dorado, J., Mendoza, J., Martínez, C., Rojas, M., . . . Rodríguez, M. (2015). *Nuevos Escenarios. Cambio Climático para Colombia 2011- 2100*. Bogotá, Colombia .
- Samaniego, N., Eguiguren, P., & Aguirre, N. (2016). Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. *Biodiversidad del páramo: pasado, presente y futuro*, 43-62.

- Segarra, P. (2014). Sinergias entre degradación de la tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador: Proyecto Mecanismo Mundial Ecuador "Integrado financiamiento del cambio climático en estrategias de inversión de Manejo Sostenible de la Tierra". CNULD : Corporación para la investigación, capacitación y Apoyo Técnico para el manejo sustentable de los ecosistemas tropicales., Quito.
- Seidel, H. P. (2015). La relación entre la precipitación en Ecuador y la temperatura superficial del mar en el océano pacífico. *Acta oceanográfica del pacífico* Vol. 20 N°1, 2015, 12-17.
- Soto, F. V. (2001b). La Zonificación Agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. Macizo Montañoso Sagua-Nipe-Baracoa. *Cultivos Tropicales*, pp. 27-51.
- Soto, F., Tejeda, T., Hernández, A., & Florido, R. (2001a). Metodología para la Zonificación Agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 51-53.
- Stocker, T. F.-K. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido , Nueva York.
- Suárez, G. M. (2013). Bases para la zonificación agroecológica en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*, Lin) por medio del criterio de expertos. *Cultivos Tropicales*. , 34(2), 30-37 pp.
- Terán, C. J. (1998). Metodología para la zonificación agroclimática de la región de La Mojana mediante el sistema información geográfica ARC/In. *Revista Corpoi*, VOL 2 . No2. pp 21-26.
- Toulkeridis, T., Tamayo , E., Simón, D., Merizalde, M., Reyes, D., Viera, M., & Heredia, M. (2020). Cambio Climático según los académicos ecuatorianos - Percepciones versus hechos. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, vol.31 no.1.
- Vanegas, S., Orellana, D., & Pérez, P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *Recimundo*, Vol. 2-núm.2-pp. 72-91.
- Villers et al. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 0378-1844.

Viteri, M., & Tapia, M. (2018). Economía ecuatoriana de la producción agrícola al servicio. *Espacios*, Vol. 39 (N° 32).

Viteri, O., Ramos, M., & Lomas, P. (2018). Livelihood sustainability assessment of coffee and cocoa producers in the Amazon region of Ecuador using household types. *Journal of Rural Studies*, 62, 1–9.

Yazdanpanah, H., Hajam, S., Khalili, A., & Kamali, G. (2009). Agroclimatic zoning of Azarbayjan-Sharghi province for rainfed almond using GIS. *Geospatial World*.