



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS REQUERIMIENTOS  
AGROECOLÓGICOS DE LOS CULTIVOS EN LA COMUNIDAD SAN  
CLEMENTE, PROVINCIA DE IMBABURA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Recursos  
Naturales Renovables

**Autoras:**

Enríquez Imbaquingo Merci Silvana  
Morales Rueda Andrea Estefanía

**Director:**

Ing. Darío Paul Arias Muñoz, MSc.

Ibarra - Ecuador

2019



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

## “EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS DE LOS CULTIVOS EN LA COMUNIDAD SAN CLEMENTE, PROVINCIA DE IMBABURA”

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

### APROBADA:

Ing. Darío Paul Arias, MSc.

**DIRECTOR**

FIRMA

Ing. Gladys Yaguana, MSc.

**ASESORA**

FIRMA

Ing. Lucía Vásquez, MSc.

**ASESORA**

FIRMA

Ing. Oscar Rosales, MSc.

**ASESOR**

FIRMA

IBARRA-ECUADOR

DICIEMBRE, 2018



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003783071		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Enríquez Imbaquingo Merci Silvana		
<b>DIRECCIÓN:</b>	El Sagrario/Ibarra/Imbabura		
<b>EMAIL:</b>	mersilv15@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2580328	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0979857002

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003783584		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Morales Rueda Andrea Estefanía		
<b>DIRECCIÓN:</b>	El Sagrario/ Ibarra/Imbabura		
<b>EMAIL:</b>	steffy13494@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2546749	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0988193748

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS DE LOS CULTIVOS EN LA COMUNIDAD SAN CLEMENTE, PROVINCIA DE IMBABURA.
<b>AUTOR (ES):</b>	Enríquez Imbaquingo Merci Silvana Morales Rueda Andrea Estefanía

<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	04/12/2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotras MERCI SILVANA ENRÍQUEZ IMBAQUINGO con cédula de identidad Nro. 1003783071 y ANDREA ESTEFANÍA MORALES RUEDA, con cédula de identidad Nro. 1003783584 en calidad de autoras y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizamos a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3.CONSTANCIAS

Las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 4 días del mes de diciembre del 2018

## LAS AUTORAS



Enríquez Imbaquingo Merci Silvana



Morales Rueda Andrea Estefanía

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por fortalecernos espiritualmente y brindarnos sabiduría, gracias por todas las bendiciones recibidas durante el camino de nuestra formación académica.*

*A nuestra querida familia, nuestro impulso principal, por su inmenso amor, paciencia y apoyo incondicional durante nuestra vida estudiantil, haciéndose presentes moral y económicamente, estaremos siempre agradecidas por confiar en nosotras.*

*A nuestras amigas y compañeras de clase, Fernanda, Andrea R, Erika y Andrea S, con quienes iniciamos este sueño y ahora lo estamos terminando juntas después del transcurso de tantos buenos y malos momentos, los cuales nos han dejado grandes enseñanzas y sobre todo la amistad y el cariño sincero que perdurarán por siempre.*

*A nuestro estimado director MSc. Paúl Arias, quien depositó su confianza en nosotras, por su guía, paciencia, constancia y apoyo incondicional. A nuestros asesores MSc. Lucía Vásquez, MSc. Gladys Yaguana y MSc. Oscar Rosales, por estar prestos a compartir su conocimiento y experiencia para culminar con éxito esta investigación.*

*A la Universidad Técnica del Norte, a la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables y a todos sus docentes quienes con su profesionalismo han aportado en nuestra formación académica. Y de manera especial al Grupo de Investigación en Agrobiodiversidad, Seguridad y Soberanía Alimentaria, proyecto del cual se desprende esta investigación.*

*Por último, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los moradores y autoridades de la comunidad de San Clemente, por haber apoyado esta investigación.*

***Andrea y Merci***

## DEDICATORIA

*A Dios por guiar mi camino, fortalecer mi corazón, iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante toda esta travesía.*

*A mi madre, quien con su esfuerzo y sacrificio constante me apoyó durante toda esta etapa, sin su ayuda no podría haber llegado tan lejos. Gracias por ser padre y madre para su primogénita.*

*A mi abuelita, por cada abrazo, sonrisa y palabra de ánimo que siempre me esperaban de regreso a casa, porque siempre me ha inculcado buenos valores y me ha dado ánimos para cumplir mis sueños.*

*A mi tía Jimena, por ser como un ángel en mi vida, quien con sus palabras de apoyo y su espíritu de lucha me dio ese pequeño aliento de vida que necesitaba para lograr este sueño. Gracias por confiar en mí, incluso cuando ni yo misma lo hacía.*

*A mi tía Leidy, mi mejor amiga y hermana por estar conmigo en cada uno de los escalones que me tomó llegar hasta aquí, por su ejemplo de coraje y valentía ante las adversidades y sobre todo por brindarme su amor.*

*A mis hermanos, Luis, Sebastián y Evelyn, mis compañeros de vida, a quienes aprecio mucho y con esto espero demostrarles que los sueños sí se cumplen, sigan adelante y luchen por los anhelos de su corazón.*

*A mi amiga y compañera Andrea, por ser el soporte en cada una de las adversidades que se presentaron durante el camino de nuestra segunda meta y por los momentos memorables que siempre guardaré en mi corazón, te quiero.*

*A toda mi familia y amigos, quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento.*

*¡Gracias!*

***Merci Enríquez***

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por guiarme, por acompañarme, brindarme fortaleza, salud y la vida para llegar hasta este momento. Por poner personas que han mi sido soporte y compañía durante este periodo académico.*

*A mis padres amados, los dos seres que más admiro y respeto, por su amor y sacrificio para formarme y educarme, por creer en mí, pues son el pilar fundamental de mi vida. Pues todo fue posible gracias a su ejemplo, apoyo incondicional y constante motivación, nunca podré pagarles todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Los amo mucho.*

*A mi hermana, por ser uno de los seres más importantes en mi vida, el motor que me levanta, mis ganas de ser mejor, gracias por apoyarme, por tu cariño y compañía, te quiero mucho.*

*A mi amiga y compañera Merci, por su cariño y sincera amistad, por haber compartido juntas el camino de nuestra segunda meta, por las vivencias memorables que siempre quedarán guardados en mi corazón, te quiero.*

***Andrea Morales***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Hipótesis.....	5
1.4. Objetivos.....	6
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Marco teórico.....	9
2.2.1. Cambio climático.....	9
2.2.2. Modelos de circulación global.....	10
2.2.3. Escenarios de emisión.....	10
2.2.4. Impactos del cambio climático.....	13
2.2.5. Impactos del cambio climático en la agricultura.....	14
2.2.6. Zonificación agroecológica.....	15
2.2.7. Zonificación agroecológica y cambio climático.....	16
2.3. Marco legal.....	17
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	22
3.1. Descripción del área de estudio.....	22
3.2. Materiales y equipos.....	23
3.3. Métodos.....	24
Fase I. Distribución agroecológica de los cultivos presentes en la comunidad San Clemente.....	24
Fase II. Posible escenario de cambio climático en la comunidad San Clemente.....	30
Fase III. Consecuencias potenciales de un escenario de cambio climático en las condiciones agroecológicas de los cultivos.....	31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Distribución agroecológica de los cultivos en la comunidad San Clemente.....	32
4.1.1. Uso actual del suelo.....	32
4.1.2. Zonificación agroecológica.....	33
4.2. Posible escenario de cambio climático en la comunidad San Clemente.....	51

4.3	Consecuencias potenciales de un escenario de cambio climático en las condiciones agroecológicas de los cultivos.....	54
4.3.1	Escenario de cambio climático RCP 2.6.....	54
4.3.2	Escenario de cambio climático RCP 8.5.....	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		58
5.1	Conclusiones .....	58
6.2	Recomendaciones .....	59
REFERENCIAS.....		60
ANEXOS.....		68

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de vías de concentración representativas .....	11
<b>Tabla 2.</b> Tipos de Modelos Climáticos Globales .....	13
<b>Tabla 3.</b> Estaciones meteorológicas. ....	27
<b>Tabla 4.</b> Comparación de criterios agroecológicos de chocho ( <i>Lupinus mutabilis</i> ). .....	36
<b>Tabla 5.</b> Comparación de criterios agroecológicos de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ). .....	38
<b>Tabla 6.</b> Comparación de criterios agroecológicos de haba ( <i>Vicia faba</i> ). ....	39
<b>Tabla 7.</b> Comparación de criterios agroecológicos de maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	42
<b>Tabla 8.</b> Comparación de criterios agroecológicos de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ). .....	45
<b>Tabla 9.</b> Comparación de criterios agroecológicos de kikuyo ( <i>Pennisetum vulgare</i> ). ....	48
<b>Tabla 10.</b> Predicción de temperatura en San Clemente para el año 2070. ....	52
<b>Tabla 11.</b> Predicción de precipitación anual en San Clemente para el año 2070.	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la Comunidad San Clemente. ....	22
<b>Figura 2.</b> Etapas metodológicas .....	24
<b>Figura 3.</b> Diagrama de la zonificación agroecológica.....	25
<b>Figura 4.</b> Correlación temperatura Enero-estaciones meteorológicas. ....	29
<b>Figura 5.</b> Uso actual del suelo de la comunidad San Clemente. ....	33
<b>Figura 6.</b> Aptitud Agroecológica (2018) en San Clemente.....	34
<b>Figura 7.</b> Aptitud Agroecológica del chocho ( <i>Lupinus mutabilis</i> ).....	37
<b>Figura 8.</b> Aptitud Agroecológica del haba ( <i>Vicia faba</i> ).....	40
<b>Figura 9.</b> Conflictos de uso de suelo del haba ( <i>Vicia faba</i> ). ....	41
<b>Figura 10.</b> Aptitud Agroecológica del maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	43
<b>Figura 11.</b> Conflictos de uso de suelo del maíz ( <i>Zea mays</i> ). ....	44
<b>Figura 12.</b> Aptitud Agroecológica de la cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ).....	46
<b>Figura 13.</b> Conflictos de uso de suelo de la cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ). ....	47
<b>Figura 14.</b> Aptitud Agroecológica de kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ).....	49
<b>Figura 15.</b> Conflictos de uso de suelo del kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ). ..	50
<b>Figura 16.</b> Temperatura proyectada para el año 2070 en San Clemente.....	52
<b>Figura 17.</b> Precipitación proyectada para el año 2070 en San Clemente.....	53
<b>Figura 18.</b> Distribución Agroecológica (año 2070) en San Clemente con escenario de emisiones bajas.....	55
<b>Figura 19.</b> Distribución Agroecológica (año 2070) en San Clemente con escenario de emisiones altas.....	56

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS REQUERIMIENTOS**  
**AGROECOLÓGICOS DE LOS CULTIVOS EN LA COMUNIDAD SAN**  
**CLEMENTE, PROVINCIA DE IMBABURA**

Nombre de las estudiantes: Enríquez Merci y Morales Andrea

**RESUMEN**

El cambio climático afecta a los agroecosistemas debido a las variaciones en temperatura y precipitación que altera la aptitud agroecológica para los cultivos. En la presente investigación se evaluó los efectos del cambio climático en los requerimientos agroecológicos de los cultivos en la comunidad San Clemente, ubicada en Imbabura. Para ello se determinó la distribución agroecológica de los cultivos mediante la recopilación y edición de información climática y edáfica. A la vez se diseñó el posible escenario de cambio climático, considerando el modelo HadGEM2-ES con dos rangos de emisión de gases de efecto invernadero (RCP): 2,6 (bajas) y 8,5 (altas) para el año 2070 y finalmente se determinó los efectos sobre los cultivos considerando las fluctuaciones predichas. Los resultados evidencian que en la actualidad existe un conflicto del uso del suelo y que para el año 2070, en un escenario de emisiones bajas la temperatura se incrementará entre 0,5 a 1 ° C y la precipitación se reducirá en alrededor del 5 %. Mientras que, para un escenario de emisiones altas la temperatura se incrementará alrededor de 2°C y la precipitación se reducirá alrededor del 13%. Estos cambios traen como consecuencia cambios agroecológicos en el territorio, lo cual implicaría la posible aparición de nuevos cultivos o especies invasoras y la reducción o pérdida de cultivos presentes.

**Palabras clave:** cambio climático, escenario futuro, zonificación agroecológica,

## ABSTRACT

The climate change affects agroecosystems due to temperature and precipitation variations. Therefore, the aim of this research is to evaluate the effects of climate change on agro-ecological requirements of crops at San Clemente community. This community is located in the province of Imbabura, Ecuador. For doing this, it was determined the agro-ecological distribution of crops, by collecting climatic and edaphic information. Then, it was designed a climate change scenario using HADGEM2-ES model, with two ranges of greenhouse gases emission (RCP): one with low range (2,6) and the other with high range (8,5). The results show that currently there is a land use conflict. It is forecasted that for the year 2070, in a scenario of low emissions, the temperature will increase between 0.5 to 1 ° C and precipitation will decrease by around 5%. While, for a scenario of high emissions, the temperature will increase by around 2 ° C and the precipitation will decrease by around 13%. These changes will promote agro-ecological changes in the territory, which imply the possible outbreak of new crops or invasive species, as well as the reduction or loss of crops.

**Keywords:** climate change, future scenario, agroecological zoning.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de investigación

El cambio climático es el principal problema que afecta al planeta en la actualidad, el cual se define como el cambio que ocurre en el clima a través del tiempo, debido al incremento de los gases de efecto invernadero, resultantes de las actividades humanas (Useros, 2013). El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) prevee efectos graves del cambio climático en todos los sectores económico, social y ambiental. El IPCC (2013) señala que “para el periodo 2046-2065 existiría un aumento de la temperatura media global de 0,3 ° C en el escenario más optimista y de 2,6 ° C” en el escenario pesimista; el cual iría acompañado de una reducción de la precipitación media, un aumento de la humedad atmosférica, aumento de la acidificación oceánica y del nivel medio del mar.

Debido a la variación en la temperatura, es muy probable que la precipitación aumente en latitudes altas y disminuya en la mayoría de las regiones subtropicales (Ahumada *et al.*, 2014). Estos cambios globales en los próximos 50 años aumentarían el estrés hídrico, y los eventos climáticos extremos lo cual disminuiría la productividad de los cultivos (IPCC, 2013). La agricultura, que en gran medida depende de la temperatura y la precipitación, resultará afectada en latitudes medias por las constantes variaciones (IPCC, 2007). El cambio climático afectaría el crecimiento económico, la seguridad alimentaria (Field, *et al.*, 2014) y en forma más general el estilo y forma de vida (IPCC, 2015). Sin embargo, los efectos no serán similares entre los países y tampoco a nivel local, porque dependerá mucho de las condiciones locales y niveles de desarrollo (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994).

Varios estudios han señalado sistemáticamente aumentos en la temperatura de la superficie a largo plazo en la región tropical andina (Ecuador, Bolivia y Perú) de alrededor de 0,11 °C por década en el período de 1950 a 1998 (Vuille y Bradley 2000,

Vuille *et al.*, 2003). Las tendencias de precipitación a largo plazo varían considerablemente, mientras que, en algunas regiones, como el norte de Perú y Ecuador, la precipitación parece haber aumentado, en otras regiones ha habido una disminución en la precipitación promedio anual (Vuille *et al.*, 2003).

Sin embargo, no está claro cómo se relaciona estos cambios en la región tropical con los microclimas locales de la provincia de Imbabura, en Ecuador. Las percepciones de las poblaciones locales en Imbabura generalmente coinciden con los datos de las estaciones climáticas (Gutiérrez, 2010). Tradicionalmente, las comunidades solían cultivar la papa (*Solanum tuberosum*) y otros cultivos más resistentes a las heladas en áreas mayores a 2800 msnm (Haller, 2015). Mientras que, diferentes variedades de maíz se cultivaban en zonas de baja altitud, en la actualidad se está cultivando cada vez más en las zonas más altas y otros sembríos también están siendo cultivados gradualmente en sitios donde existían pastos naturales (Alves citado por Hidalgo, *et al.*, 2015). El presidente de la comunidad G. Guatemal (comunicación personal, 30 de julio del 2018) reafirma las opiniones emitidas por varios agricultores de San Clemente, al asegurar que las temperaturas en general han aumentado en su comunidad, particularmente en las zonas altas, lo que ha inducido cambios en la productividad de algunos cultivos de la zona.

En la comunidad San Clemente perteneciente a la parroquia La Esperanza, en el cantón Ibarra, se presume que han ocurrido cambios en el clima en las últimas décadas. De acuerdo con la tendencia mundial, el cambio climático afectará la producción y rendimiento de los cultivos de la comunidad hasta en un 50%, al variar la intensidad y distribución de la precipitación y temperatura (Inam y Maske, 2017). Incluso, los efectos sobre el bienestar de las familias dedicadas a la agricultura de subsistencia pueden ser muy severos (Altieri y Nicholls, 2009). Esto ha inducido la modificación del paisaje, con mayor presencia de infraestructura y frontera agrícola hacia tierras marginales, reemplazando bosques y páramos. A todo ello se suma el desconocimiento de una base técnica que asegure el desarrollo agrícola y garantice la rentabilidad del

campesino, por lo que se hace necesario generar información sobre los requerimientos agroecológicos de los cultivos.

## **1.2. Justificación**

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, FAO, el cambio climático representa nuevos retos a la productividad agrícola, debido a que a largo plazo modificará las zonas climáticas y agroecológicas, obligando a los agricultores a adaptarse (FAO, 1997a). Mediante la zonificación agroecológica (ZAE) se puede conocer las zonas aptas para cultivos en base a combinaciones de suelo, fisiografía y clima (FAO, 1997b) y también determinar posibles efectos de las variaciones climáticas en la aptitud agrícola futura. En ese sentido, el desafío está en establecer zonas agroecológicas definiendo los posibles escenarios de cambios y requerimientos que puedan ocurrir en una región para precisar medidas de adaptación que permitan minimizar el impacto del cambio climático para un desarrollo sostenible (Oviedo y León, 2010).

Considerando que la agricultura es una actividad fundamental y predominante tanto en el ámbito económico como en la seguridad alimentaria, se vuelve crucial contar con una información base para tomar medidas de planificación y ordenamiento territorial. con el fin de responder adecuadamente a los posibles cambios. Esta información se convertirá en el punto de partida para proponer alternativas de reducción de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Además, permitirá la comprensión suficiente de las interacciones de la chacra en relación con sus cultivos y clima, estableciendo una chara con criterios no sólo de racionalidad económica, sino también social y ecológica.

El presente trabajo de investigación tiene por objeto evaluar los efectos del cambio climático en los requerimientos agroecológicos de los cultivos presentes y potenciales en la comunidad San Clemente. Lo anterior permitirá predecir el clima futuro y proyectar la afectación del cambio climático en la producción de los cultivos, para que

los agricultores puedan hacer frente a la problemática y establecer las zonas aptas para cada especie agrícola a medida que cambien los patrones climáticos.

Esta investigación contempla principios de la agricultura climáticamente inteligente (CSA, por sus siglas en inglés), misma que tiene sus raíces en la agricultura sostenible y los objetivos de desarrollo rural que, de alcanzarse, contribuirían a cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de reducir el hambre y mejorar la gestión ambiental (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2011). Este término relativamente nuevo de acuerdo con la FAO (2018) se define como: “un planteamiento que contribuye a guiar las medidas necesarias para transformar y reorientar los sistemas agrícolas a fin de que respalden eficazmente el desarrollo y garanticen la seguridad alimentaria en condiciones de clima cambiante” (p. 1).

La presente investigación está enfocada a promover la conservación del patrimonio natural de las comunidades y la implementación de una respuesta adecuada al cambio climático de manera que se enmarca en cumplir los objetivos 3 y 6 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017) instaurados para encaminarse hacia el desarrollo sostenible:

#### Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida

- Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.
- Metas a 2021:
  - Mantener el 16% de territorio nacional bajo conservación o manejo ambiental 2021.
  - Reducir la expansión de la frontera urbana y agrícola 2021.

- Reducir el índice de vulnerabilidad de alta a media, de la población, medios de vida y ecosistemas, frente al cambio climático, a 2021.

## Eje 2: Economía al Servicio de la Sociedad

- Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno, para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural.
- Metas a 2021:
  - Reducir la incidencia de la pobreza por ingresos rural del 38,2% al 31,9% a 2021.
  - Incrementar la tasa de empleo adecuado en el área rural del 27,8% al 35,2% a 2021
  - Reducir del 59,9% al 49,2% la tasa de pobreza multidimensional en el área rural 2021.

La Universidad Técnica del Norte como una de las principales instituciones académicas del Norte del país, está comprometida con la problemática ambiental local por lo que se ha creado el proyecto: “La chacra andina como espacio para la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático” dentro del cual está inmersa la presente investigación. Este proyecto está a cargo del Grupo de Investigación en Agrobiodiversidad Seguridad y Soberanía Alimentaria (GIASSA).

### **1.3. Hipótesis de Investigación**

En los últimos 40 años, la temperatura ha aumentado entre 0,7 y 1°C (Vale y Pire, 2018) y la precipitación anual ha reducido entre 10% y 20% (Gutierrez y Espinosa, 2010), en América Central y Sudamérica, lo cual por alteraría las características agroclimáticas y disponibilidad de agua para actividades económicas, principalmente agrícolas. Bajo ese contexto se plantearon las siguientes hipótesis de investigación:

Ho: El cambio climático no afectará los requerimientos agroecológicos de los cultivos en la comunidad San Clemente, Imbabura.

Ha: El cambio climático afectará los requerimientos agroecológicos de los cultivos en la comunidad San Clemente, Imbabura.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Evaluar los efectos del cambio climático en los requerimientos agroecológicos de los cultivos en la comunidad San Clemente, Imbabura.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Zonificar la distribución agroecológica de los cultivos presentes en la comunidad.
- Diseñar el posible escenario del cambio climático para el área de estudio para el año 2070.
- Determinar las consecuencias potenciales de un escenario de cambio climático en las condiciones agroecológicas de los cultivos presentes en la comunidad.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

A nivel regional, en Norteamérica se han realizado más estudios y por ende existen más predicciones de los posibles impactos negativos, especialmente en la biodiversidad, fauna del suelo, actividad microbiana y cultivos (Smith, *et al.*, 2013). No todos los impactos son negativos, porque mientras que en las áreas de las grandes llanuras y áreas cercanas a los grandes lagos de América del Norte se pronostica impactos adversos en la producción agrícola (Bergengren, Waliser, y Yung, 2011). En las áreas más frías de Canadá se pronostica impactos positivos en la producción agrícola (Qian, *et al.*, 2013). Parry (2007) por ejemplo, concluye que los rendimientos agrícolas tienen el potencial de aumentar en latitudes medias y altas, pero en general puede disminuir en los trópicos y subtrópicos.

Para América Latina se prevé que los impactos físicos y biológicos ocasionen importantes repercusiones socioeconómicas y ambientales (Magrin, *et al.*, 2014). En los últimos 40 años, la temperatura ha aumentado entre 0,7 y 1°C en América Central y América del Sur (Vale y Pire, 2018). La región de América Latina que resultaría más afectada es Centroamérica, sobre todo en lo referente a seguridad alimentaria (Magrin, *et al.*, 2014). En la región Mesoamericana existiría un aumento de la temperatura, alteración de rango de lluvias, disminución en el nivel de agua de los acuíferos, debido a la reducción total de la precipitación anual entre 10% y 20% (Gutierrez y Espinosa, 2010), lo cual reduciría la disponibilidad de agua para actividades económicas, principalmente agrícolas.

En Sudamérica el clima ya ha cambiado en las últimas décadas (Magrin, *et al.*, 2014). En temperatura, la tendencia general observada, en los últimos 40 años, es un aumento entre 0,7° y 1°C, a excepción de la Costa del Pacífico entre Perú y Chile donde ha existido un enfriamiento de 1°C. (Vale y Pire, 2018). Este dato es

preocupante si se considera que la temperatura promedio de la tierra ha aumentado en 0,85°C en el periodo 1880-2012 (López y Hernández, 2016). La tendencia en las precipitaciones en los últimos 50 años es más heterogénea, con una reducción de las precipitaciones en el centro-sur de Chile de alrededor 1 mm/día y un aumento en el extremo sur sudamericano cerca de 0,6°C (Vale y Pire, 2018). En la región Andina, por su parte, se ha observado un continuo retroceso de los glaciares, cambios en patrones tradicionales de precipitación, cambios en los caudales estacionales de los ríos y reducción de la disponibilidad de agua potable, hasta aumento en los desastres naturales de origen hidroclimático (Vale y Pire, 2018).

Adicionalmente a los cambios observados en los escenarios desarrollados por el IPCC se proyecta una variación aún mayor en temperatura y precipitación. Las proyecciones para América del Sur para el año 2100 predicen un aumento de la temperatura de 1,7°C a 6,7°C, con cambios geográficos en los patrones de lluvia que implican una reducción del 22% en el noreste de Brasil y un incremento del 25% en el sureste de Sudamérica (Magrin, *et al.*, 2014).

Aunque varios estudios de proyección de escenarios han examinado el efecto del cambio climático en los cultivos a nivel mundial (IPCC, 2015). En la actualidad son pocos los estudios a nivel de Latinoamérica, a excepción de México donde se ha definido los probables impactos negativos del cambio climático en la producción de maíz (*Zea mays*) (Magaña, 2010; Ahumada, *et al.*, 2014), de cebada (Calderón-García, Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz, 2015) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Medina-García, Ruíz-Corral, Rodríguez, Soria-Ruiz, Díaz-Padilla y Zarazúa, 2016). Todavía son aún más escasos los estudios que han analizado los impactos del cambio climático a nivel local.

Bajo estos escenarios los impactos en la región pueden ir desde la posible reducción de la selva amazónica y posterior reemplazo por una sabana central (Vale y Pire, 2018), hasta la probable reducción de superficies con condiciones agroclimáticas óptimas para

el cultivo de maíz en las zonas del trópico y subtropical y un incremento de estas superficies en valles altos y valles muy altos (Ruiz, *et al.*, 2011).

En el contexto ecuatoriano se espera que los patrones climáticos se sigan alterando en el futuro, ya que, por ejemplo, escenarios climáticos proyectados para la provincia Chimborazo señalan que para el año 2050 existirá una reducción generalizada en las precipitación y un aumento de la temperatura mínima mensual promedio (entre 1,61 y 1,66°C) y la temperatura máxima mensual (entre 0,94 y 2,43°C) (Bustamente, 2017). Algo similar ocurrirá en los páramos de Tungurahua, ya que para los años 2050 y 2070 se pronostica un aumento de la temperatura en alrededor 1,82°C y 2,53°C respectivamente (Geoinformática y Sistemas Cia. Ltda, 2015). Mientras que, para la provincia de Imbabura en el periodo 2041-2070 se predicen efectos tales como: “aumento substancial de la temperatura de alrededor de 2,6 °C, declinación de la precipitación, alrededor del 30,5%, dando como consecuencia aumento de los días secos en 6,5 días por año aproximadamente” (Alves citado por Hidalgo, *et al.*, 2015, p. 147).

## **2.2.Marco teórico**

### **2.2.1. Cambio climático**

El cambio climático es el principal problema que afecta a la humanidad en la actualidad, el cual se define como el cambio en el clima a través del tiempo, debido al incremento de los gases de efecto invernadero inducido directa o indirectamente por la actividad humana y superpuesto a la variabilidad natural (Alonso, 2011).

A nivel mundial, el cambio climático influye en los diferentes sistemas socioeconómicos y ambientales, especialmente en los países en vías desarrollo, los cuales presentan menor resiliencia y mayor vulnerabilidad en su población (Fernández, 2013). Su economía depende de recursos que pueden ser afectados gravemente y en general existe carencia de conocimiento y organización para anticipar y adaptarse al

cambio climático y a sus complejas consecuencias, a pesar de que en las últimas décadas esta problemática ha captado la atención de todo el mundo.

### ***2.2.2. Escenarios de emisión***

Las vías de concentración representativa (RCP) son un nuevo conjunto de escenarios, que se utilizaron para las nuevas simulaciones de modelos climáticos realizados en el marco del CMIP5 (Armenta, Dorado, Rodríguez y Ruíz, 2014). El IPCC en su 5to informe considera los escenarios RCPs y no los escenarios del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES) considerados en su 3er y 4to informe. En contraste a los SRES, en los RCPs las incertidumbres del ciclo del carbono que afectan a las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, no se consideran en las simulaciones CMIP5 y las proyecciones del nivel del mar son más grandes, debido al modelado mejorado de las contribuciones del hielo terrestre (IPCC, 2013).

Los RCPs son rutas de concentración de futuras emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, en todas estas vías, las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> son más altas en 2100 en relación con el día de hoy como resultado de un aumento adicional de las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera durante el siglo XXI (Armenta, Dorado, Rodríguez y Ruíz, 2014). Para colocar tales proyecciones en el contexto, se considera los cambios históricos observados entre diferentes períodos; con base en el más largo conjunto de datos mundiales de temperatura de la superficie disponible, el cambio sobresaliente es entre el promedio del período 1850–1900 (IPCC, 2013).

Al evaluar los cambios climáticos futuros, se presenta cuatro RCP (Tabla 1). El escenario de emisiones bajas (RCP 2,6) significa una reducción considerable y sostenida en las emisiones: el escenario de emisiones altas (RCP 8,5) que la continuidad de las tasas de emisiones altas superando los 2°C y los dos escenarios intermedios (RCP 4,5 y 6,0) implican una cierta estabilización de las emisiones que probablemente no supere los 2°C. Para el IPCC (2013), este forzamiento radiativo impuesto por las concentraciones dependerá el comportamiento de la temperatura y precipitación.

**Tabla 1.** Tipos de vías de concentración representativas

Nombre	Forzamiento radiativo	Concentración	Forma del itinerario
RCP 8,5	>8,5 W/m <sub>2</sub> en 2100	> ~1370 CO <sub>2</sub> -eq en 2100	En aumento
RCP 6,0	Estabilización en ~ 6 W/m <sub>2</sub> a partir de 2100	~850 CO <sub>2</sub> -eq (estabilización, a partir de 2100)	Estabilización sin Translimitaciones
RCP 4,5	Estabilización en ~ 4.5W/m <sub>2</sub> a partir de 2100	~650 CO <sub>2</sub> -eq (estabilización, a partir de 2100)	Estabilización sin Translimitaciones
RCP 2,6	Máximo a ~3W/m <sub>2</sub> antes de 2100; disminución posterior	Máximo a ~490 CO <sub>2</sub> -eq antes de 2100; disminución posterior	Culminación seguida de disminución

**Fuente:** Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (2007).

### **2.2.3. Modelos de circulación global**

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático, el riesgo que supone y las posibilidades de adaptación y atenuación de este; publicando los resultados en informes cada 5-7 años. Es así, que en su Quinto Informe de Evaluación (AR5), considera nuevos hallazgos de cambio climático basados en estudios de procesos climáticos y simulaciones.

En particular, el IPCC utiliza modelos climáticos de la quinta fase del Proyecto de intercomparación de modelos acoplados-fase 5 (CMIP5), que se refiere a modelos combinados con documentación de modelo acoplado atmósfera-oceáno, del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP). Este programa busca comprender la variabilidad y la previsibilidad del clima natural en escalas de tiempo, y predecir la respuesta del sistema climático a los cambios en el forzamiento natural y antropogénico. Para este proyecto contribuyeron 26 grupos de modelización climática de todo el mundo (Tabla 2) (Taylor, Stouffer y Meehl, 2012).

Las proyecciones de cambios en el sistema climático se realizan utilizando una jerarquía de Modelos Climáticos Globales (GCM), que son modelos que utilizan ecuaciones de movimientos de la dinámica de fluidos en un Modelo Numérico de Predicción del Clima con el propósito de calcular y predecir los patrones climáticos futuros (Bustamente, 2017).

Los modelos de circulación general atmósfera-océano (AOGCM) fueron los modelos climáticos "estándar" evaluados en el AR5 (IPCC, 2013). Su función es permitir la comprensión y reproducción de los principales procesos que tienen lugar en el sistema climático, integrado por diferentes componentes (atmósfera, océano, criósfera, superficie terrestre, vegetación, entre otros) y fuertemente acoplados entre sí, para hacer proyecciones basadas en futuros gases de efecto invernadero (GEI) y forzamiento de aerosoles (Casado, Martín, Pastor y Rodríguez, 2011). Estos modelos siguen siendo ampliamente utilizados y en particular se ejecutan (a veces con una resolución más alta) para la predicción del clima estacional o decenal y a menudo en estudios de procesos o aplicaciones con un enfoque en una región particular (IPCC, 2013).

Según Oviedo y León (2010), existen modelos de clima que van desde simples, a modelos de complejidad intermedia, modelos climáticos integrales, y modelos del sistema terrestre. La elección del modelo depende directamente sobre la cuestión científica que se requiere abordar. Estos modelos simulan los cambios de clima basados en un conjunto de supuestos de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por forzamientos antropogénicos.

Los modelos climáticos del CMIP5 tienen problemas en representar adecuadamente la precipitación sobre el norte de América del Sur en algunos meses debido a que está controlado por la migración meridional de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la cual está localizada más al sur de su posición real durante estas temporadas, subestimando la precipitación y sobrestimando la temperatura (Poveda, Waylen y Pulwarty, 2006). Sin embargo, los modelos ACCESS1-0, ACCESS1-3, HadGEM2-CC

y HadGEM2-ES simulan de manera más realista la precipitación sobre el norte de América del Sur (Sierra, Arias y Vieira, 2016).

**Tabla 2.** Tipos de Modelos Climáticos Globales

<b>Modeling Center (or Group)</b>	<b>Institute ID</b>	<b>Model Name</b>	<b>Característica principal</b>
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) and Bureau of Meteorology (BOM), Australia	CSIRO-BOM	ACCESS1.0	Modelado de atmósfera, océano, hielo marino y superficie terrestre
Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	BCC	BCC-CSM1.1	Modelo atmósfera, terrestre, oceano, hielo marino y ciclo global del carbono.
National Center for Atmospheric Research	NCAR	CCSM4	Modelo de atmósfera, océano, tierra, hielo terrestre y marino
Centre National de Recherches Météorologiques / Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique	CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	Acoplo de atmósfera, océano, hielo marino, tierra, flujos océano-atmosférico, descargas al océano.
NASA Goddard Institute for Space Studies	NASA GISS	GISS-E2-R	Modelo atmosférico, ciclo del carbono, oceánico.
National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration	NIMR/KMA	HadGEM2-AO	Modelo de troposfera, superficie terrestre, hidrología, aerosoles, océano, hielo marino
Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)	MOHC (additional realizations by INPE)	HadGEM2-ES	Acopla troposfera, superficie terrestre, hidrología, aerosoles, océano, hielo marino, terrestre, ciclo del carbono en la biogeoquímica oceánica
Institut Pierre-Simon Laplace	IPSL	IPSL-CM5A-LR	Modelo de atmósfera, océano, terrestre, química atmosférica y química estratosférica de baja resolución.
Max-Planck-Institut für Meteorologie (Max Planck Institute for Meteorology)	MPI-M	MPI-ESM-LR	Modelo de atmósfera, superficie de la tierra, océano, hielo marino de baja resolución.

**Fuente:** Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (2013).

#### **2.2.4. Impactos del cambio climático**

Amestoy (2010) afirma que el cambio climático está provocando afectaciones en la composición, estructura y funcionamiento de ecosistemas y por consiguiente para los hábitats y las especies que en ellos se albergan debido a eventos climáticos adversos, por ejemplo, sequías muy graves o inundaciones intensas. La consecuencia del cambio climático más difícil de mitigar es la pérdida de biodiversidad y la que resulta imposible revertir, la extinción de especies; lo cual se debe a que el clima es determinante primario en la distribución vegetal por la influencia de condiciones de humedad y temperatura de una región (Molina, Sarukhán y Carabias, 2017).

Es imposible predecir con exactitud el futuro de esta problemática en las distintas regiones del planeta, sin embargo, es previsible que los desiertos se hagan más cálidos, pero no más húmedos. Entre un tercio y la mitad de todos los glaciares del mundo y gran parte de los casquetes polares se fundirían, poniendo en peligro las ciudades y campos situados en los valles que se encuentran debajo del glaciar; grandes superficies costeras podrían desaparecer inundadas por las aguas que ascenderían de 0,5 a 2 m de acuerdo con diferentes estimaciones; tierras agrícolas se convertirían en desiertos y en general se producirían grandes cambios en los ecosistemas terrestres (Amestoy, 2010).

#### ***2.2.5. Impactos del cambio climático en la agricultura***

Muchas personas de escasos recursos dependen de la agricultura, actividad altamente susceptible al aumento de la temperatura y la variabilidad en los rangos de precipitación (Rodríguez, 2007). De acuerdo con Brown (2006), la temperatura promedio de la Tierra se ha incrementado en aproximadamente 0,8°C (1,4 grados Fahrenheit) desde 1970; cada década desde aquel año ha sido más caluroso que el anterior. Los 22 años más calientes en récord han ocurrido desde 1980 para adelante y los 6 años más calientes de éstos han ocurrido en los últimos 8 años y en tres de estos seis años (2002, 2003 y 2005). Los agricultores tuvieron pérdidas de cosechas frente a temperaturas récord, ya sea por estrés térmico e hídrico, acortamiento de la estación de crecimiento o disminución de plagas y enfermedades.

Rodríguez (2007) afirma que, a nivel global, los impactos del cambio climático en la agricultura variarán entre regiones, dependiendo de la latitud de los países, de las condiciones ambientales locales, de las respuestas a nivel socioeconómico y de variables institucionales. Se proyecta un ligero incremento en la productividad de los cultivos en las latitudes medias y altas, para incrementos promedios regionales de temperatura entre 1 y 3°C, dependiendo del tipo de cultivo (López y Hernández, 2016). Para temperaturas mayores, habrá reducciones en algunas regiones. En las latitudes menores, especialmente en regiones tropicales y con sequía estacional, se proyecta una reducción en la productividad de los cultivos, incluso para pequeños incrementos en temperatura media (1 a 2 °C), lo cual aumentará el riesgo de hambruna (Fernández, 2013).

Globalmente, a partir de los incrementos en las temperaturas medias regionales de entre 1 °C y 3 °C, se proyecta un incremento en el potencial para la producción agrícola, pero éste se reduce para incrementos mayores (López y Hernández, 2016). Se proyecta que el incremento en la frecuencia de las sequías e inundaciones afectará la producción local negativamente, especialmente en sectores de subsistencia en países en latitudes bajas (Fernández 2013). La distribución de los cultivos entre países y regiones y los flujos de comercio agropecuario pueden modificarse significativamente en el futuro (Rodríguez, 2007).

#### **2.2.6. Zonificación agroecológica**

La zonificación agroecológica (ZAE) es una herramienta que permite definir zonas en base al suelo, fisiografía y características climáticas, con la finalidad de dar respuesta al problema de los cambios en el uso de la tierra, en donde no se ha considerado la aptitud agroecológica (FAO, 1997b). Los parámetros particulares usados en esta definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de zonas aptas para diferentes cultivos, las cuales tienen una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso y manejo de tierras, ya sea incrementando la producción (Suárez, 2014).

La metodología ZAE se puede considerar como un conjunto de aplicaciones básicas, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras. Esta metodología de la FAO fue diseñada para computadoras, mediante el uso Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cual implica la combinación de capas de información espacial para definir zonas (FAO, 1997b). En 1992 La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura organizó un Taller Regional sobre la Metodología de Zonificación Agroecológica en el cual participaron 17 países de América Latina y el Caribe, dando valiosos efectos en países como Argentina, Venezuela, Brasil, Ecuador, Colombia y Bolivia que han realizado estudios ZAE, por propia iniciativa, incluso diferentes autores adaptan la metodología a sus condiciones específicas de investigación y han producido interesantes resultados y aplicaciones (Suárez, 2014).

Los requerimientos agroecológicos corresponden al conjunto de requisitos climáticos y edáficos necesarios para que un cultivo tenga aptitud en una zona determinada. Los requerimientos edáficos más utilizados son los siguientes: drenaje, fertilidad, textura, profundidad, pendiente, salinidad, toxicidad, riesgo de inundación y erosión y pH (FAO, 1997b). Los factores climáticos que con más frecuencia se tienen en cuenta son la precipitación, la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa y los vientos (Turner y Gillbanks, 2003).

Los requisitos climáticos y agroecológicos permiten la aptitud de un cultivo en determinada área territorial, sin embargo, si solamente se incluye el factor clima la aptitud será agroclimática; en cambio, si además de éste se considera al suelo y algunos parámetros económicos, se llegará a aptitudes agroecológicas y económicas.

### ***2.2.7. Zonificación agroecológica y cambio climático***

Rodríguez (2007) afirma que, al parecer, es inevitable que el cambio climático produzca efectos de gran magnitud en la agricultura, por lo que se hace fundamental

que las regiones y comunidades adopten medidas prácticas de adaptación y mitigación al cambio climático. Una de las medidas importantes en la agricultura es la zonificación agroecológica, debido esta metodología permite la toma de decisiones sobre qué cultivos plantar, cuándo hacerlo y cuándo cosechar (FAO, 1997b). Además, se ha convertido en una herramienta práctica para establecer estrategias de adaptación simplemente ajustando los valores de precipitación y temperatura y conociendo las potenciales distribuciones de las especies con el objetivo de aumentar la productividad agrícola reduciendo las pérdidas debidas a períodos de siembra incorrectos (Alpízar, 2014).

### **2.3. Marco legal**

En esta sección se presenta las leyes y normativas vigentes que fundamentan el presente estudio para enfocarlo desde una perspectiva legal.

#### ***2.3.1. Constitución de la República del Ecuador***

La presente investigación tiene como principal fundamento legal, la Constitución de la República del Ecuador vigente desde el año 2008, mencionando lo siguiente: Título II Derechos: Capítulo segundo; Derechos del buen vivir Sección primera Agua y alimentación, menciona en el artículo 14: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak kawsay”.

De igual manera, se menciona en el artículo 83: “Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley: 3. Defender la integridad territorial del Ecuador y sus recursos naturales y 6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible”.

En el Título V correspondiente a Organización Territorial del estado, Capítulo Cuarto se establece el régimen de competencias gubernamentales relacionados al cuidado y

protección de los recursos naturales de acuerdo con los siguientes artículos: “261.- El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre: 7. Las áreas naturales protegidas y los recursos naturales” y “264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de otras que determine la ley: 2. Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón”.

De acuerdo con el Título VI, artículo 276, se establece como objetivo 4 del régimen de desarrollo: “Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural”. En el artículo 281 se establece que “La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente”. De la misma manera en el artículo 282 se establece que “El Estado normará el uso y acceso a la tierra que deberá cumplir la función social y ambiental. Un fondo nacional de tierras, establecido por ley, regulará el acceso equitativo de campesinos y campesinas a la tierra”.

También se establece la normativa para la biodiversidad y recursos naturales en el capítulo segundo del Título VII Régimen del Buen vivir, en artículo 395 tipifica lo siguiente: “El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras”, en donde se asume importante la creación de escenarios futuros de cambios de acuerdo al uso actual de recursos naturales, siendo el principal dentro de la investigación el suelo. Siendo un recurso de vital importancia, en el artículo 409 se señala que: “Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas

afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona” y en el artículo 410: “El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria”.

El cambio climático es una problemática mundial, por lo que en el artículo 414 de la Constitución se establece que “El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo”. Esta investigación servirá como base para la adopción de medidas a nivel local.

### ***2.3.2. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021***

Se consideró el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 (SENPLADES, 2017) cuyo objetivo tercero y sexto establecen políticas que impulsan la respuesta frente al cambio climático y la producción agroecológica: la política 3.4 determina “Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global” y la política 6.5 establece “Promover el comercio justo de productos, con énfasis en la economía familiar campesina y en la economía popular y solidaria, reduciendo la intermediación a nivel urbano y rural, e incentivando el cuidado del medioambiente y la recuperación de los suelos”.

### ***2.3.3. Código Orgánico del Ambiente***

En el Código Orgánico Ambiental (2017) dentro del régimen institucional habla sobre el derecho a vivir en un ambiente equilibrado y en el artículo 5 numeral 12 se especifica lo siguiente: “La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación

para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas”.

Se atribuyen competencias a la Autoridad Ambiental Nacional y los GADs para hacer frente a los efectos del cambio climático a nivel local. De acuerdo con el artículo 24 numeral 14, es deber de la Autoridad Ambiental Nacional; “Definir la estrategia y el plan nacional para enfrentar los efectos del cambio climático en base a la capacidad local y nacional”. En el artículo 25 numeral 11 se especifica que es deber de Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales: “Incorporar criterios de cambio climático en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial y demás instrumentos de planificación provincial”. De acuerdo con el artículo 27 numeral 14, es deber de los Gobiernos Autónomos Municipales: “Insertar criterios de cambio climático en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial y demás instrumentos de planificación cantonal de manera articulada con la planificación provincial y las políticas nacionales”. De acuerdo con el artículo 28 numeral 4, es deber de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales Rurales: “Insertar criterios de cambio climático en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y demás instrumentos de planificación parroquial de manera articulada con la planificación provincial, municipal y las políticas nacionales;

En el libro IV, se especifica los instrumentos para la gestión, los enfoques, criterios y medidas mínimas de mitigación y adaptación al cambio climático.

### ***2.3.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización***

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD, 2014) en el título uno de los Principios Generales, el artículo 4 menciona que uno de los fines de los Gobiernos Descentralizados, es “la recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable”. Por lo que esta investigación servirá al organismo competente para el

desarrollo de planes de ordenamiento territorial rural de acuerdo con los posibles escenarios de impacto por el cambio climático.

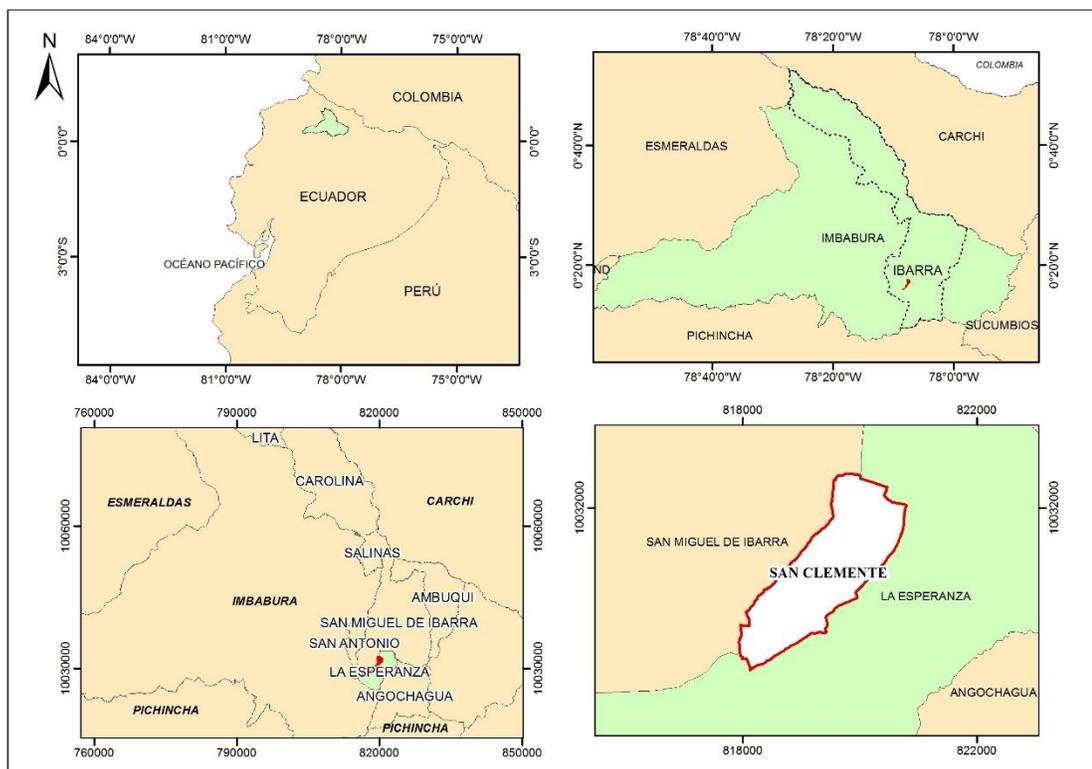
## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el área de estudio, los materiales utilizados y las metodologías empleadas en las diferentes etapas en el desarrollo de la investigación para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo.

#### 3.1. Descripción del área de estudio

San Clemente es una comunidad indígena localizada en la sierra ecuatoriana ( $0^{\circ}16'13.30''N$  y  $78^{\circ}8'23.30''O$ ), al oriente del volcán Imbabura, en la parroquia rural La Esperanza, cantón Ibarra (Figura 1). Su superficie es de 405,53 hectáreas y la altitud está en un rango de 2565 a 3200 msnm.



**Figura 1.** Ubicación de la Comunidad San Clemente.

Esta comunidad tiene alrededor de 700 habitantes constituidos en aproximadamente 175 familias de las cuales 10 se han dedicado a fortalecer el turismo comunitario, como una alternativa económica, frente a los problemas sociales, económicos y ecológicos; convirtiendo a San Clemente en destino turístico nacional e internacional (Pantoja, 2012).

La principal actividad socioeconómica a la que se dedican es la agricultura; se cultiva cereales, maíz, fréjol y tubérculos, que son comercializados en ferias informales en la ciudad de Ibarra (Gutiérrez, 2010). Otra fuente socioeconómica de la población es la crianza de animales, principalmente impulsada por el sector femenino. Las mujeres de la comunidad también se dedican al bordado, el cual es parte de la cultura del sector y de los atractivos turísticos.

### **3.2. Materiales y equipos**

Los materiales y equipos necesarios para el presente trabajo de investigación tanto trabajo de campo como procesamiento de información se detallan a continuación.

#### ***3.2.1. Material cartográfico y bibliográfico***

Los insumos necesarios para la zonificación de los cultivos en el área de estudio fueron los siguientes: cartografía base (IEE,2018) (escala 1:25 000), cartografía temática de suelos y relieve (escala 1:50 000), ortofoto del uso actual del suelo del año 2011 correspondiente al proyecto SIGTIERRAS y el modelo digital de elevación (DEM) de la ciudad de Ibarra de 30 m.

Los materiales bibliográficos utilizados fueron: la Guía Técnica de Cultivos del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2008), Anuarios meteorológicos e hidrológicos de 1986 al 2015 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el portal WorldClim (<http://worldclim.org/>).

### 3.2.2. *Material de oficina*

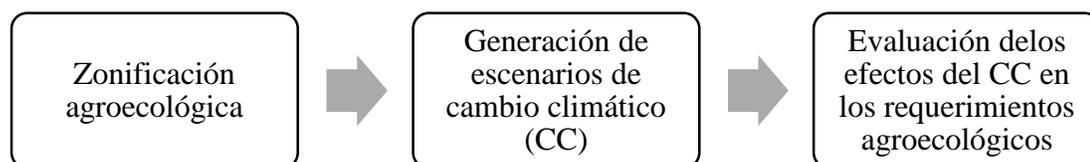
Los materiales de oficina que se utilizaron para el desarrollo de esta investigación fueron los siguientes: computadora portátil, impresora, proyector de imágenes digitales, memoria USB; los cuales que permitieron el procesamiento de información recopilada en campo. En lo referente a la elaboración de mapas el software utilizado fue ArcGis 10.4 de ESRI Desktop.

### 3.2.3. *Material de campo*

Los materiales de campo necesarios para el levantamiento de información en cuanto a muestreos en el área de estudio fueron los siguientes: Navegador GPS (Sistema de Posicionamiento Global), cámara fotográfica y libreta de campo.

## 3.3. Métodos

El método usado para evaluar los efectos del cambio climático en los requerimientos agroecológicos de los cultivos presentes y potenciales consistió en 3 etapas metodológicas:



**Figura 2.** Etapas metodológicas

### 3.3.1. *Fase I. Zonificación agroecológica de los cultivos presentes en la comunidad San Clemente*

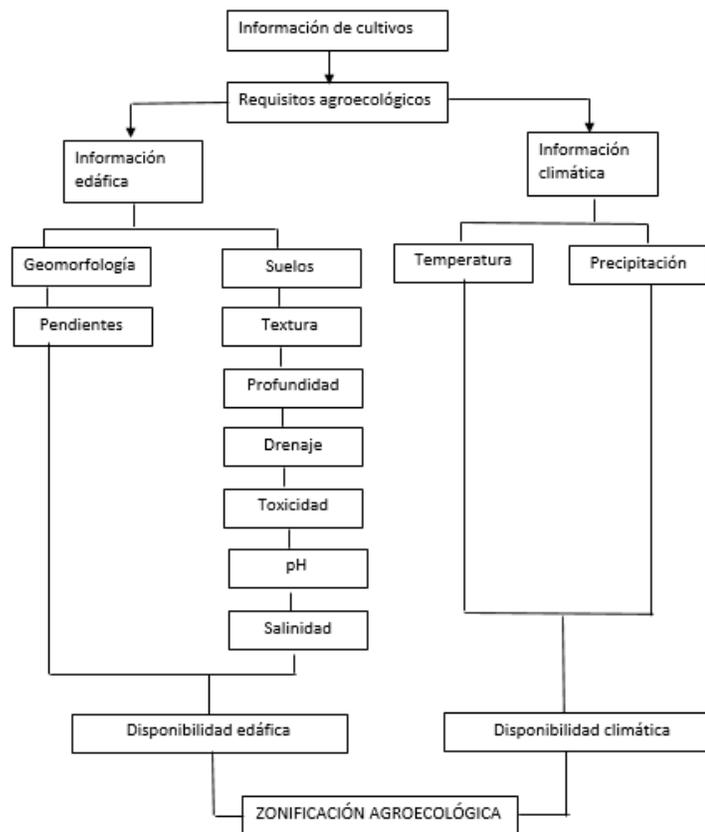
#### *Uso actual del suelo*

Para la obtención del uso actual del suelo en la comunidad San Clemente se realizó una clasificación supervisada de una ortofoto del uso actual del suelo del año 2011 correspondiente al proyecto SIGTIERRAS, la cual se validó con la georreferenciación de cultivos representativos mediante 10 salidas de campo. Se determinó que en el área de

estudio se produce maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), haba (*Vicia faba*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*); algunos de los cuales se encuentran en asociaciones. El resultado es el mapa de uso actual del suelo de la comunidad, mismo que permitió establecer zonas de conflicto de uso en la comunidad.

### Recopilación de información

La zonificación agroecológica de la comunidad inició con la recopilación de información bibliográfica y cartográfica para su posterior tratamiento y edición. Para determinar las variables agroecológicas de los cultivos se utilizó la Guía de Cultivos para el Ecuador del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, (Villavicencio y Vásquez, 2008). Las variables consideradas (figura 3) fueron las edáficas (textura, drenaje, profundidad, toxicidad, pH, salinidad) geomorfológicas (altitud, pendiente) (Anexo 2) y climáticas (temperatura y precipitación) (Anexo 3).



**Figura 3.** Diagrama de la zonificación agroecológica

Posteriormente se procedió a identificar a los cultivos con mayor aptitud agroecológica dentro del área de estudio a partir de sus requerimientos agroecológicos (Anexo 4) y la combinación de variables edáficas, geomorfológicas y climáticas del área de estudio.

Los cultivos considerados para la zonificación fueron: chocho (*Lupinus mutabilis*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*), haba (*Vicia faba*), maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) debido a que son los cultivos de gran importancia para la parroquia y la región andina en general.

El rango de pendientes establecido en los requerimientos de los cultivos estuvo basado en la guía mencionada anteriormente. Es posible aplicar esos rangos implementando técnicas de manejo y conservación de suelos, para proteger al recurso edáfico de una posible erosión, variable que no se consideró en el desarrollo de la investigación.

La información edáfica para el área de estudio fue obtenida del IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano), a escala 1:25000, la cual fue editada de acuerdo con la necesidad de los objetivos, obteniendo las celdas agroecológicas. La información geomorfológica fue obtenida de un modelo digital de elevación (DEM) a una resolución espacial de la ciudad de Ibarra de 30 m.

La información climática se obtuvo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), mediante la recopilación de información de temperatura promedio anual y precipitación anual de doce estaciones meteorológicas (Tabla 3), principalmente por la disponibilidad de datos para un periodo de 1986-2015.

En el caso de estaciones con ausencia de datos se procedió al relleno a través de la estación más cercana considerando un coeficiente de correlación superior a 0,5, el cual indica que existe una correlación positiva.

**Tabla 3.** Estaciones meteorológicas.

N°	Cód.	Nombre	Altitud msnm	Coordenadas DATUM WGS 84 17 S		Provincia	Variable	Distancia a San Clemente (km)
				X	Y			
1	M010	Otavalo	2550	804801	10026927	Imbabura	Precipitación Temperatura	15,87
2	M0312	Pablo Arenas	2340	812240	10055212	Imbabura	Precipitación	25,27
3	M0315	Pimampiro	2090	840591	10043102	Imbabura	Precipitación	24
4	M0317	Cotacachi	2410	804038	10033750	Imbabura	Precipitación	35,3
5	M0001	Inguincho	3140	788864	10028431	Imbabura	Precipitación Temperatura	31,06
6	M0107	Cahuasqui- FAO	2335	810476	10056604	Imbabura	Temperatura	27,16
7	M0103	San Gabriel	2860	854464	10066400	Carchi	Precipitación Temperatura	49,47
8	M0301	FF CC Carchi	1280	919105	10066400	Carchi	Precipitación	35,3
9	M0305	Julio Andrade	2890	865607	10071900	Carchi	Precipitación	61,34
10	M0308	Tufiño	3418	850765	10088500	Carchi	Precipitación	65,22
11	M0003	Izobamba	3058	729520	9890190	Pichincha	Precipitación Temperatura	167,35
12	M0025	La concordia	379	680250	9997253	Pichincha	Precipitación Temperatura	143,6

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2018).

### *Tratamiento y edición de información*

Para el cálculo de la precipitación media anual y temperatura media anual, se utilizó el software ArcGis 10.4 (licencia temporal). Para interpolar los datos de las precipitaciones mensuales de las estaciones meteorológicas seleccionadas, se usó el modelo determinístico IDW (Distancia Inversa Ponderada) con un tamaño de celda de 20 m, considerando que este modelo da mayor peso al punto más cercano a la ubicación de la predicción y los pesos disminuyen en función de la distancia (Londoño y Valdés, 2012). Finalmente se sumó las precipitaciones mensuales para obtener la precipitación

anual y después mediante el cálculo del promedio anual de las precipitaciones se determinó la precipitación anual del área de estudio.

Para el cálculo de la temperatura media del área de estudio se interpoló los datos de temperatura mensual de las estaciones meteorológicas seleccionadas considerando el método de Gradiente Vertical Térmico (Fries, *et al.*, 2009), a través del cual se procede a calcular una temperatura determinada a un mismo gradiente altitudinal (Ecuación 1).

$$T_{DET} = T_{MENSUAL} + (r \times (Z_{DET} - Z_{EST}))$$

**Ecuación 1.** Corrección de temperaturas en base al GVT

Dónde:

$T_{DET}$  = temperatura determinada,  $T_{EST}$  = temperatura mensual,  $r$  = valor de  $m(x)$  en la regresión lineal,  $Z_{DET}$  = promedio de la altitud de las estaciones y  $Z_{EST}$  = altitud de cada estación medida.

Finalmente, con los valores obtenidos de la temperatura determinada se procede a calcular la temperatura real mediante la incorporación de un modelo digital de elevación (Ecuación 2).

$$T_{x,y} = T_{DET} + (r \times (Z_{DEM(x,y)} - Z_{DET}))$$

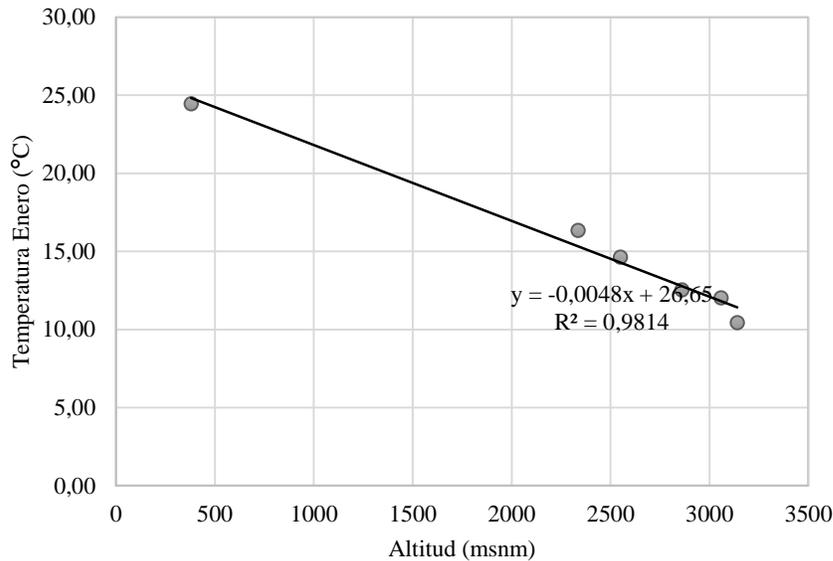
**Ecuación 2.** Corrección de temperatura determinada a real

Dónde:

$T_{x,y}$  = temperatura real,  $T_{DET}$  = temperatura determinada,  $r$  = valor de  $m(x)$  en la regresión lineal,  $Z_{x,y}$  = altitud de la zona de estudio (se utilizó el modelo digital de elevación) y  $Z_{det}$  = altitud promedio de las estaciones.

Los valores de la regresión lineal se obtuvieron mediante el gráfico de dispersión de cada mes en Excel como se muestra en el ejemplo del mes de enero en la figura 4, en donde se visualiza la relación entre los valores de temperatura y altitud de cada estación y el valor promedio de las alturas ( $Z_{DET}$ ) se establece en 1000. Finalmente se interpoló la Temperatura determinada mediante el modelo determinístico “Spline” y se sumó las

temperaturas mensuales para obtener la temperatura anual y después mediante el cálculo del promedio anual de las temperaturas se determinó la temperatura media anual del área de estudio.



**Figura 4.** Correlación temperatura enero - estaciones meteorológicas.

#### *Zonificación agroecológica*

La FAO (1997b) define a la zonificación agroecológica como aquella comparación sistemática entre características ecológicas, climáticas y edáficas de una zona en particular con los requerimientos básicos del cultivo sugerido para dicha zona, determinándose su aptitud y eficiencia para producir tales cultivos en secano o para determinar las razones agroecológicas por las cuales un determinado cultivo no se lo puede producir eficientemente; y así, realizar una selección de los cultivos más idóneos para una zona determinada.

Los elementos de entrada para realizar el álgebra de mapas para obtener el modelo de zonificación agroecológica fueron los mapas de: isoyetas, isotermas, pendientes y unidades edáficas (textura, profundidad, drenaje, salinidad, pH). El mapa resultante, generó un mapa de celdas agroecológicas con características climáticas y edáficas definidas junto con una tabla de atributos, las cuales fueron evaluadas en función de los requerimientos de cada

cultivo mediante un lenguaje de consulta estructurado o SQL (por sus siglas en inglés structured query language), el cual es un tipo de lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en ellas (Lucero, 2013).

Los criterios para la aptitud agroecológica tanto de cultivos como del territorio fueron ingresados al software ArcGis y mediante el lenguaje de consulta estructurado se logró establecer las áreas aptas y no aptas de cada cultivo.

### ***3.3.2. Fase II. Escenario futuro del cambio climático de la comunidad en estudio***

El portal WorldClim, es un portal regional disponible en la web, que proporciona un conjunto de capas de geodatos climáticos mundiales (datos climáticos con rejilla), en formato GeoTiff (formato de archivo de imagen etiquetada georeferenciada) generadas por el método establecido de (Hijmans, Cameron, Parra, Jones y Jarvis, 2005) (WorldClim, <http://worldclim.org/>). Los datos disponibles son proyecciones climáticas de GCMs según la IPPC<sub>5</sub> reducidas y calibradas que usan WorldClim 1,4 como clima base actual.

Se descargó información del modelo climático Hadley Center Global Environment Model versión 2 global (HadGEM2-ES), es un modelo de sistema de tierra acoplado que fue el primer modelo utilizado por Met Office Hadley Center de UK, uno de los centros de investigación sobre cambio climático más importantes del Reino Unido. El modelo climático HadGEM2-ES comprende un GCM atmosférico. Se utilizó este modelo porque simula de manera más realista la distribución espacial y estacional de la precipitación y temperatura durante toda la temporada considerando la estación seca, ya que la mayoría de los modelos subestiman esta temporada, que es más fuerte en el norte de Sudamérica tropical (Yin, Fu, Shevliakova y Dickinson, 2013).

El modelo descargado fue el proyectado al año 2070 (promedio para el periodo 2061-2080) con una resolución de 1 km<sup>2</sup> (30 arcseg) aproximadamente en la línea del Ecuador, considerando dos vías de concentración representativa (RCP): 2,6 (emisiones

bajas) y RCP 8,5 (emisiones altas). Se tomó la base de datos de información en formato ráster de temperatura media anual y precipitación.

Finalmente se procesó los datos mediante el uso del software ArcGis versión 10.4 y se procedió a importar y extraer los datos de cada variable, a la zona de interés, para el caso se consideró el Ecuador continental como máscara, para minimizar el tamaño de los archivos y posteriormente se realizó la extracción hacia el área de estudio. Los archivos se proyectaron al sistema WGS84/UTM-ZS-17S.

### ***3.3.3. Fase III. Evaluación de los efectos del cambio climático en los requerimientos agroecológicos de los cultivos***

Para definir el impacto del cambio climático, se realizó la zonificación agroecológica del área de estudio descrita en la fase I, pero considerando los rangos de temperatura y precipitación de los escenarios con rangos de emisión de 2,6 y 8,5 del modelo HadGEM2-ES, en los cuales se presume existiría una variación. En cuanto a atributos edáficos de la comunidad se consideran la información actual obtenida del IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano).

Se analizó los requerimientos agroecológicos de los cultivos existentes en la actualidad basados en la guía de cultivos del INIAP (2008), considerando nuevos acontecimientos de precipitaciones y temperaturas en el territorio. Los cultivos sugeridos en esta fase son los mismos de la fase I: maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), haba (*Vicia faba*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Distribución agroecológica de los cultivos en la comunidad San Clemente

Inicialmente se determinó la cobertura y uso de suelo actual considerando los principales cultivos, después se identificó las características agroecológicas de cada uno de ellos dentro del territorio y su superficie de aptitud para el análisis de conflictos de uso de suelo, lo cual se presenta a continuación.

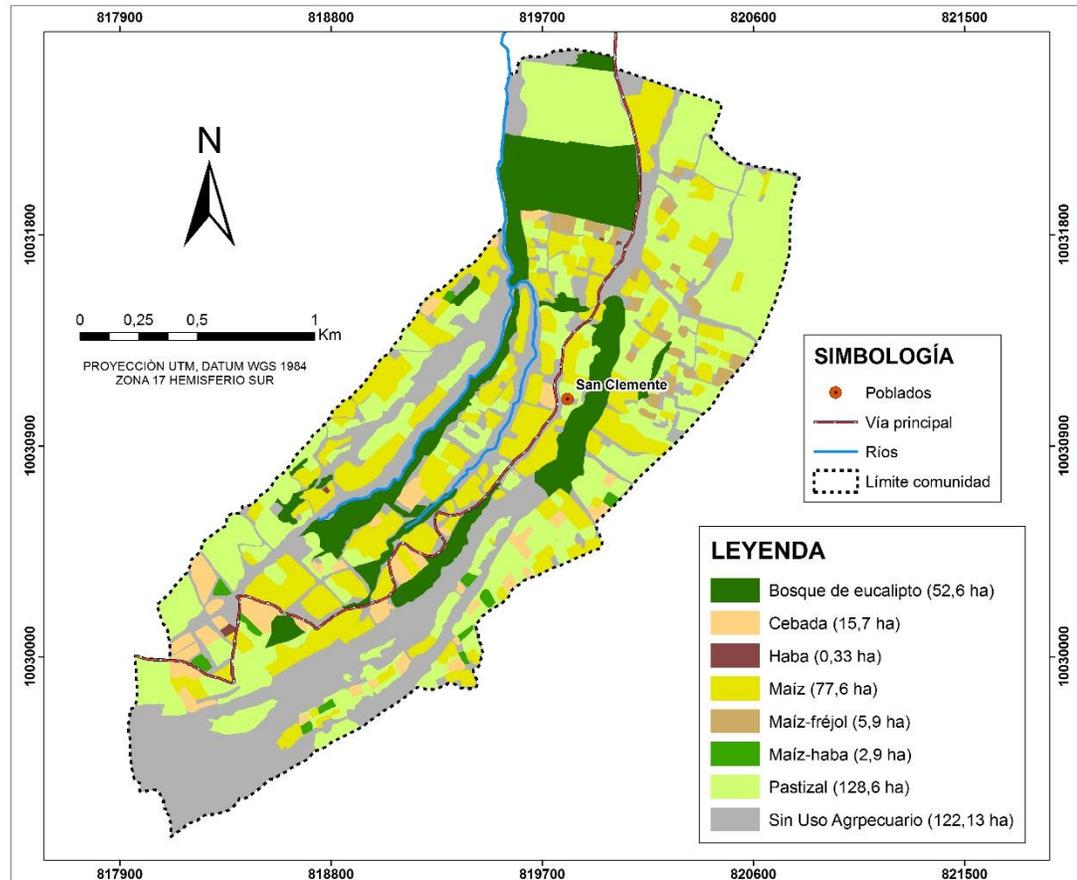
#### 4.1.1. Uso actual del suelo

La principal actividad socioeconómica de San Clemente (405,53 ha) está basada en la agricultura (Figura 5), principalmente de cereales, lo que se ve reflejado en la superficie destinada para cultivar maíz (*Zea mays*) y cebada (*Hordeum vulgare*). Incluso se deduce que se ha reducido vegetación arbustiva y boscosa para dar paso a estos cultivos.

Los pastizales dominan las amplias extensiones de terreno, ocupando un 31,75% del área total (405 ha) del área de estudio. Esto se debe a que el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es una planta que se adapta con facilidad a las condiciones climáticas y edáficas y es utilizado en la crianza de ganado bovino, una de las principales actividades de subsistencia de los comuneros. Esta vegetación ha ido reemplazando paulatinamente la vegetación boscosa, de lo cual persisten áreas mínimas considerando que la comunidad es netamente rural.

El maíz es la planta más cultivada en las parcelas, con un 21,33% de la superficie total de la comunidad, lo que corresponde a 86,4 hectáreas y se encuentra en monocultivos y asociaciones con fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y haba (*Vicia faba*). Los cultivos de haba y fréjol se encuentran ocupado solo el 2,3% del territorio; incluso el fréjol no se encuentra en monocultivos, solo asociaciones, debido a que son leguminosas destinadas solo al autoconsumo familiar, mas no al comercio. A partir de los 2800 msnm, sobresalen los cultivos de cebada, ocupando un 3,88 % de la superficie de la

comunidad, lo que corresponde a 15,7 hectáreas y en la parte media y baja no existen parcelas de este cultivo.



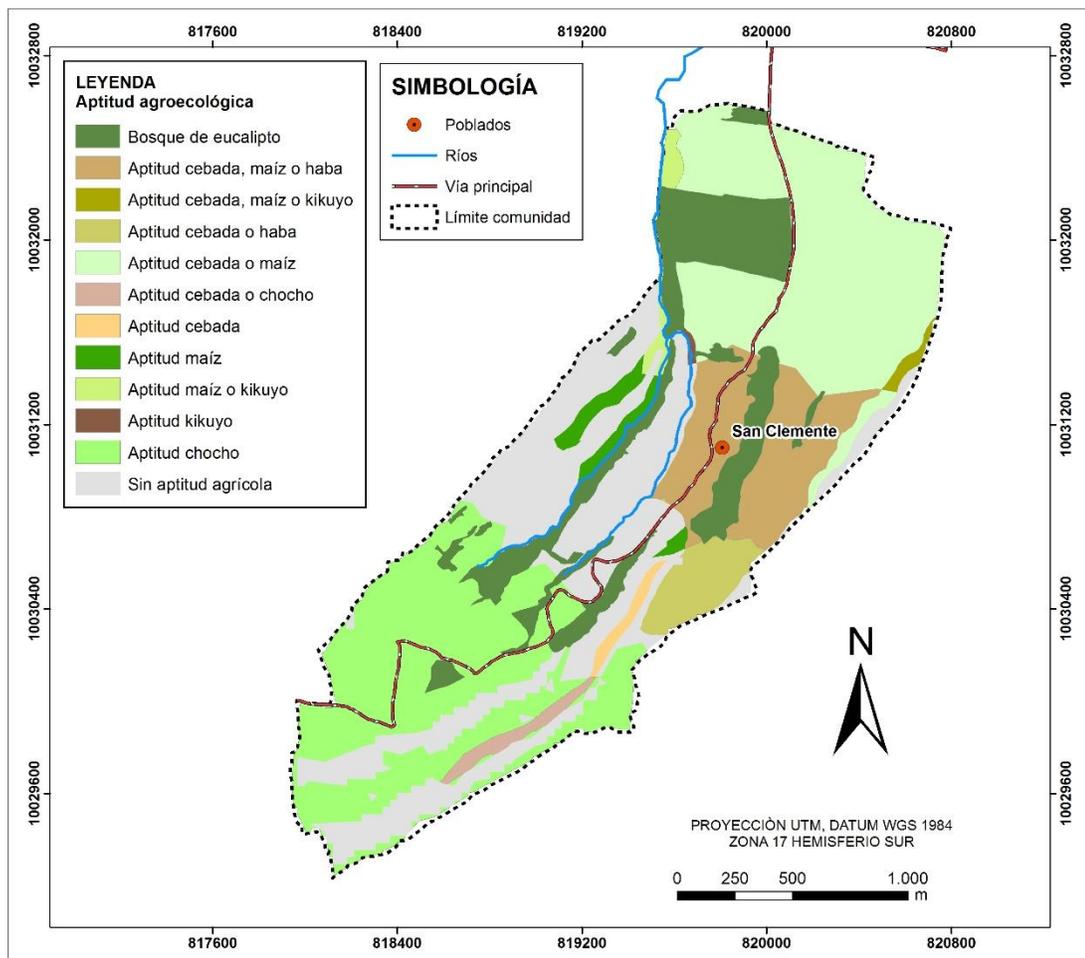
**Figura 5.** Uso actual del suelo de la comunidad San Clemente.

#### **4.1.2. Zonificación agroecológica**

San Clemente presenta una altitud que varía entre 2565 y 3200 msnm, la temperatura promedio anual varía entre 12 y 16°C y la precipitación anual varía de 943 a 980 mm. De acuerdo con la información geográfica del Instituto Espacial Ecuatoriano (2018) el territorio presenta suelos mayoritariamente francos (45%), también existen suelos franco arcillosos (31% del territorio), franco arenosos (20%) y franco arcillo-arenosos (3%). Además, el drenaje es considerado bueno, son suelos profundos (57%) y moderadamente profundos (16,5%), de toxicidad nula, aunque en pequeños sectores es

ligeramente ácida. Finalmente, el pH del suelo es mayoritariamente neutro y en ciertos sectores ligeramente ácidos.

Bajo estas características agroecológicas del territorio, los cultivos identificados con potencial agrícola fueron: chocho (*Lupinus mutabilis*), haba (*Vicia faba*), maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), pastizal kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y no existen condiciones climáticas para el frejol (*Phaseolus vulgaris*) (Figura 6).



**Figura 6.** Aptitud Agroecológica (2018) en San Clemente.

La cebada y el maíz son los cultivos con mayor aptitud en el territorio al ocupar 36,7% y 35,1 % respectivamente. El chocho y el haba presentan aptitud agroecológica de

24,1% y 12,32% respectivamente, y el kikuyo es la especie con menor aptitud al ocupar el 1,4 % de la zona.

La mayor parte de la superficie del territorio podría albergar a más de un cultivo, porque la aptitud agroecológica es compartida. Justamente, un 22,6% del territorio ubicada en el sector norte presenta aptitud para el cultivo de maíz y cebada. También existen sectores con aptitud para cebada, haba y maíz (9,5%), para cebada y haba (2,95%), y cebada y chocho (1%).

A continuación, se presenta las zonas aptas para *Lupinus mutabilis* (chocho), *Phaseolus vulgaris* (fréjol), *Vicia faba* (haba), *Zea mays* (maíz) y *Pennisetum clandestinum* (kikuyo) y una relación entre su uso y aptitud conjugados en los conflictos.

#### *Aptitud agroecológica de Lupinus mutabilis (chocho)*

El chocho es una leguminosa de alto contenido nutricional y de bajo costo de producción, originario de la zona andina de Sudamérica. Constituye uno de los granos de la región andina de gran importancia para el sector rural. Este cultivo tiene aptitud en algunas provincias del Ecuador, entre ellas, Imbabura (INIAP, 2008).

En San Clemente existe una superficie de 96,4 ha aptas para el cultivo del chocho, lo que corresponde al 24,1% de la comunidad (Figura 7). El requerimiento de precipitación promedio anual del chocho es de 500 a 1250 mm, temperatura de 8 a 14 °C y altitud de 2800 a 3500 msnm, lo que significa que los valores de los parámetros agroecológicos del territorio encajan con los requerimientos que los cultivos.

A pesar de que las características agroecológicas se prestan para su cultivo, inclusive las climáticas que son las más limitantes (Tabla 4), actualmente no existe ninguna parcela con esta especie. Incluso desde el 2002 el INIAP ha impulsado el cultivo de esta leguminosa tanto con nuevas variedades de semilla, como con las distintas alternativas de uso que tiene. En contraste con este resultado, en la zona centro y sur

del Ecuador, este cultivo abarca grandes superficies de terreno de acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2001).

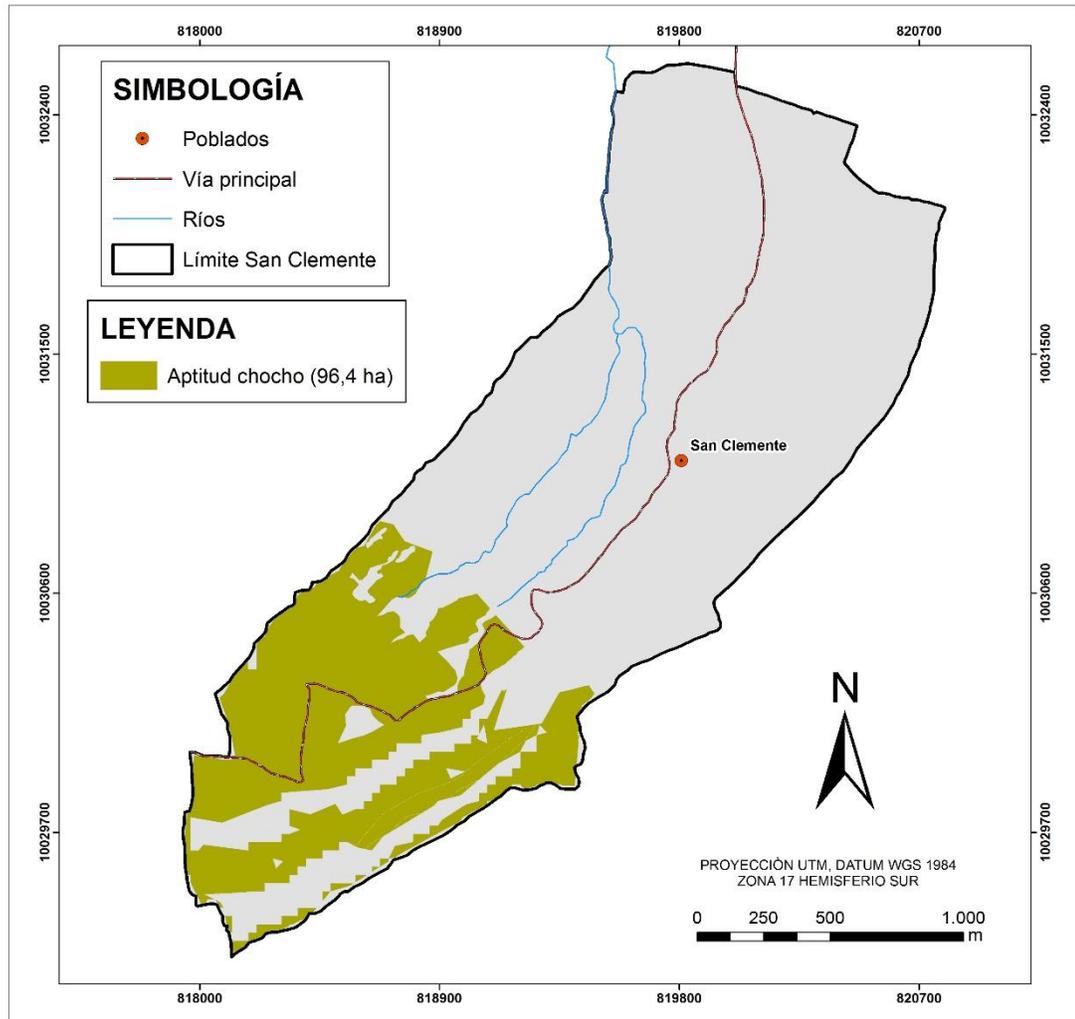
**Tabla 4.** Comparación de criterios agroecológicos de chocho.

Variables	Criterios	Requerimientos chocho	Criterios San Clemente
Climáticas	Precipitación anual (mm)	500-1250	943-980
	Temperatura media anual (°C)	8-14	12-16
	Altitud (msnm)	2800-3500	2565-3200
Edáficas	Pendiente	0-50 %	5-100%
	Textura del suelo	Franco arenoso, Franco limoso, Franco arcilloso, Franco, Limoso, Franco arcillo arenoso, Franco arcillo limoso, Arena francoso, Arcillo arenoso, Arenosa	Francos, franco arcillosos, franco arenosos y franco arcillo-arenosos
	Profundidad (cm)	20-50 50-100 >100	50-100 >100
	Drenaje	Bueno, Moderado	Bueno
	pH	5,6-6,5 6,6-7,4 7,5-8,5 4,5-5,5	5,6-6,5 6,6-7,4
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Nula
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Sin salinidad

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008); Instituto Espacial Ecuatoriano (2018).

La falta de conocimiento del valor nutricional por el contenido de proteína y ácidos grasos que posee el chocho (Chirinos, 2007), dentro de sus principales beneficios tanto para la salud humana, como para el animal y el suelo, puede ser una de las causas por la que los agricultores de la comunidad no han tomado en cuenta este grano al momento de sembrar. Considerando la aptitud y utilidad de este grano, es necesario su inclusión en registros agroecológicos para que los comuneros se planteen la siembra como un

nuevo reto y tengan otra alternativa para la rotación de cultivos, además de la diversidad de su canasta familiar.



**Figura 7.** Aptitud Agroecológica del chocho.

#### *Aptitud agroecológica de Phaseolus vulgaris (fréjol)*

El conocimiento que tienen los campesinos sobre el manejo del cultivo de fréjol es muy importante para fortalecer la canasta alimentaria del sector rural, (Garcés F., Olmedo, Garcés R. y Díaz, 2015). El requerimiento de precipitación promedio anual del fréjol es de 300 a 700 mm, temperatura de 13 a 20 °C y altitud de 1000 a 2500 msnm, lo que

significa que los valores de los parámetros agroecológicos del territorio no encajan con los requerimientos que los cultivos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Comparación de criterios agroecológicos de fréjol.

Variables	Criterios	Requerimientos fréjol	Criterios San Clemente
Climáticas	Precipitación anual (mm)	300-700	943-980
	Temperatura media anual (°C)	16-20	12-16
	Altitud (msnm)	1000-2500	2565-3200
Edáficas	Pendiente	0-50 %	5-100%
	Textura del suelo	Franco, arenoso Franco arenoso Franco limoso	Franco, franco arcillosos, franco arenosos y franco arcillo-arenosos
	Profundidad (cm)	50-100 >100	50-100 >100
	Drenaje	Bueno, Moderado	Bueno
	pH	5,6-6,5 6,6-7,4 7,5	5,6-6,5 6,6-7,4
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Nula
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Sin salinidad

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008); Instituto Espacial Ecuatoriano (2018).

Sin embargo, considerando aspectos edáficos existe aptitud. En caso de darse las condiciones climáticas favorables para esta leguminosa, sería una alternativa agroecológica viable, debido a que el fréjol tiene la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo y también es muy útil en asociación con otros cultivos. A pesar de estos antecedentes, actualmente existen parcelas de fréjol en asociación con maíz cultivadas en la comunidad, lo cual se considera como un aporte hacia la mejora de la calidad del suelo, pero se presume que el rendimiento y producción son mínimos.

#### *Aptitud agroecológica de Vicia faba (haba)*

El haba constituye un componente importante en la dieta de amplios sectores de la población rural y urbana, consumiéndose tanto en estado tierno como en seco (Confalone, 2008). El requerimiento de precipitación promedio anual del haba es de 700 a 1000

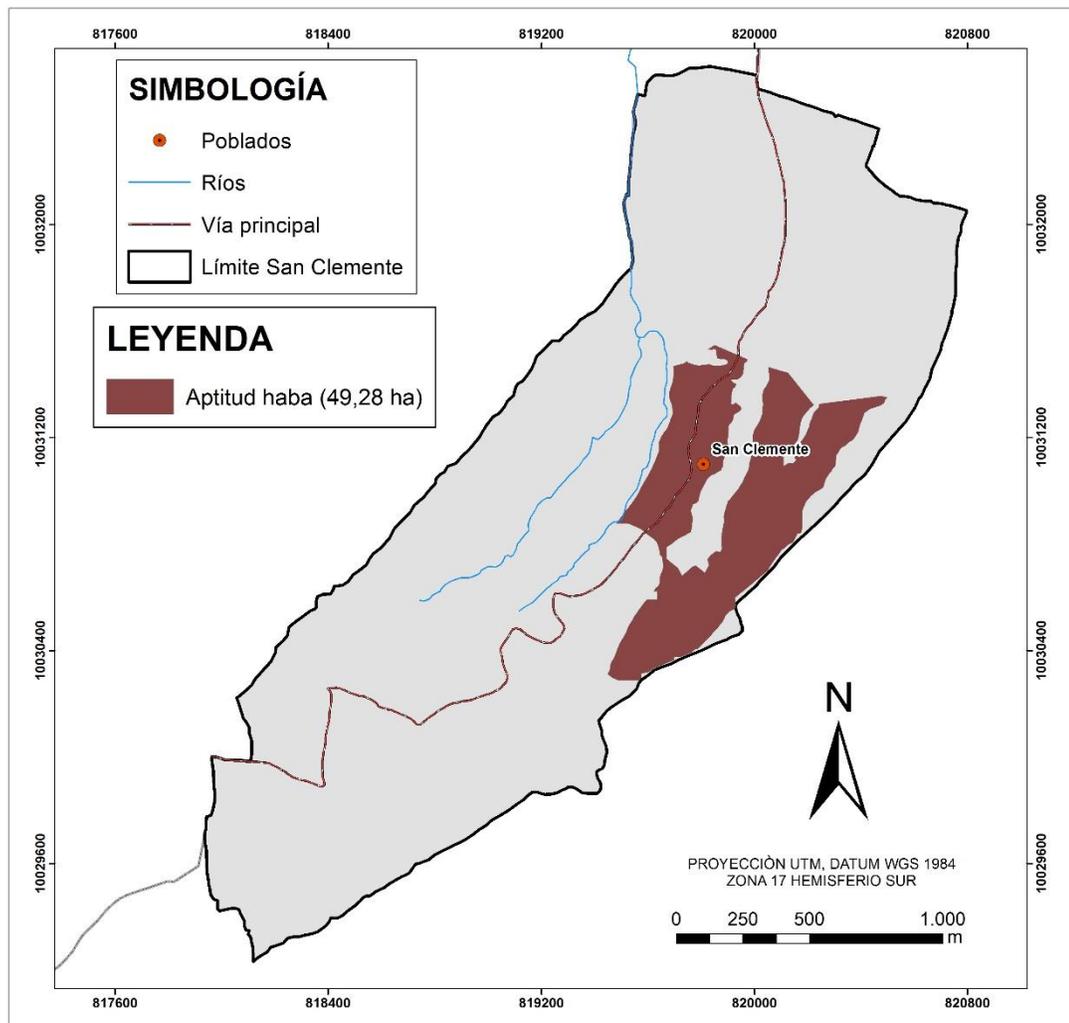
mm, temperatura de 7 a 14 °C y altitud de 2600 a 3500 msnm, lo que significa que los valores de los parámetros agroecológicos del territorio encajan con los requerimientos que los cultivos (Tabla 6). Considerando la precipitación, el haba tiene aptitud en todo el territorio, por lo que se deduce que los limitantes para la aptitud del haba son la temperatura y altitud.

**Tabla 6.** Comparación de criterios agroecológicos de haba.

<b>Variables</b>	<b>Criterios</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>San Clemente</b>
<b>Climáticas</b>	Precipitación (mm)	700-1000	943-980
	Temperatura (°C)	7-14	12-16
	Altitud (msnm)	2600-3500	2565-3200
<b>Edáficas</b>	Pendiente	0 - 50 %	5-100%
	Textura	Francos, Arcillosos. Franco arcilloso Franco arenoso	Francos, franco arcillosos, franco arenosos y franco arcillo-arenosos
	Profundidad (cm)	50-100 >100	50-100 >100
	Drenaje	Bueno, Moderado	Bueno
	pH	5,6-6,5 6,6-7,4 7,5-8,5	5,6-6,5 6,6-7,4
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Nula
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Sin salinidad

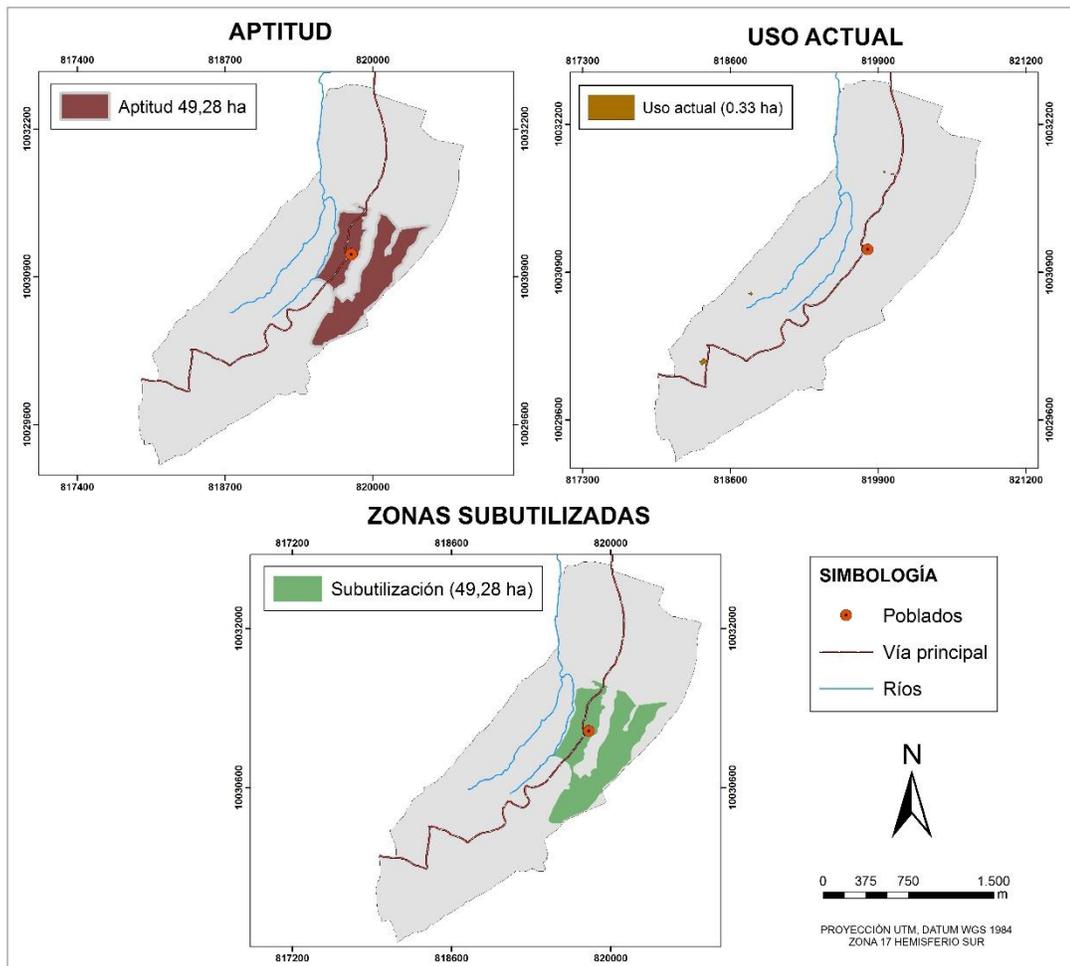
**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008); Instituto Espacial Ecuatoriano (2018).

La presencia de este cultivo desempeña un papel importante dentro de los sistemas de producción en el proceso de movimiento de la materia y energía del agroecosistema (Díaz, Herrera, Ramírez, Aliphath, y Delgado, 2008). La aptitud del haba en la comunidad corresponde a 49,28 ha, resultando en un 12,32% de la superficie de la comunidad ubicadas al sector este (Figura 8).



**Figura 8.** Aptitud Agroecológica del haba.

El uso actual del suelo de la comunidad no tiene correspondencia con la aptitud del cultivo de haba, la totalidad del área potencial se encuentra en subutilización (Figura 9), debido a que, actualmente en la comunidad este cultivo no tiene la importancia agrícola que debería y su cultivo es escaso, a pesar de que su aporte nutricional es superior al de otros granos comunes e incluso en algunos países constituye la mayor fuente de proteína en alimentación humana (Confalone, 2008).



**Figura 9.** Conflictos de uso de suelo del haba.

### *Zonas aptas para el cultivo de Zea mays (maíz)*

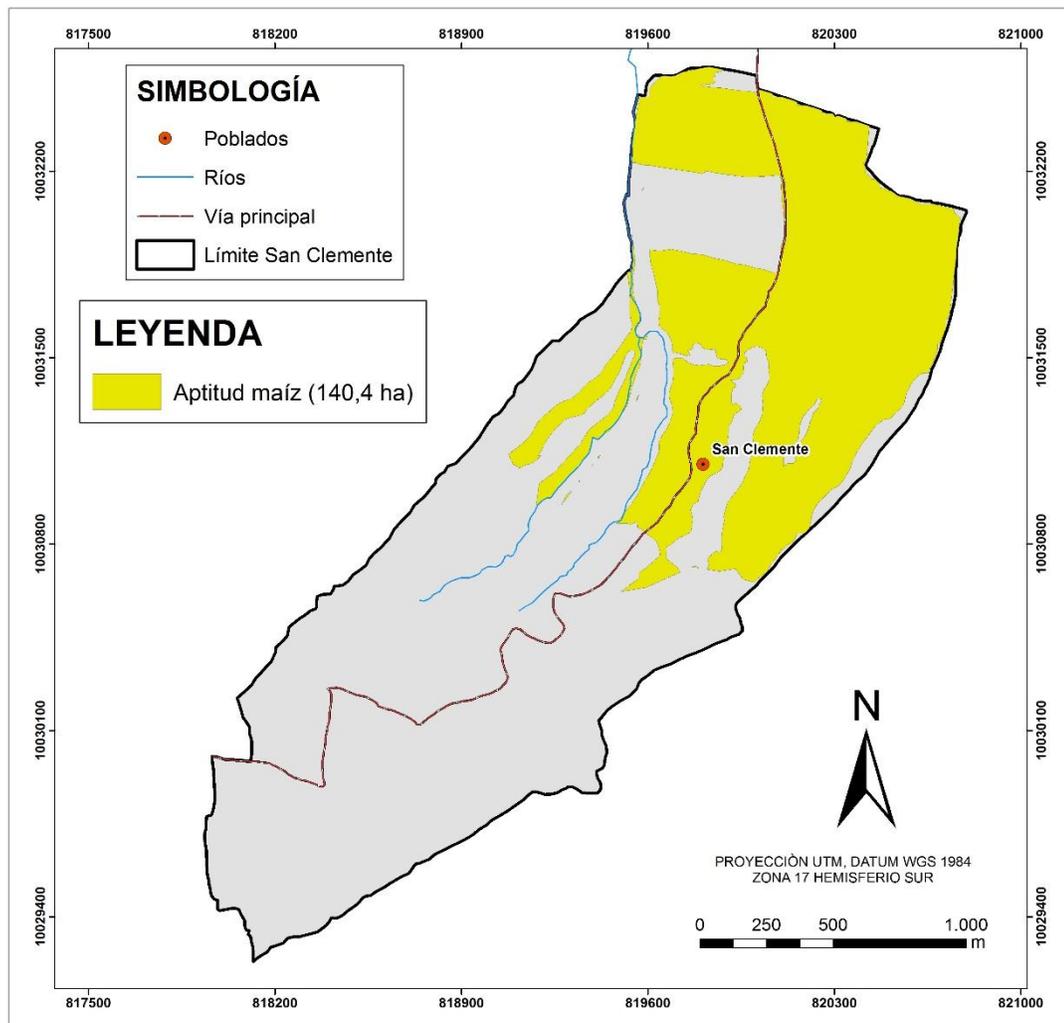
El maíz es un alimento básico a nivel mundial, el cual además de constituir un cereal de gran importancia cultural para el sector indígena, es esencial en la alimentación tanto humana como animal (Sotelo, Cruz, González y Moreno, 2016). Además, es valioso para el sector industrial, pero su producción y rendimiento están disminuyendo, por lo que es necesario la identificación y delimitación de áreas que cumplan con los requerimientos de este cultivo para ayudar a satisfacer la demanda de este grano.

La superficie apta para este cultivo es de 140,4 ha, lo que corresponde al 35,1% de la comunidad (Figura 10). El requerimiento de precipitación promedio anual del maíz es de 400 a 1300 mm, temperatura de 10 a 20 °C y altitud de 2200 a 2800 msnm, lo que significa que los valores de los parámetros agroecológicos del territorio encajan con los requerimientos que los cultivos. De acuerdo con la precipitación y temperatura el maíz tiene aptitud en toda la comunidad, por lo que se asume que el condicionante es la altitud (Tabla 7).

**Tabla 7.** Comparación de criterios agroecológicos de maíz.

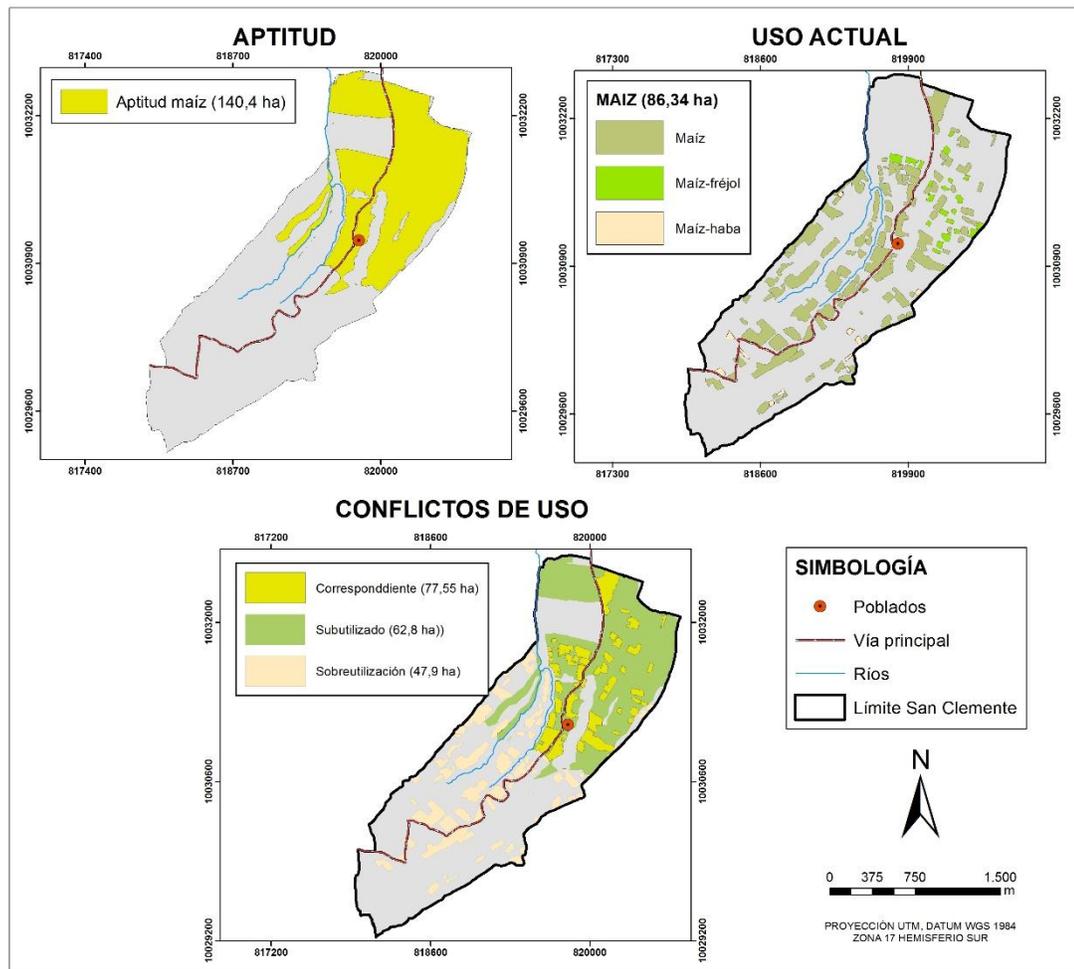
Variables	Criterios	Requerimientos maíz	Criterios San Clemente
Climáticas	Precipitación anual (mm)	400-1300	943-980
	Temperatura media anual (°C)	10-20	12-16
	Altitud (msnm)	2200-2800	2565-3200
Edáficas	Pendiente	0 - 50 %	5-100%
	Textura	Franco arcilloso, Franco limoso, Franco arcillo arenoso, Franco arcillo limoso, Arcillo limoso, Franco arcillo arenoso, Franco arenoso, Franco limoso, Franco arcilloso, Arcilloso, Arcillo arenoso	Franco arcilloso, franco limoso, franco arcillosos, franco arenosos y franco arcillo-arenosos
	Profundidad (cm)	50-100 >100	50-100 >100
	Drenaje	Bueno, Moderado	Bueno
	pH	5,6-6,5 6,6-7,4 4,5-5,5 7,5-8,5	5,6-6,5 6,6-7,4
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Nula
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Sin salinidad

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008); Instituto Espacial Ecuatoriano (2018).



**Figura 10.** Aptitud Agroecológica del maíz.

El maíz se encuentra subutilizado en la comunidad (Figura 11) en un 15,7 %, es decir, el uso potencial (140 ha) es superior al uso actual (86 ha). Solo el 19 % de la superficie del área de estudio tiene correspondencia tanto con el uso actual, como el uso potencial, incluso se encuentra en asociación con otros cultivos como ya se ha mencionado anteriormente. Existe sobreutilización de un 12%, es decir, se cultiva maíz en áreas no aptas y en donde otros cultivos podrían tener mejores rendimientos.



**Figura 11.** Conflictos de uso de suelo del maíz.

Estos conflictos se deben al desconocimiento de los comuneros sobre el potencial de sus chacras, coincidiendo con resultados de investigaciones en México (Sotelo, Cruz, González y Moreno, 2016) y Ecuador (Valverde, 2013). Sin embargo, el manejo de las parcelas de maíz al presentarse en asociaciones con otros cultivos se considera la adecuada para la conservación del recurso edáfico. Por lo tanto, se recomienda cultivar maíz en zonas donde hay pastizales y continuar con las asociaciones vegetales y rotaciones, que promueven la regeneración edáfica para lograr a la sustentabilidad agrícola.

Entre los estudios para identificar la adaptabilidad del maíz está el de Sotelo, Cruz, González y Moreno (2016), realizado en México, debido a que se vive una crisis alimentaria derivada de la aplicación de tecnologías inadecuadas y de la inadecuada selección de sitios potenciales para el cultivo. Mediante la metodología de multicriterio se determinó que las variables condicionantes en la definición de la adaptación del maíz son la temperatura, altura, precipitación y tipos de suelos (Sotelo *et al.*, 2016).

*Zonas aptas para el cultivo de Hordeum vulgare (cebada)*

Las zonas agroecológicamente aptas para el cultivo de la cebada se encuentran en áreas donde la temperatura fluctúa entre los 12 a 16 ° C; con suelos franco-arenosos, pH de 5,5 a 7,5 y pendientes de 0 a 50% (INIAP, 2008). El requerimiento de precipitación promedio anual de la cebada es de 500 a 1000 mm, temperatura de 8 a 18 °C y altitud de 200 a 3400 msnm, lo que significa que los valores de los parámetros agroecológicos del territorio encajan con los requerimientos que los cultivos (Tabla 8).

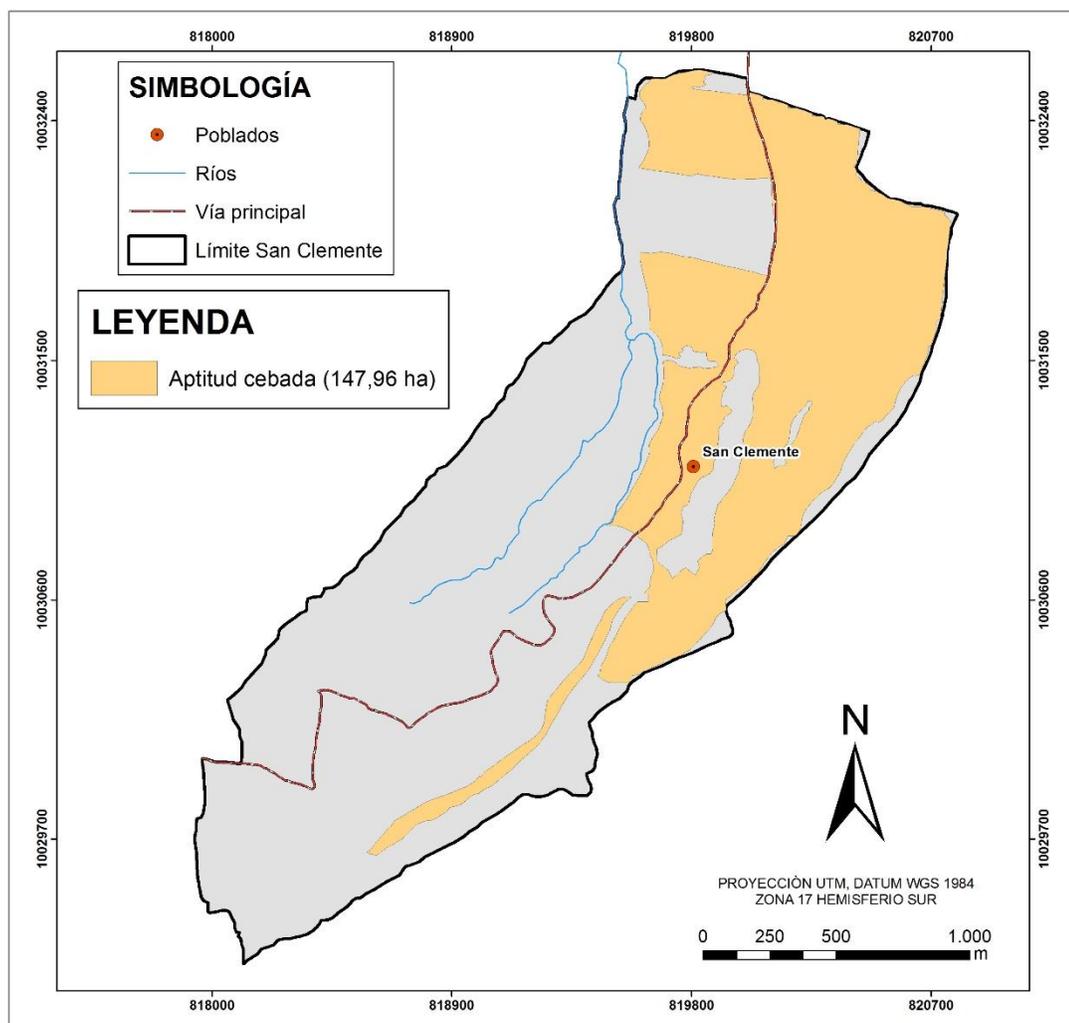
**Tabla 8.** Comparación de criterios agroecológicos de cebada.

Variabes	Criterios	Requerimientos	San Clemente
Climáticas	Precipitación anual (mm)	500-1000	943-980
	Temperatura media anual (°C)	8-18	12-16
	Altitud (msnm)	200-3400	2565-3200
Edáficas	Pendiente	0 - 50 %	5-100%
	Textura	Franco, franco arenoso, Franco Arcilloso, Franco arcillo-arenoso.	Franco, franco arcillosos, franco arenosos y franco arcillo-arenosos
	Profundidad (cm)	50-100 >100	50-100 >100
	Drenaje	Bueno, Moderado	Bueno
	pH	5,6-6,5 6,6-7,4	5,6-6,5 6,6-7,4
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Nula
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Sin salinidad

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008); Instituto Espacial Ecuatoriano (2018).

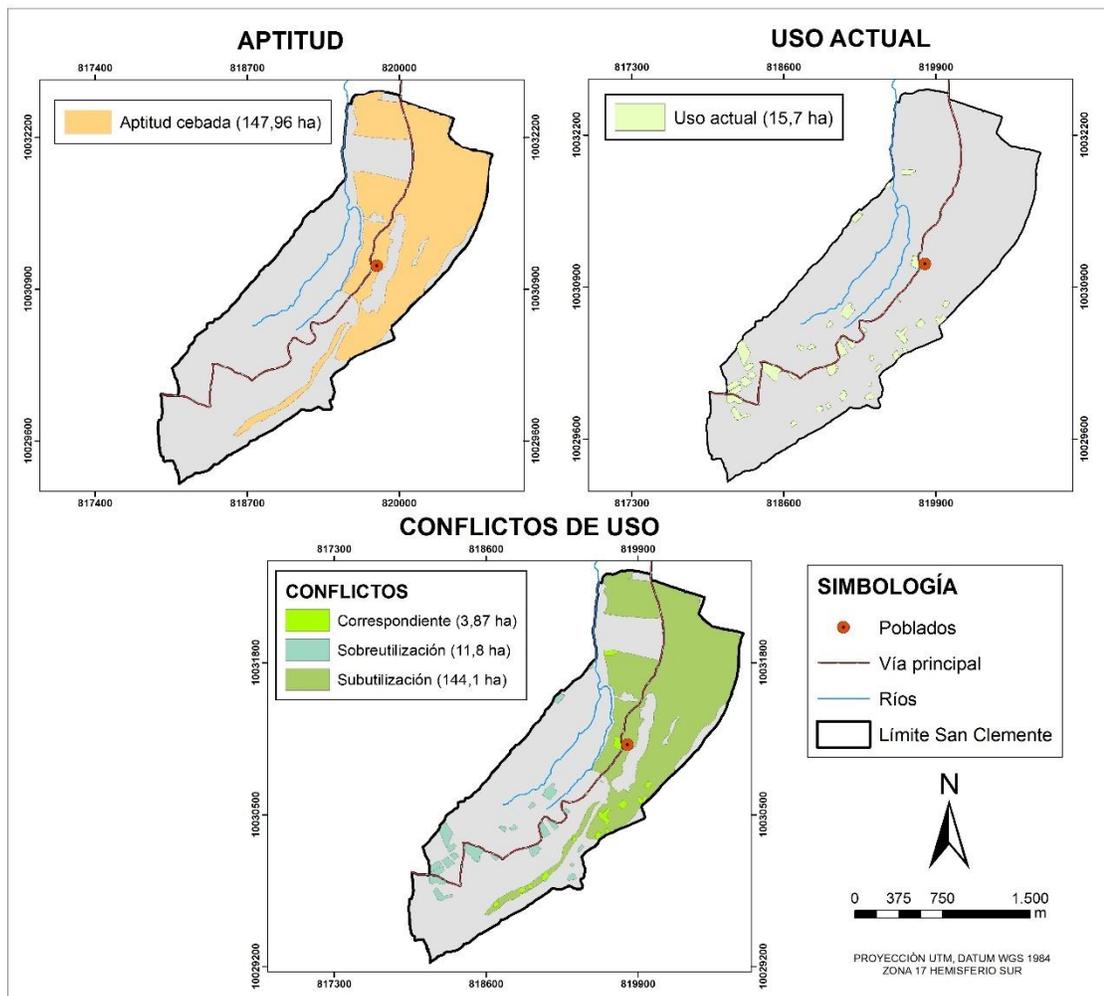
Al igual que el maíz, de acuerdo con la precipitación y temperatura la cebada tiene aptitud en toda la comunidad, incluso, Calderón, Monterroso y Gómez (2015) han demostrado que este cultivo se adapta a rangos de precipitación menores, por lo que se asume que el condicionante es la altitud.

La aptitud de este cultivo representa el 36,75% del territorio de la comunidad (147,96 ha), lo que indica que es el cultivo más abundante, muy seguido del maíz, demostrando que San Clemente tiene gran aptitud para cereales andinos. La cebada tiene potencialidad en la zona Noreste del territorio por lo que se recomienda realizar rotaciones con los cultivos de maíz que predominan actualmente.



**Figura 12.** Aptitud Agroecológica de la cebada.

La cebada tiene un 43% de subutilización en la comunidad (Figura 13), es decir, en las zonas aptas no se cultiva este cereal. Solo el 1% de la comunidad tiene correspondencia en el cultivo y aptitud de la cebada. Un 3% corresponde a superficies no aptas, pero sí cultivadas. Este cultivo tiene gran aporte nutricional, por lo que es importante la reactivación de la siembra de cebada en la comunidad y su potencial contribuye para que la producción y el rendimiento sean viables; además se puede incentivar su cultivo no solo para la subsistencia, si no para fortalecer los ingresos económicos de los campesinos.



**Figura 13.** Conflictos de uso de suelo de la cebada.

*Zonas aptas para Pennisetum clandestinum (kikuyo)*

El kikuyo soporta cargas animales altas de ganado y tiene la capacidad para prevenir la erosión del suelo, sin embargo es considerada invasora. El requerimiento de precipitación promedio anual de este cultivo es de 800 a 3000 mm, temperatura de 16 a 2 °C y altitud de 2000 a 3500 msnm, lo que significa que los valores de los parámetros agroecológicos del territorio encajan con los requerimientos que los cultivos. Al considerar solo la precipitación, el kikuyo es apto en todo el territorio, por lo que se deduce que los condicionantes son la temperatura y altitud (Tabla 9).

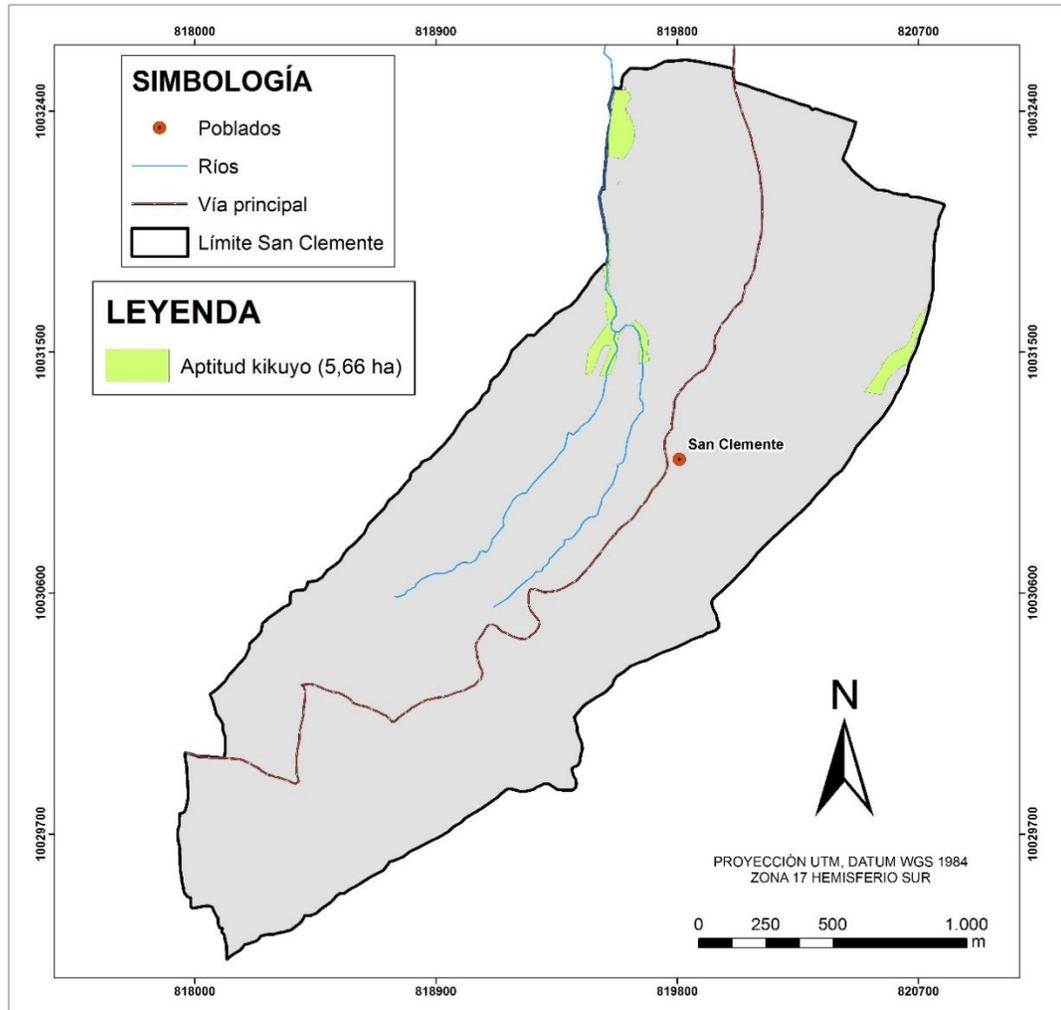
**Tabla 9.** Comparación de criterios agroecológicos de kikuyo.

Variables	Criterios	Requerimientos	San Clemente
Climáticas	Precipitación anual (mm)	800-3000	943-980
	Temperatura media anual (°C)	16-22	12-16
	Altitud (msnm)	2000-3500	2565-3200
Edáficas	Pendiente	0 - 50 %	5-100%
	Textura	Franco arenoso, franco arcillo-arenoso, arcillosos, franco arcilloso, franco limoso	Francos, franco arcillosos, franco arenosos y franco arcillo-arenosos
	Profundidad (cm)	20-50 50-100 >100	50-100 >100
	Drenaje	Bueno, Moderado	Bueno
	pH	4,5-5,5 5,6-6,5 6,6-7,4 7,5-8,5	5,6-6,5 6,6-7,4
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Nula
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Sin salinidad

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008); Instituto Espacial Ecuatoriano (2018).

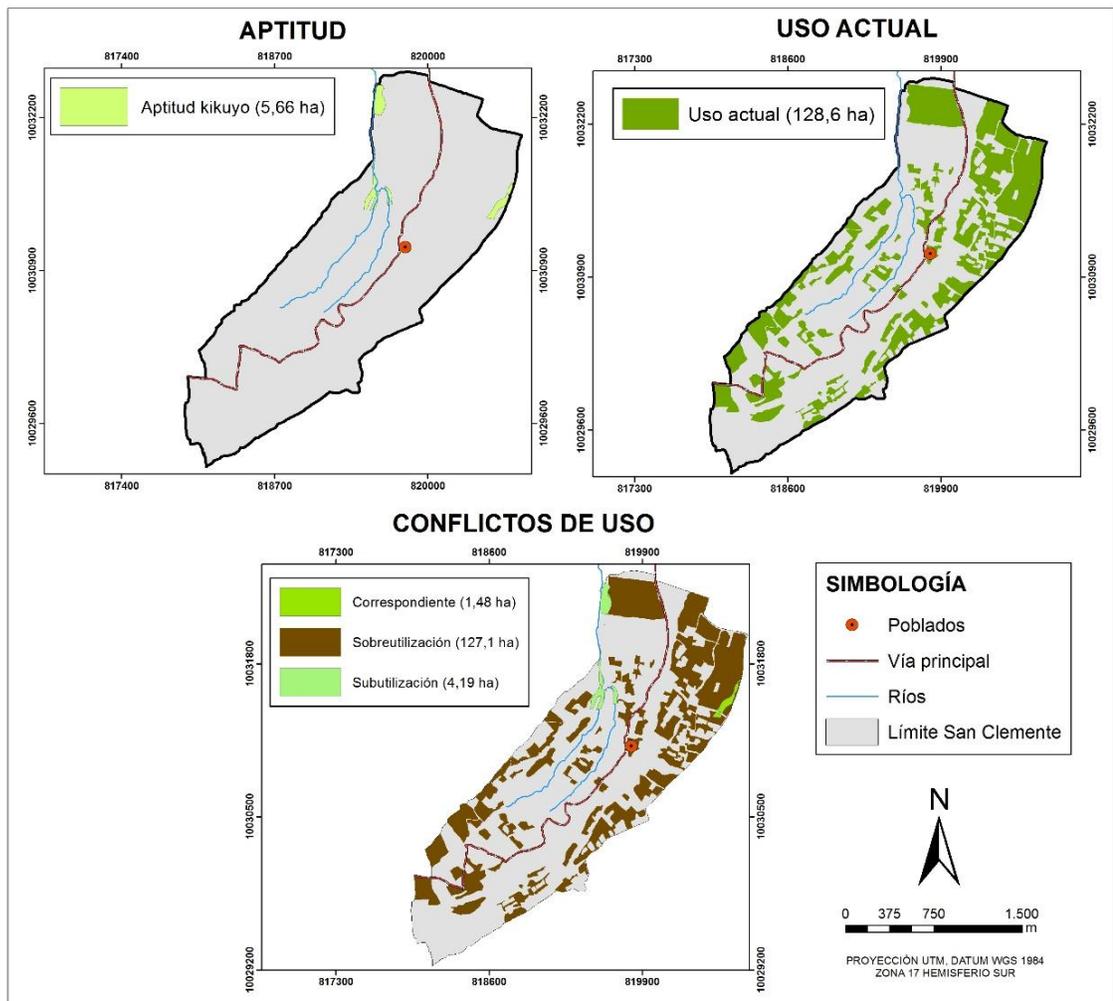
La aptitud resultante es insignificante (Figura 14), correspondiendo tan solo a 1,4% de la superficie total (5,66 ha) de la comunidad que se distribuyen a manera de 2 franjas en los límites de la comunidad. Considerando las áreas donde la producción es óptima, en San Clemente se dificulta la crianza de ganado, debido a que se toma esta planta como principal fuente de alimentación animal.

Los hallazgos de esta investigación muestran que la aptitud de este cultivo tiene correspondencia con su uso actual solo 0,4 %. Además, se encuentra en sobreutilización (Figura 15) en un 31,8%, debido a que su aptitud es inferior al uso actual.



**Figura 14.** Aptitud Agroecológica de kikuyo.

En contraste con estos resultados, en el pasado ya se ha demostrado que el kikuyo tiene gran potencialidad para prevenir la erosión (Müller y Restrepo, 1999), incluso en pendientes fuertes y se adapta a cambios bruscos de temperatura. Por lo cual, no se considera como un problema grave, más bien se sugiere ajustar a técnicas de conservación de suelos por su capacidad de contrarrestar la erosión, factor que varía con el paso del tiempo y no se ha tomado en cuenta en el estudio.



**Figura 15.** Conflictos de uso de suelo del kikuyo.

A pesar de que en la investigación se comprueba la falta de conocimientos de la comunidad sobre las características agroecológicas de sus chacras y requerimientos de

sus cultivos, G. Guatemal (comunicación personal, 26 de septiembre del 2018) explica que para determinar los cultivos a sembrar consideran la humedad, rotación de cultivos anual con productos como: papa, cebolla, quinua, mismos que no se evidenciaron durante el desarrollo del estudio. En el lugar existe una inadecuada distribución del suelo desencadenando una inestabilidad económica en este medio de subsistencia rural por la insuficiencia de cosechas.

#### **4.2. Posible escenario de cambio climático en la comunidad San Clemente**

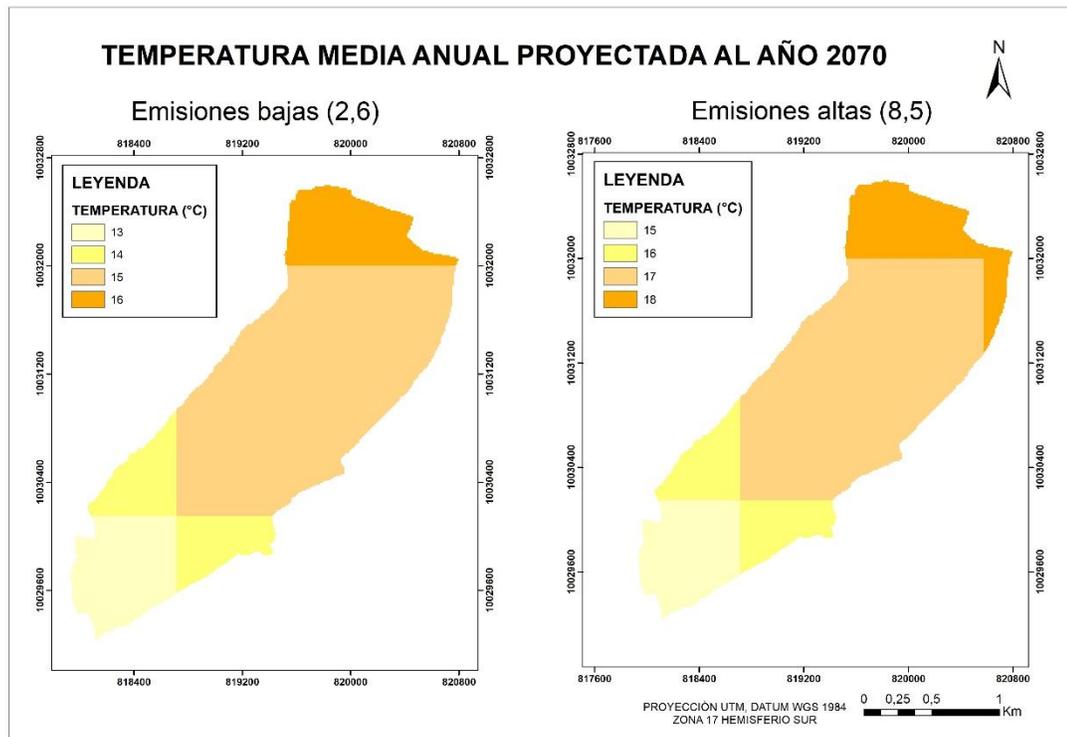
El relieve de la región andina contribuye a la existencia de diferentes microclimas locales, que modelan el clima, proyectándolo aún más complejo. Sin embargo, varios estudios han apuntado consistentemente que a largo plazo la temperatura superficial aumentaría en los Andes tropicales región (Ecuador, Bolivia y Perú) de alrededor de 0,11°C por década en el período de 1950 a 1998. Las percepciones de las poblaciones locales en Imbabura es que la temperatura ha aumentado. Esto ha inducido cambios en los rangos de ciertos cultivos. Tradicionalmente, las comunidades utilizaban para plantar papas u otros cultivos más resistentes al frío en áreas más altas (más de 2,800 msnm), mientras se cultivaban diferentes variedades de maíz en áreas más bajas. Hoy en día, el maíz es cada vez plantado en áreas más altas, y otros cultivos también han ido escalando gradualmente hacia áreas donde solía haber solo pastos naturales. Los cambios en la temperatura tendrán efectos directos en la productividad de los cultivos y los patrones de distribución de estas y de especies transmisoras de enfermedades tropicales que en las nuevas condiciones pueden incrementar su distribución altitudinal (Bustamante, 2017).

En la comunidad San Clemente, para el año 2070 en un escenario de emisiones bajas (RCP 2,6), la temperatura se incrementaría entre 0,5 a 1 ° C, y para un escenario de emisiones altas (RCP 8,5) se incrementaría alrededor de 2°C (Tabla 10). Este aumento de la temperatura se encontraría dentro del aumento previsto para Sudamérica, de entre 1,1°C a 6,7°C hasta el año 2100 (Magrin *et al.*, 2014); y a la vez es muy similar a los 2,6°C pronosticado por Alves (citado por Hidalgo, *et al.*, 2015, pág. 147) para la provincia Imbabura. Este probable calentamiento coincidiría con resultados de

investigaciones realizados las provincias de Chimborazo (Bustamente, 2017) y principalmente en Tungurahua donde se pronosticó para el 2070 un aumento entre 1,82°C y 2,53°C (Geoinformática y Sistemas Cia. Ltda, 2015).

**Tabla 10.** Predicción de temperatura en San Clemente para el año 2070.

Temperatura media anual Actual (°C)	Temperatura media anual (°C) (RCP 2.6)	Temperatura media anual (°C) (RCP 8.5)
12-15,5	13-16	15-18



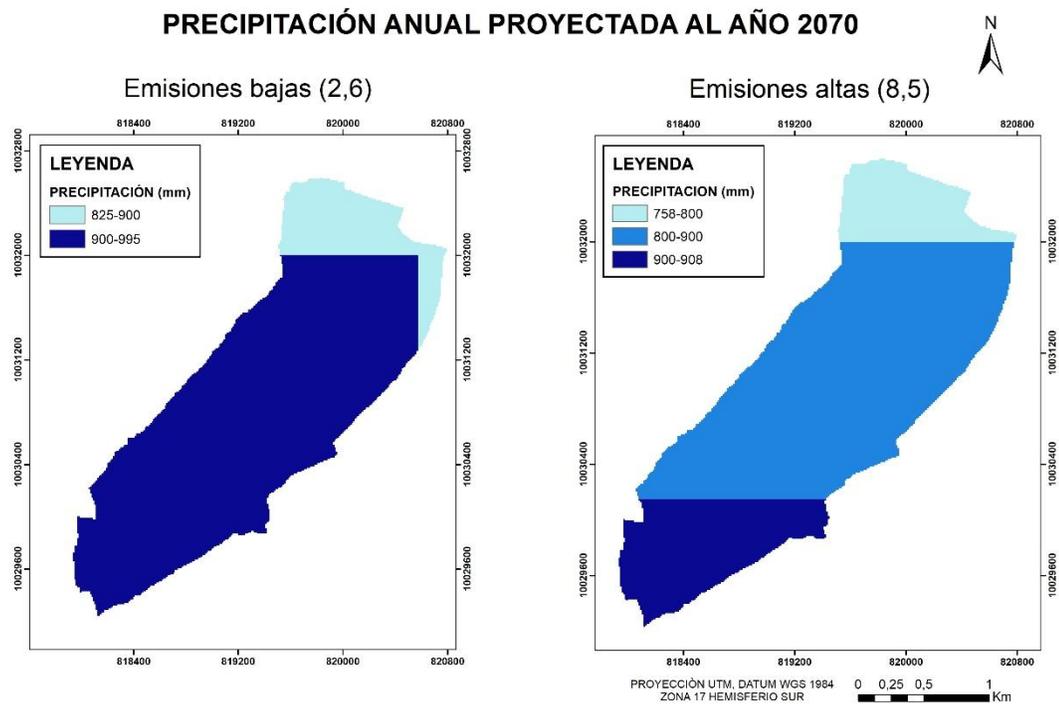
**Figura 16.** Temperatura proyectada para el año 2070 en San Clemente.

La precipitación es una variable de vital importancia para las evaluaciones hidrometeorológicas y la productividad de los cultivos (Kumar *et al.*, 2004). Por lo que, incluso los pequeños cambios en las precipitaciones pueden afectar la productividad (Lobell y Burke, 2008) y tener un efecto adverso sobre la comunidad, ya que esto significará mayores tasas de evapotranspiración en los cultivos de secano.

A diferencia de la tendencia observada en la temperatura, la precipitación presenta valores más cambiantes en los escenarios futuros. Los resultados muestran que para el año 2070 existirá una disminución de la precipitación en alrededor del 5 % para un escenario RCP 2.6 y de alrededor del 13% para un escenario RCCP 8.5 (Tabla 11).

**Tabla 11.** Predicción de precipitación anual en San Clemente para el año 2070.

Precipitación anual (mm) Actual	Precipitación anual (mm) (RCP 2.6)	Precipitación anual (mm) (RCP 8.5)
943-980	825-995	758-908



**Figura 17.** Precipitación proyectada para el año 2070 en San Clemente.

Estos resultados se asemejan a lo pronosticado en Tungurahua donde se espera una reducción de 7% (Geoinformática y Sistemas Cia. Ltda, 2015). Sin embargo, la reducción sería mínima respecto a la reducción esperada en la provincia Imbabura, de

acuerdo con Alves (citado por Hidalgo, *et al.*, 2015, pág. 147), quien señala que reducción en la precipitación sería de alrededor 30,5%.

### **4.3. Consecuencias potenciales de un escenario de cambio climático en las condiciones agroecológicas de los cultivos**

Para determinar las consecuencias del cambio climático se analizó el escenario HadGEM2-ES en dos rangos de emisión de gases de efecto invernadero: 2,6 y 8,5, en cada uno de los cuales se realizó otra clasificación de características agroecológicas determinando el potencial de los cultivos para el año 2070.

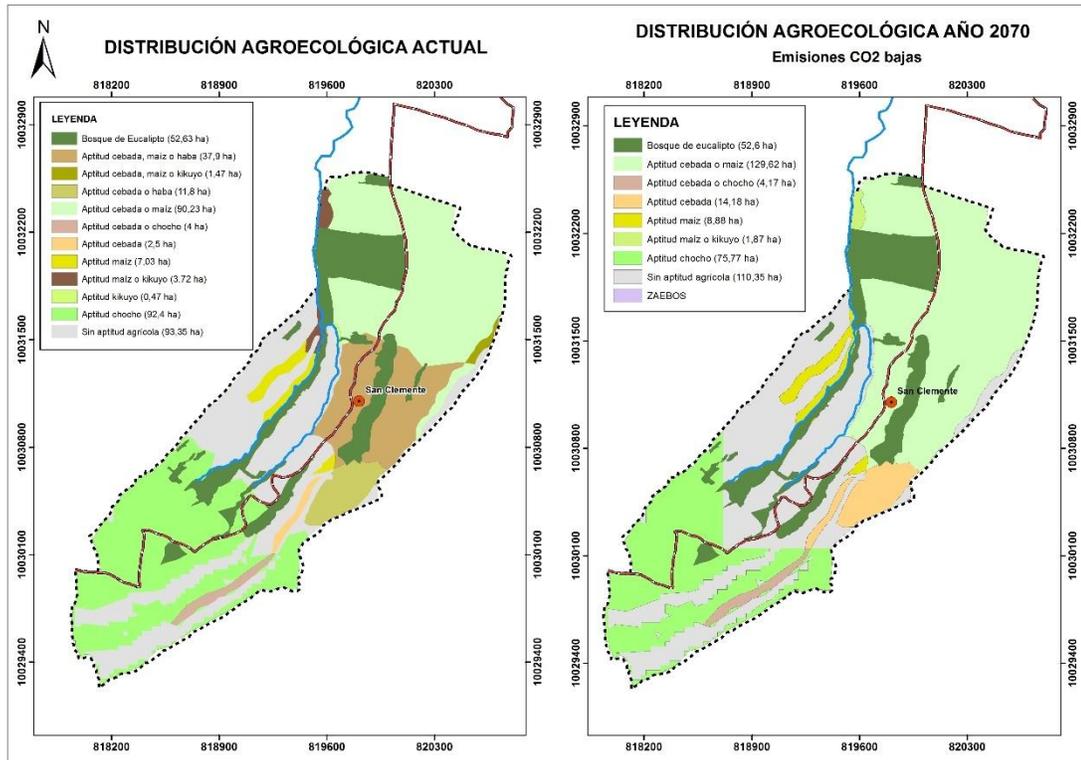
#### ***4.3.1 Escenario de cambio climático RCP 2,6***

En el año 2070, al existir un cambio en variables climáticas (precipitación y temperatura), San Clemente tendrá superficies aptas para cuatro especies, tres de los cuales corresponden a cultivos andinos y el último a un tipo de pasto naturalizado: cebada, chocho, maíz y kikuyo. Su distribución es amplia y comprenden desde 2,84 ha del kikuyo hasta 178,58 ha de cebada (Figura 18).

En este rango de emisión el fréjol tampoco tiene aptitud, al igual que en la distribución actual, debido a las condiciones climáticas. El haba no tiene aptitud en 2,6 RCP, debido a que en donde existen condiciones térmicas aptas, no hay las condiciones de precipitación y viceversa por lo que la ausencia de áreas en donde se posibilite este cultivo se hace visible. El kikuyo reduce su aptitud a 1,87 ha, al igual que el chocho en a 79,94 ha con relación al potencial agroecológico actual.

El maíz es el cereal más utilizado para la alimentación en el planeta y, por tanto, de los más estudiados. San Clemente cuenta con una alta aptitud para producción de cereales como es el maíz y cebada, que, a pesar de los cambios de las condiciones ambientales, la aptitud sigue siendo la misma por lo que se presume que para el 2070 los cultivos andinos seguirán predominando en la canasta familiar de la comunidad. El incremento de la temperatura es uno de los principales factores que influirán en el rendimiento del

maíz a futuro; afectando su fisiología, acelerando las etapas de desarrollo del cultivo, reduciendo su ciclo fenológico y, por tanto, su rendimiento (Ahumada, Velázquez, Flores y Romero, 2014).



**Figura 18.** Distribución Agroecológica (año 2070) en San Clemente con escenario de emisiones bajas.

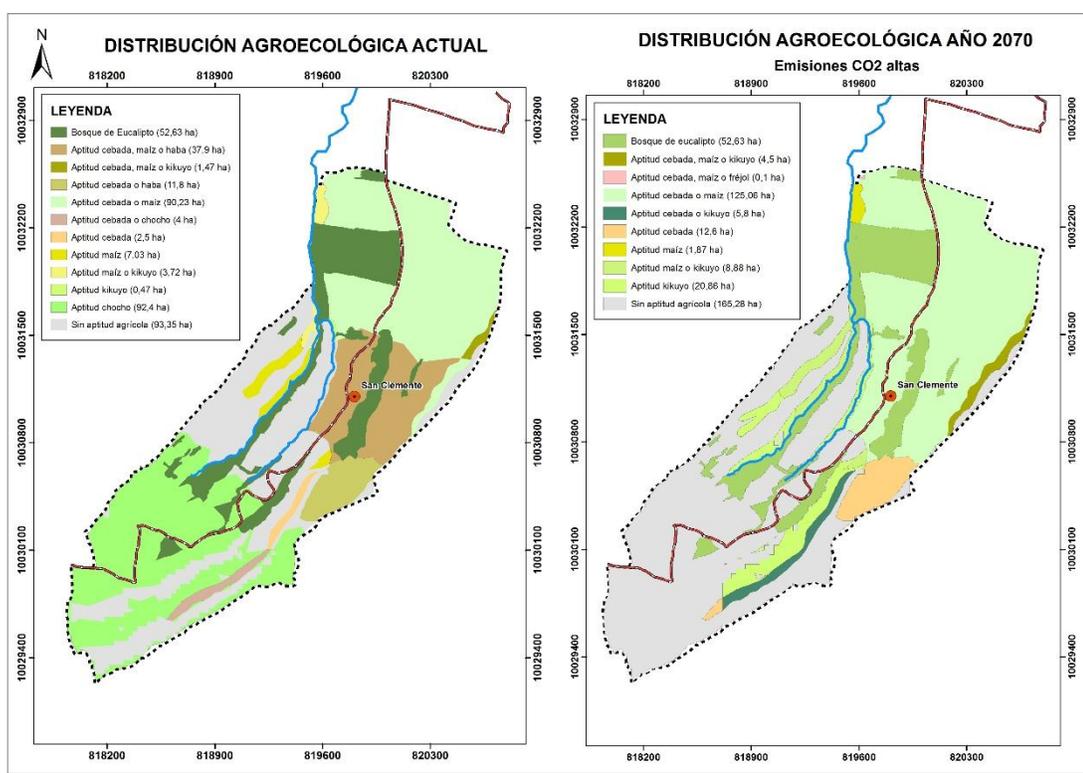
Ruiz et al. (2011) reportan reducción de la superficie con condiciones agroclimáticas óptimas para la producción de maíz en las zonas de trópico, subtropical y transicional y un incremento de esta superficie en valles altos y valles muy altos, según sus proyecciones para los periodos 2011-2020, 2031-2040 y 2051-2060.

El clima juega un papel esencial en la aptitud agroecológica de cultivos y se apuesta a una redistribución para fortalecer la soberanía alimentaria y combatir el cambio climático predicho. Incluso algunos de los cultivos ocupan las mismas áreas de aptitud, con lo que se incentiva la rotación y asociaciones de cultivos para aprovechar

eficientemente el recurso suelo, así como se sugiere en otros estudios (Senra, Soto y Guevara, 2010).

#### 4.3.2 Escenario de cambio climático RCP 8,5

En el escenario de emisión 8,5, San Clemente tendrá superficies aptas para 4 cultivos: cebada, maíz, fréjol y kikuyo (Figura 19). La cebada y el maíz tienen la misma aptitud potencial tanto en la actualidad como en el año 2070.



**Figura 19.** Distribución Agroecológica (año 2070) en San Clemente con escenario de emisiones altas.

En la comunidad no existirán zonas aptas para el chocho debido a que los cambios de temperatura afectarán su distribución. La aptitud del fréjol es mínima (0,1ha), sin embargo, tiene potencialidad al contrario de lo que se visualiza en el modelo de emisiones de CO<sub>2</sub> bajas a diferencia de una investigación en México donde se predice que la superficie de alto potencial de fréjol disminuye conforme se avanza hacia el futuro en los años (Medina-García et al., 2016). El kikuyo tiene la mayor potencialidad

en comparación al modelo agroecológico potencial actual y el de RCP 2,5, sin embargo, no supera el uso actual; por ello se considera que para el año 2070 los agricultores tendrán rendimientos más altos que los actuales.

En el sector agrícola, el aumento de temperatura y el cambio en los regímenes pluviales tienen efectos directos sobre el rendimiento de los cultivos, favorecido por las técnicas e intensificación de cultivos durante años, lo que favorece la generación de condiciones propicias para el desarrollo de plagas y enfermedades. Estos factores influyen directamente en la dinámica de poblaciones, tasa de reproducción y sobrevivencia.

Algunos estudios han demostrado, que bajo condiciones de sequía las plagas favorecidas son aquellas denominadas invasoras (Hamada, 2011). Se ha confirmado que insectos pertenecientes al orden Hemiptera y Thysanoptera, tales como los chinches y trips, son los más beneficiados bajo estas condiciones, puesto que el aumento en la temperatura favorece la tasa reproductiva de estos insectos (Vásquez, 2011).

De acuerdo con estudios sobre el efecto del cambio climático en las plagas, se determina que, para el caso de las afidos o pulgones, los cuales incluso en condiciones normales llegan a tener cantidades elevadas de crías y un incremento en la temperatura de 2°C, causa un incremento de 1 a 5 ciclos de vida por temporada; exposiciones elevadas de CO<sub>2</sub> incrementan la presencia de la plaga gusano de la raíz de maíz *Diabrotica virgifera* (Karuppaiah y Sujayanad, 2012).

Por otro lado, al contrario del efecto en las plagas, los incrementos de temperatura pueden afectar negativamente a los insectos benéficos reduciendo su población. Sin embargo, según J. Prado (comunicación personal, 27 de septiembre del 2018) explica que los cultivos en la actualidad se ven más afectados por plagas con relación al pasado, no por influencia del cambio climático, sino más bien por los cambios de manejo de cultivo, implementación de monocultivos y el alto uso de pesticidas ha ocasionado la eliminación de enemigos naturales que reducen el control de plagas.

## CAPÍTULO IV

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

En la actualidad, la comunidad San Clemente presenta zonas agroecológicas aptas para cultivos de haba (*Vicia faba*), chocho (*Lupinus mutabilis*), maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*) y kikuyo (*Pennisetum Clandestinum*), siendo el de mayor aptitud la cebada, seguida del maíz. Además, existen cultivos que comparten espacios por aptitud agroecológica, por ejemplo, la cebada y el maíz, debido a que presentan aptitud agroecológica en espacios similares, sin embargo, el actual uso de suelo denota que el maíz y la cebada no están siendo cultivados en todos los espacios con este potencial. Por el contrario, el fréjol (*Phaseolus vulgaris*), mismo que no tiene aptitud agroecológica en la comunidad, se encuentra cultivado en asociaciones con el maíz y el kikuyo está siendo sobre utilizado en el territorio. Con estos antecedentes, se asume que los comuneros no consideran los requerimientos agroecológicos por la falta de conocimientos sobre la aptitud de cada chacra.

Del estudio se determina que habrá un cambio climático debido a que para el año 2070, en un escenario de emisiones bajas (2,6 RCP) la temperatura se incrementaría entre 0,5 a 1 ° C, y existiría una reducción de precipitación en alrededor del 5 %. Mientras que, para un escenario de emisiones altas (RCP 8,5) la temperatura se incrementaría alrededor de 2°C y una reducción de precipitación de alrededor del 13%.

Bajo estas condiciones, en ambos escenarios se mantendría la aptitud agroecológica para el maíz y la cebada, pero desaparece la aptitud para el haba. En el escenario RCP 2,6 se reducirían las zonas aptas para el kikuyo y chocho y no presentaría zonas aptas para cultivar frejol. Mientras que, para el escenario 8,5 el chocho dejaría de presentar aptitud agroecológica, el frejol presentaría aptitud en menos de 1% del territorio (0,1

ha) y el kikuyo experimentaría un aumento en su aptitud. Estos resultados muestran que las condiciones climáticas provocan fluctuaciones importantes en la distribución agrícola potencial.

La hipótesis alternativa es aceptada, por lo que se reafirma que el cambio climático afectará los requerimientos agroecológicos de los cultivos en la comunidad San Clemente.

## **6.2 Recomendaciones**

Socializar los resultados con la comunidad del área de estudio y los responsables de la actualización de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOTs) del GAD parroquial y cantonal para trabajar en pro de la reducción de los efectos de cambio climático.

Incorporar el cambio climático como un eje transversal en la gestión y el ordenamiento del territorio a nivel provincial para visualizar su importancia hacia el futuro del manejo de los recursos naturales volviéndose necesario implementar políticas que ayuden a fortalecer los procesos del uso eficiente del suelo, para evitar que los agricultores tengan altas pérdidas por sembrar por no considerar la aptitud agroecológica.

Ampliar el estudio con más variables tanto edáficas como climáticas, e incluso relacionar con aspectos socioeconómicos, para expandir y precisar los escenarios de cambio climático.

Evaluar resultados en años anteriores al 2070 para visualizar los impactos del cambio climático a corto, mediano y largo plazo.

Replicar el estudio en otras comunidades y parroquias para anticipar medidas de adaptación.

## REFERENCIAS

- Ahumada, R., Velázquez, G., Flores, E. y Romero, J. (2014). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 22 (61), 48-53.
- Alonso, S. (2011). *¿Hablamos de cambio climático?*. Bilbao, España: Fundación BBVA.
- Alpizar, E. (2012). *Zonificación agroecológica del café (Coffea arabica) y el cacao (Theobroma cacao Lin.) en Costa Rica, mediante el sistema de zonas de vida*. (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Amestoy, J. (2010). *El planeta Tierra en peligro: Calentamiento Global, Cambio Climático, Soluciones*. Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- Armenta, G., Dorado, J., Rodríguez, A. y Ruíz, J. (2014). *Escenarios de cambio climático para precipitación y temperaturas en Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.
- Bergengren, J., Waliser, D., & Yung, Y. (2011). Ecological sensitivity: a biospheric view of climate change. *Climatic Change* 107 (3–4), 433–457.
- Brown, L. (2006). *PLAN B 2.0: Rescuing a Planet Under Stress and a Civilization in Trouble*. New Jersey: Earth Policy Institute.
- Bustamante, D. (2017). Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo-Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 26 (2):15-27.
- Calderón, J., Monterroso, A. y Gómez, J. (2015). Cambio climático en el centro de México: impacto en la producción de cebada (*Hordeum vulgare*) en Tlaxcala. *Ra Ximhai*, 11 (5), 37-46.
- Casado, M., Martín, J., Pastor, M. y Rodríguez, E. (2011). *Evaluación de los modelos climáticos globales participantes en el cuarto informe de evaluación del IPCC sobre España y la región Euro-atlántica*. España: Agencia Estatal de Meteorología.

- Chirinos, M. (2007). Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) una planta con potencial nutritivo y medicinal. *Revista Bio Ciencias*, 3(3), 163-172.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). (2014). *Registro oficial No. 166*. Quito, Ecuador.
- Confalone, A. (2008). *Crecimiento y desarrollo del cultivo del Haba (Vicia faba L.). Parametrización del submodelo de fenología de CROPGRO-FABABEAN* (Tesis Doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro oficial 449*. Quito, Ecuador: Asamblea Nacional.
- Código Orgánico Ambiental. (2017). *Registro oficial 983*. Quito, Ecuador.
- Díaz, M., Herrera, E., Ramírez J., Aliphath, M. y Delgado, A. (2008). Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la sierra Norte de Puebla, México. *INTERCIENCIA*, 33 (8), 610-615.
- Fernández, M. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores: evaluación del riesgo agroclimático por sectores*. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico +en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>.
- Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandea, M. D., Bilir, T. E., & White, L. (. (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*. Reino Unido/Nueva York: Cambridge University Press/Cambridge,.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Göttlicher, D., Nauss, T., Homeier, J., Peters, T. y Bendix, J. (2009). Thermal structure of a megadiverse Andean mountain ecosystem in Southern Ecuador and its regionalization. *ERDKUNDE*, 63 (4), 321–335.
- Garcés, F., Olmedo, I., Garcés, R. y Díaz, T. (2015). Potencial agronómico de 18 líneas de fréjol F6 en Ecuador. *IDESIA*, 33 (2), 107-118.

- Geoinformática y Sistemas Cia. Ltda. (2015). *Estudio del Estado Actual del Ecosistema Páramo En Tungurahua*. Tungurahua, Ecuador: Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua (HGPT) - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y GmbH (Cooperación Alemana para el Desarrollo).
- Gutiérrez, A. (2010). *Plan estratégico de turismo comunitario para la comunidad de San Clemente, provincia de Imbabura* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- Gutierrez, M. E., y Espinosa, T. (2010). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Diagnóstico inicial. avances vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Haller, T. (2015). Climate Change Impacts Institutional Resilience and Livelihoods Vulnerability: A Comparative Analysis of Climate Change and Adaptation Strategies in Asia, Africa and Latin America. En: M. Alves, J. Weigelt, y J. Rosendahl (Eds.), *Pro-poor Resource Governance under Changing Climates: Addressing vulnerabilities in rural Bangladesh, Bolivia, Brazil, Burkina Faso, Ecuador and India* (pp. 161-181). Postdam, Alemania: IASS.
- Hamada, E. y Ghini, R. (2011). Impactos del cambio climático en plagas y enfermedades de las plantas en Brasil. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2: 195-205.
- Heuzé, V., Tran, G. & Boval, M. (2015). *Kikuyu (Pennisetum clandestinum)*. Feedipedia, un programa de INRA, CIRAD, AFZ y FAO. <https://www.feedipedia.org/node/398>.
- Hidalgo, F., Alves Zanella, M., Laforge, M., & Quishpe, V. (2015). Natural Resource Governance in the Indigenous Territories of the Imbabura Andean Region, Ecuador. En A. Zanella, J. Rosendahl, & J. Weigelt, *Pro-poor Resource Governance under Changing Climates. Addressing vulnerabilities in rural Bangladesh, Bolivia, Brazil, Burkina Faso, Ecuador and India* (págs. 1-191). Postdam: Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS).
- Hijmans, J., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. y Jarvis, A. (2005). Superficies climáticas interpoladas de muy alta resolución para áreas terrestres globales. *Revista Internacional de Climatología*, 25, 1965-1978. doi: 10.1002/joc.1276

- Inam, U. y Maske, M. (2017). Global Forum on Food Security and Nutrition: Sustainable farming systems for food and nutrition security. Foro online presentado por Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2001). Sistema Estadístico Agropecuario Nacional: encuesta por superficie y producción por muestreo de áreas. Quito, Ecuador: MAG.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (2008). *Guía Técnica de Cultivos*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2018). *Red de estaciones meteorológicas*. Recuperado de: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/red-de-estaciones-meteorologicas/>.
- Karuppaiah, V. y Sujayanad, G. (2012). Impact of Climate Change on Population Dynamics of Insect Pests. *World Journal of Agricultural Sciences*, 8 (3): 240-246.
- Kumar, K. K; Kumar, K. R.; Ashrit, R. G.; Deshpande, N. R. y Hansen, J. W. (2004). Climate impacts on Indian agriculture. *Int. J. Climatol*, 24, 1375-1393.
- Lobell, D. y Burke, M. (2008). Why are agricultural impacts of climate change uncertain? The importance of temperature relative to precipitation. *Environ. Res. Lett.*, 3, 1-8.
- Londoño, L., & Valdés, C. (2012). *Geoestadística Aplicada*. Leipzig-Alemania: Editorial Académica Española.
- López, A., & Hernández, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico*, vol. LXXXIII (4), 459-496.
- 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*. (Tesis de Maestría). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

- Magaña, V. (2010). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. México: INE-UNAM.
- Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J.-P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E., & Vicuña, S. (2014). Central and South America. En V. R. Barros, C. B. Field, D. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, & L. L. White, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (págs. 1126-1139). Cambridge/Reino Unido/Nueva York: Cambridge University Press.
- Medina-García, G., Ruiz-Corral, J., Rodríguez-Moreno, V., Soria-Ruiz, J., Díaz-Padilla, G., y Zarazúa Villaseñor, P. (2016). Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (13), 2465-2474.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D. (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: a Ricardian Analysis. *American Economic Review*, vol. 84, núm. 4, 753-771.
- Molina, M., Sarukhán, J. y Carabias, J. (2017). *El cambio climático: causas efectos y soluciones*. México: FCE
- Müller, K. & Restrepo, J. (Eds). (1997). *Conservación de suelos y aguas en la región andina: hacia el desarrollo de un concepto integral*. Cali: CIAT.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1997a). *La agricultura y los cambios climáticos: la función de la FAO*. Roma: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1997b). *Zonificación agroecológica: Guía general*. Roma: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). (2011). *Climate-Smart Agriculture: Managing Ecosystems for Sustainable Livelihoods*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/015/an177e/an177e00.pdf>

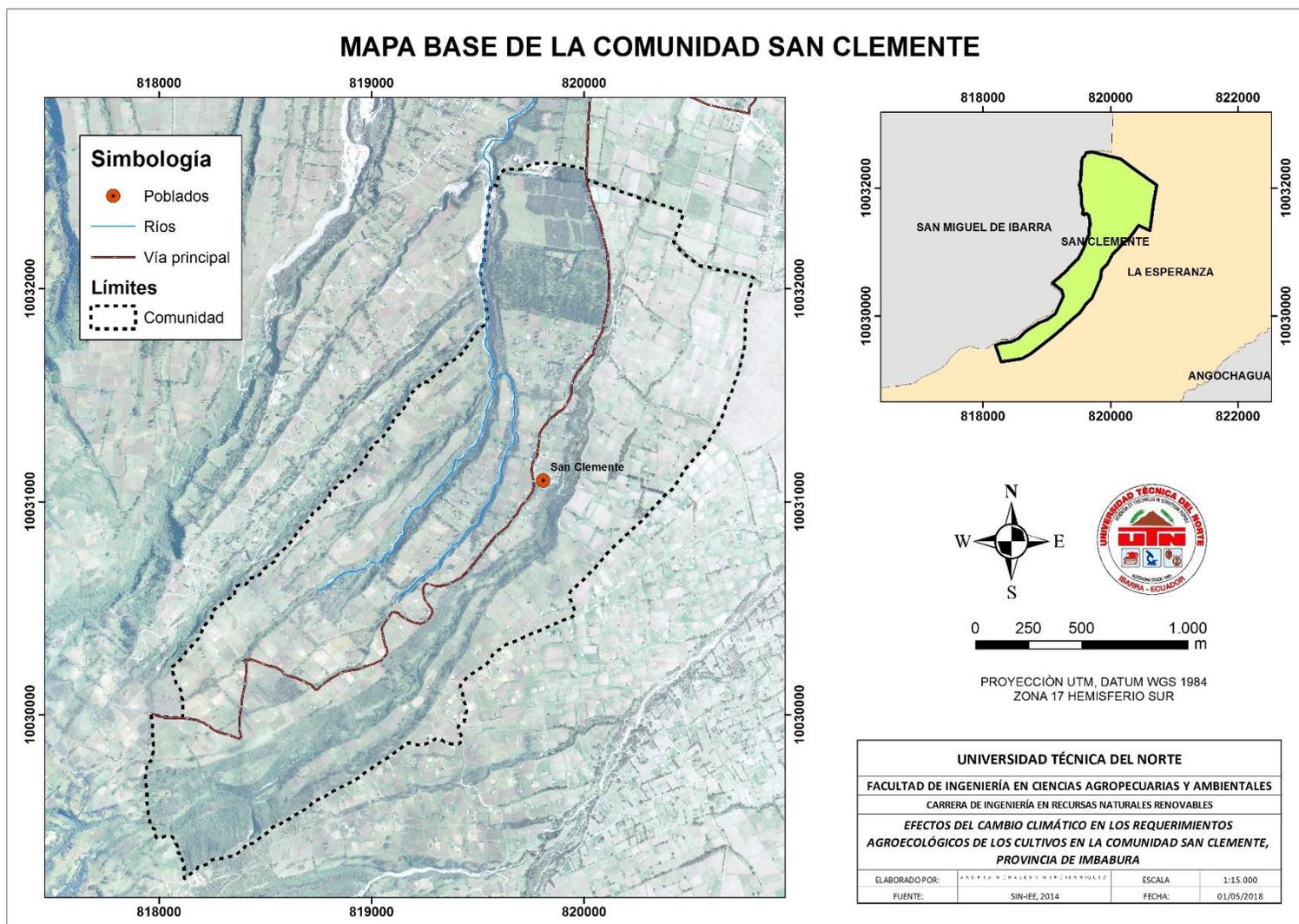
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). (2018). *¿Qué es la agricultura climáticamente-inteligente?* Recuperado de: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/I7926ES.ovien>
- Oviedo, B. y León, G. (2010). *Guía de procedimiento para la generación de escenarios de cambio climático regional y local a partir de los modelos globales*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.
- Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC). (2007). *Informe especial del IPP: Escenarios de emisiones*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático. IPCC. (2013). *Cambio Climático 2013. Bases físicas*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático. IPCC. (17 de 08 de 2015). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the*. Geneva: IPCC. Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Pantoja, S. (2012). *Análisis de la cultura ancestral de la comunidad San Clemente como alternativa de integración y desarrollo comunitario a través del turismo místico en la parroquia Caranqui, cantón Ibarra, en la provincia de Imbabura* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Parry, M. (2007). The Implications of climate change for crop yields, global food supply and risk of hunger. . *SAT eJournal/ejournal. icrisat. org* 4 (1), 1-44.
- Poveda, G., Waylen, R. y Pulwarty, R. (2006). Annual and interannual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234, (1).
- Qian, B., De Jong, R., Gameda, S., Huffman, T., Neilsen, D., Desjardins, R., McConkey, B. (2013). Impact of climate change scenarios on Canadian agroclimatic indices. *Canadian Journal of Soil Science* 93 (2), 243–259.

- Ruiz, J., Medina, G., Ramírez, J., Flores, H., Ramírez, G., Manriquez, J. *et al.* (2011). Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (2), 309-323.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, Toda una vida*. Quito-Ecuador: SENPLADES.
- Senra, A., Soto, S. y Guevara, R. (2010). Guía estratégica sobre la base de reservas en alternativas de la ganadería cubana, para enfrentar la crisis económica global y el cambio climático. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14 (3), 3-18.
- Sierra, P., Arias, A. y Vieira, S. (2016). *Sobre la representación de la precipitación en el norte de Suramérica por los modelos del CMIP5*. Seminario presentado en la Sociedad Colombiana de Ingenieros, Colombia.
- Smith, W., Granta, B., Desjardins, R. D., Kroebel, R., Li, C., & Qiana, B. (2013). Assessing the effects of climate change on crop production and GHG emissions in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179 (2013) , 139– 150.
- Sotelo, E., Cruz, G., González, A. y Moreno, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (2), 401-412.
- Suárez, G. (2014). Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. Particularidades en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35 (4), 36-44.
- Taylor, K., Stouffer, R., & Meehl, G. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteorito. Soc.*, (93), 485-498.
- Turner, P. y Gillbanks, R. (2003). *Oil palm cultivation and management*. Kuala Lumpur, Malasia: Inc. Society of Planters.
- Useros, J. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, (50), 71-98.
- Vale, M., & Pire, A. (2018). Climate Change in South America. En D. DellaSala, & M. (. Goldstein, *Encyclopedia of the Anthropocene* (págs. 205-208). Elsevier.

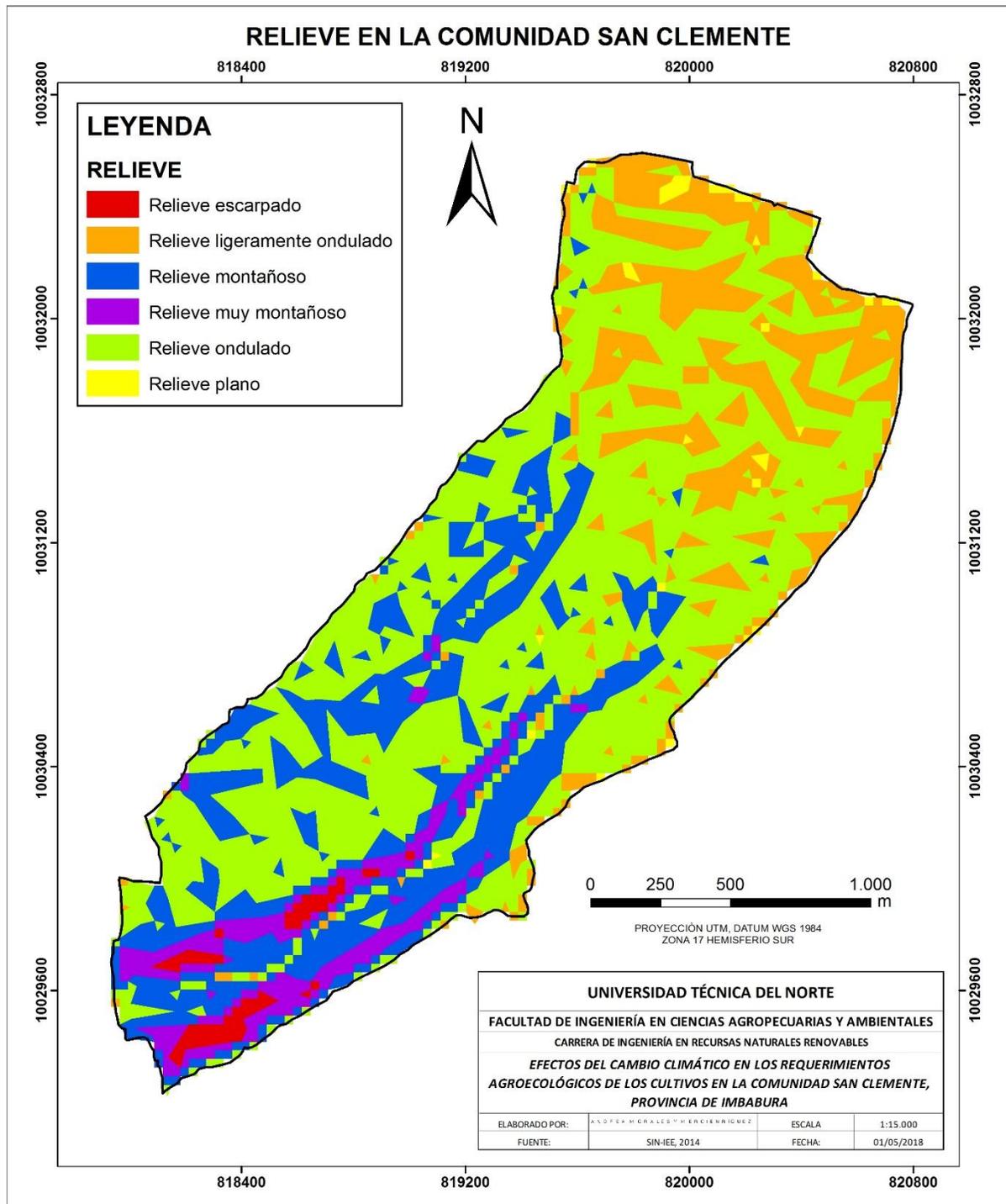
- Valverde Arias, O. (2013). *Utilización de un SIG en la evaluación de tierras para la selección y caracterización de áreas aptas para el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el cantón Montecristi (Ecuador)* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
- Vásquez, L. (2011). Cambio climático, incidencia de plagas y prácticas agroecológicas resilientes. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana. 242
- Villavicencio, A., & Vásquez, W. (2008). *Guía Técnica de Cultivos*. Quito: EC INIAP.
- Yin, L., Fu, R., Shevliakova, E. y Dickinson, R. (2013). How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America?. *Climate Dynamics*, 41(11-12), 3127-3143.

# ANEXOS

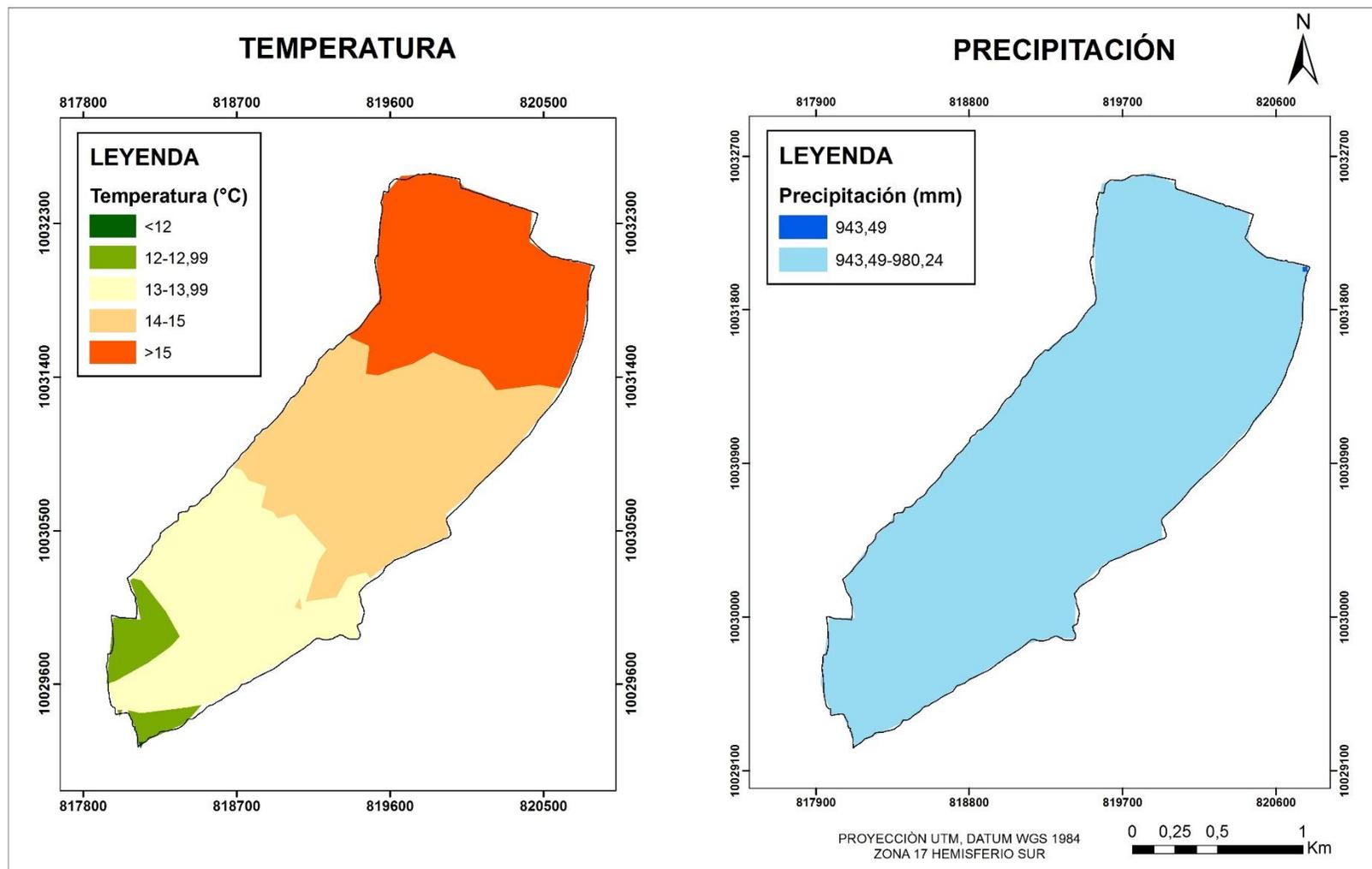
## Anexo 1. Mapa Base de la comunidad San Clemente



## Anexo 2. Mapa de pendientes en San Clemente



### Anexo 3. Temperatura y precipitación de San Clemente



#### Anexo 4. Requerimientos agroecológicos de cultivos

##### 4.1. *Lupinus mutabilis* Sweet. (chocho)

Factor	Variables	Clases de Aptitud Agroecológica	
		Apta	No Apta
Suelo	Pendiente	0-50 %	> 50%
	Textura	Franco arenoso, Franco limoso, Franco arcilloso, Franco, Limoso, Franco arcillo arenoso, Franco arcillo limoso, Areno francoso, Arcillo arenoso, Arenosa	Arcillo limoso, Arcilloso.
	Profundidad	Profundo, Moderadamente profundo, Poco profundo	Superficial
	Drenaje	Bueno, Moderado	Mal drenado/ Excesivo
	pH	Ligeramente ácido, Neutro, Moderadamente Alcalino, Ácido	Alcalino, Muy ácido
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Media, Alta
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Alta, Muy Alta
Clima	Precipitación (mm/año)	500-1250	> 1250
	Temperatura (°C)	8-14	> 16
	Altitud (msnm)	2800-3500	>3500

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008).

#### 4.2. *Phaseolus vulgaris*, (fréjol)

Factor	Variables	Clases de Aptitud Agroecológica	
		Apta	No Apta
Suelo	Pendiente	0-50 %	> 50%
	Textura	Francos, arenosos Franco arenoso Franco limoso	Arcilloso
	Profundidad	Profundo, Moderadamente profundo	Poco profundo, Superficial
	Drenaje	Bueno, Moderado	Mal drenado/ Excesivo
	pH	Ligeramente ácido Neutro, Moderadamente Alcalino (5,5-7,5)	Alcalino, Muy alcalino Acido, Muy ácido
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Media, Alta
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Alta, Muy Alta
Clima	Precipitación (mm/año)	300-700	< 300 / >700
	Temperatura (°C)	16-20	< 16/ >20
	Altitud (msnm)	1000-2500	< 1000 / >2500

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008).

### 4.3. *Vicia faba* (haba)

Factor	Variables	Clases de aptitud agroecológica	
		Apta	No Apta
Suelo	Pendiente	0 - 50 %	> 50%
	Textura	Francos, Arcillosos. Franco arcilloso Franco arenoso	Arenoso, Franco arenoso
	Profundidad	Profundo Moderadamente profundo	Poco profundo Superficial
	Drenaje	Bueno, Moderado	Mal drenado, Excesivo
	pH	Ligeramente ácido Neutro (5,5-7,5) Moderadamente Alcalino	Alcalino, Acido, Muy ácido
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Media, Alta
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Alta, Muy Alta
Clima	Precipitación (mm/año)	700-1000	0-700 / >1000
	Temperatura (°C)	7-14	<7 / >14
	Altitud (msnm)	2600-3500	<2600 / >3500

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008).

4.4. *Zea mays* (maíz)

Factor	Variables	Clases de aptitud agroecológica	
		Apta	No Apta
Suelo	Pendiente	0 - 50 %	> 50%
	Textura	Franco arcilloso, Franco limoso, Franco arcillo arenoso, Franco arcillo limoso, Arcillo limoso, Franco arcillo arenoso, Franco arenoso, Franco limoso, Franco arcilloso, Arcilloso, Arcillo arenoso	Arenoso franco, Arenosa, Arcilloso
	Profundidad	Profundo Moderadamente profundo	Poco profundo Superficial
	Drenaje	Bueno, Moderado	Mal drenado, Excesivo
	pH	Ligeramente ácido Neutro, Ácido (5,6-7) Moderadamente ácido	Alcalino, Muy ácido
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Media, Alta
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Alta, Muy Alta
Clima	Precipitación (mm/año)	400 – 1300	0-400 / 1300
	Temperatura (°C)	10-20	<10 / >20
	Altitud (msnm)	2200-2800	>2800

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008).

4.5. *Hordeum vulgare* (cebada)

Factor	Variables	Clases de aptitud agroecológica	
		Apta	No Apta
Suelo	Pendiente	0 - 50 %	> 50%
	Textura	Franco, franco arenoso Franco Arcilloso, Franco arcillo-arenoso.	Arenosa, Arcilloso
	Profundidad	Profundo Moderadamente profundo	Poco profundo Superficial
	Drenaje	Bueno, Moderado	Mal drenado, Excesivo
	pH	Ligeramente ácido Neutro, (5,5-7,5)	Muy ácido, Alcalino
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Media, Alta
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Alta, Muy Alta
Clima	Precipitación (mm/año)	500-1000	<500 / >1000
	Temperatura (°C)	8-18	<8 / >18
	Altitud (msnm)	2000-3400	<2000 / >3400

**Fuente:** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2008).

4.6. *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. (kikuyo)

Factor	Variables	Clases de aptitud agroecológica	
		Apta	No Apta
Suelo	Pendiente	0 - 50 %	> 50%
	Textura	Franco arenoso, franco arcillo-arenoso, arcillosos, franco arcilloso, franco limoso	Arcillo limoso, franco
	Profundidad	Profundo, Poco Profundo Moderadamente profundo	Superficial
	Drenaje	Bueno, Moderado	Mal drenado, Excesivo
	pH	Ácido, Moderadamente ácido, Ligeramente alcalino, Neutro (4,5-7,5)	Alcalino, Muy ácido
	Toxicidad	Sin o nula, Ligera	Media, Alta
	Salinidad	Sin – Ligera, Media	Alta, Muy Alta
Clima	Precipitación (mm/año)	800-3000	0-400 / >3000
	Temperatura (°C)	16-22	< 7
	Altitud (msnm)	2000-3500	>3500

**Fuente:** Heuzé, V., Tran, G. & Boval, M. (2015).

Anexo 5. Entrevistas



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**ENTREVISTA: REPRESENTANTE DE LA COMUNIDAD**

**TEMA DE INVESTIGACIÓN:** EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS DE LOS CULTIVOS EN LA COMUNIDAD SAN CLEMENTE, PROVINCIA DE IMBABURA

1. ¿Qué consideraciones realizan para determinar los cultivos a sembrar?

---

---

---

2. ¿Los cultivos rotan durante el año?

---

3. ¿Cuáles son los cultivos alternos?

---

---



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**ENTREVISTA: Ph.D. JULIA PRADO**

**TEMA DE INVESTIGACIÓN:** EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS DE LOS CULTIVOS EN LA COMUNIDAD SAN CLEMENTE, PROVINCIA DE IMBABURA

1. ¿Existe mayor afectación de cultivos por parte de plagas en la actualidad con relación al pasado?

---

---

---

2. Considerando un escenario de cambio climático (aumento de temperatura y disminución de la precipitación), ¿qué plagas serían consideradas más nocivas?

---

---

---

3. Considerando lo anterior, ¿qué cultivos serían los más vulnerables?

---

---

## Anexo 5. Cultivos en San Clemente



5.1. Cebada (*Hordeum vulgare*)



5.2. Maíz (*Zea mays*)



5.3. Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)



5.4. Asociación maíz (*Zea mays*)-haba (*Vicia faba*)



5.5. Asociación maíz (*Zea mays*)-fréjol (*Phaseolus vulgaris*)



5.6. Asociación haba (*Vicia faba*)- fréjol (*Phaseolus vulgaris*)