



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA



CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Tema: Determinación de escenarios de la producción de alimentos frente al Cambio Climático en la Provincia de Tungurahua tomando como muestra los cultivos de maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), mora (*Rubus ulmifolius*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

AUTORES: Andrés Isaac Jordán Lescano

Andrea Belén Villamarín Cueva

TUTOR: Dr. Christian David Franco Crespo

Ambato – Ecuador

Septiembre - 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Christian David Franco Crespo

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 19 de junio del 2021

Dr. Christian David Franco Crespo

C.I. 171709060-7

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros Andrés Isaac Jordán Lescano y Andrea Belén Villamarín Cueva, manifestamos que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero (a) en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Andrés Isaac Jordán Lescano

C.I. 1804777199

AUTOR



Andrea Belén Villamarín Cueva

C.I. 0502923055

AUTORA

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

PhD. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I.: 0501873954

PhD. Esteban Mauricio Fuentes Pérez

C.I.: 1803321502

Ambato, 06 de Septiembre de 2021

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor.



Andrés Isaac Jordán Lescano

C.I. 1804777199

AUTOR



Andrea Belén Villamarín Cueva

C.I. 0502923055

AUTORA

DEDICATORIA

A la perseverancia de los pequeños agricultores que, a pesar de las adversidades, cada día se esfuerzan para poner alimentos en nuestros hogares.

Isaac y Andrea

AGRADECIMIENTO

A mis padres que siempre me han brindado su apoyo emocional e incondicional en cualquier momento, por ser un pilar fundamental y que han hecho posible la culminación de este sueño, siendo para ellos mi esfuerzo.

A mis hermanos por ser también un pilar importante en mi vida universitaria. Por sus consejos y apoyo.

A mi enamorada por los momentos especiales, por su apoyo y tiempo que me ha brindado a lo largo de este proceso.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por los conocimientos, experiencias y recuerdos brindados desde el primer día de carrera universitaria.

Al Dr. Christian Franco por su comprensión y guía a lo largo del desarrollo de este trabajo. Por la motivación hacia la investigación.

A mis amigos Elvis, Juan, Alexa, Iván, Erick, Lupita y Santiago por los momentos de diversión y risas compartidos a lo largo de la carrera.

A mi compañera de tesis Andrea por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

Isaac

A toda mi familia, mis papis, hermanos, tíos, abuelitos y a mis perritos, por apoyarme en cada etapa de mi vida y estar siempre a mi lado ayudándome a cumplir cada uno de mis objetivos.

Al Dr. Christian Franco por compartirnos sus conocimientos y ayudarnos en el desarrollo de este trabajo tan importante.

A Isaac por ser un buen compañero de equipo en la elaboración de este proyecto.

Andrea

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Cambio Climático en Ecuador	3
1.1.2 Principales efectos del Cambio Climático en la producción agrícola del Ecuador 9	
1.1.2.1 Plagas y enfermedades en los cultivos	9
1.1.2.2 Erosión y uso del suelo.....	10
1.1.2.3 Variación de la Temperatura y aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 12	
1.1.2.4 Escasez de Agua.....	13
1.1.2.5 Variación de Lluvias.....	15
1.1.3 Seguridad Alimentaria	17
1.1.3.1 Pobreza rural y migración campo-ciudad.....	18
1.1.3.2 Disponibilidad de Alimentos.....	19
1.1.3.3 Disminución de Producción	20
1.1.3.4 Sistemas agroalimentarios.....	22
1.1.3.5 Volatilidad de precios.....	22
1.1.4 Modelos de simulación agrícola.....	23

1.2	Objetivos.....	24
1.2.1	Objetivo General.....	24
1.2.2	Objetivos Específicos.....	24
1.3	Señalamiento de variables.....	24
1.3.1	Variables Independientes.....	24
1.3.2	Variable Dependiente.....	24
CAPÍTULO II.....		25
METODOLOGÍA.....		25
2.1	Recolección de la Información.....	25
2.2	Descripción de la zona de estudio.....	26
2.3	Tratamiento de la Información.....	27
2.3.1	Análisis de datos en SPSS (Statistical Product and Service Solutions).....	27
2.3.2	CROPWAT 8.0.....	28
2.3.3	CLIMWAT 2.0.....	28
2.3.4	GAMS (General Algebraic Modeling System).....	29
2.4	Diseño del Modelo.....	29
	Función objetivo basada en Howitt, Hazell y Norton.....	30
2.5	Determinación del Modelo.....	31
2.6	Operacionalización de las variables.....	32
CAPÍTULO III.....		37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		37
	Análisis de resultados.....	37
	Niveles de Producción.....	49
	Diseño del Modelo.....	50
	Determinación de requerimientos de recursos naturales de los cultivos por medio de GAMS.....	52
	Simulación en GAMS de los Escenarios de Cambio Climático en la producción agrícola.....	55
	Discusión de resultados.....	58
CAPÍTULO IV.....		61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		61
	Conclusiones.....	61

Recomendaciones	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS.....	76

Índice de Tablas

Tabla 1. Impactos del Cambio Climático en Ecuador en los últimos 10 años según diversos autores.....	3
Tabla 2. Cobertura del suelo a nivel nacional, 2015.....	11
Tabla 3. Estadísticos de Fiabilidad.....	28
Tabla 4. Análisis de las variables.....	33
Tabla 5. Estadístico descriptivo rendimiento y producción de cultivos por cantón.....	35
Tabla 6. Correlaciones de variables.....	41
Tabla 7. Anova de un Factor.....	46
Tabla 8. Datos del Rendimiento y Producción de los cultivos por Cantón (Píllaro, Mocha y Tisaleo).....	49
Tabla 9. Requerimiento de Tierra por cantón.....	52
Tabla 10. Disponibilidad de agua de riego.....	53
Tabla 11. Requerimiento de mano de obra.....	53
Tabla 12. Variable dependiente (Producción).....	54

Índice de Figuras

Figura 1. Principales afectaciones de la producción agropecuaria.	10
Figura 2. Aporte sectorial de emisiones de GEI en Ecuador, en Ton CO2-eq.	13
Figura 3. Escenario potencial de cultivos amenazados por déficit hídrico para junio del 2014.....	16
Figura 4. Mapa de hogares en situación de inseguridad alimentaria a nivel nacional	20
Figura 5. Ubicación de la zona de estudio en Ecuador y los cantones de Píllaro, Tisaleo y Mocha en la provincia de Tungurahua.....	26
Figura 6. Edad de los agricultores.....	37
Figura 7. Disponibilidad de tierra	38
Figura 8. Disponibilidad de agua	38
Figura 9. Comportamiento de la lluvia	39
Figura 10. Cantidad de litros de leche.....	40
Figura 11. Rendimiento Kg/ha y Producción Kg de producto por Cantón (Píllaro, Mocha y Tisaleo).....	50
Figura 12. Evolución de resiliencia de cultivos en la variación del Cambio Climático en el cantón Mocha en 30 años.	55
Figura 13. Evolución de resiliencia de cultivos en la variación del Cambio Climático en el cantón Tisaleo en 30 años.	56
Figura 14. Evolución de resiliencia de cultivos en la variación del Cambio Climático en el cantón Píllaro en 30 años.	57

RESUMEN

En el Ecuador el estudio del clima es un tema complicado debido a que existen pocos registros, especialmente en áreas remotas donde se conoce que existen efectos negativos del Cambio Climático, sin embargo, no han sido cuantificados, creando incertidumbre al no contar con información para un análisis sobre las consecuencias a futuro y dificulta la puesta en marcha de acciones para combatir los efectos del clima. Las plagas y enfermedades en los cultivos, el incremento de la temperatura, la escases de agua y la variación de lluvias son los impactos que afectan a la producción agrícola y a la disponibilidad de alimentos. Para determinar el impacto de los Escenarios de Cambio Climático en el Ecuador sobre la producción de mora (*Rubus ulmifolius*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), maíz (*Zea mays*), y papa (*Solanum tuberosum*) en la provincia de Tungurahua se utilizó el software GAMS, con el uso de la programación lineal y a partir de bases de datos, encuestas e información recopilada, proporcionó como resultado datos de las consecuencias a futuro en los cultivos estudiados. Con el análisis de cada resultado sobre la incidencia de la escasez de agua agravada por el Cambio Climático, se establece que el único cultivo que sería capaz de resistir este cambio para el año 2050 sería el maíz, lo que podría generar un aumento de precios de los cultivos forjando problemas para la Seguridad Alimentaria del Ecuador al no contar con los suficientes recursos para mantener la producción y abastecer a la población.

Palabras clave: Seguridad Alimentaria, Cambio Climático, producción agrícola, sistemas agroalimentarios, Tungurahua.

ABSTRACT

In Ecuador, the study of the climate is a complicated subject because there are few records, especially in remote areas where it is known that there are negative effects of Climate Change, however, they have not been quantified, creating uncertainty by not having information for a analysis of future consequences and makes it difficult to implement actions to combat the effects of the climate. Pests and diseases in crops, the increase in temperature, water scarcity and the variation of rainfall are the impacts that affect agricultural production and the availability of food. To determine the impact of the Climate Change Scenarios in Ecuador on the production of blackberry (*Rubus ulmifolius*), tree tomato (*Solanum betaceum*), corn (*Zea mays*), and potato (*Solanum tuberosum*) in the province of Tungurahua was used The GAMS software, with the use of linear programming and based on databases, surveys and information collected, provided data on the future consequences of the studied crops as a result. With the analysis of each result on the incidence of water scarcity aggravated by Climate Change, it is established that the only crop that would be able to resist this change by 2050 would be corn, which could generate an increase in prices of The crops forging problems for the Food Security of Ecuador by not having enough resources to maintain production and supply the population.

Keywords: Food Security, Climate Change, agricultural production, agri-food systems, Tungurahua.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

El Cambio Climático es una grave amenaza para la Seguridad Alimentaria a nivel mundial que, influye de forma directa e indirecta en múltiples aspectos como económicos, sociales, medioambientales y de la salud. Además, se relaciona principalmente con el sector agrícola y ganadero por su vulnerabilidad ante los efectos del clima (Hidalgo, 2013). En los cinco informes presentados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), desde 1990 hasta el 2013, en base a revisión científica, se ha establecido que a nivel global el Cambio Climático ha provocado un incremento de la temperatura. En este informe se señala que desde la era preindustrial la temperatura media mundial se ha incrementado en 1,1°C y 0,2°C entre los años 2011-2015 (Organización Meteorológica Mundial, 2019). El aumento de la temperatura también ha provocado el derretimiento de los glaciares y el casquete polar, el ascenso de los niveles del mar, con un de aumento anual de 3,2 milímetros en los últimos 20 años y el incremento del CO₂ en un 40% (De la Vega Navarro, 2014; National Geographic, 2020). De acuerdo con la FAO (Food and Agriculture Organization) (2018), los episodios climáticos extremos cada vez más usuales e intensos tendrán un impacto negativo en la disponibilidad de alimentos, el acceso a los mismos y su utilización tanto en zonas rurales como urbanas. Los eventos climáticos extremos suceden con una frecuencia menor del 10%. Por lo que, pueden causar graves catástrofes o emergencias a la población, estos eventos incluyen a las lluvias torrenciales, olas de calor y de frío, inundaciones y sequías (Tirado, 2010).

El Cambio Climático afecta gravemente a las prácticas agrícolas con las variaciones de lluvia, temperatura, dióxido de carbono, fertilización y la reducción de la superficie productiva de la tierra y los recursos hídricos, asociados con el crecimiento de la población (Karimi et al., 2018). Otras de las secuelas esperables del Cambio Climático son la baja

calidad de los cultivos y un aumento de lixiviación de nitrógeno y erosión del suelo por el mal manejo de la tierra (Ortiz, 2014).

Para menorar estos impactos, el sector agrícola ha tenido que tecnificarse como: aplicar y usar tecnologías de semillas o, ajustar los tiempos de siembra y cosecha (Hardoy & Pandiella, 2009). Para aquello, se ha propuesto también la aplicación de políticas públicas y actividades que desarrollen la capacidad del sector agroalimentario para ser climáticamente responsable y reducir las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (ICCA, 2018).

La afectación al sector agrícola y ganadero incide en la actividad económica de los países, aumentando el riesgo de hambre y desnutrición (Hidalgo, 2013). Se estima que a nivel mundial los precios de los alimentos aumentarán como resultado de la disminución de la producción global de alimentos provocada por del Cambio Climático (Viguera et al., 2017). Las consecuencias denotan un incremento en la desnutrición, por los precios altos y volátiles de los alimentos, las personas al no poder costear esos precios pasan de alimentos más nutritivos a alimentos menos nutritivos afectando la distribución de las calorías de los alimentos dentro del entorno familiar (Von Braun & Tadesse, 2012). La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018), determina que los efectos del Cambio Climático sobre la inocuidad de los alimentos y la salud pública son afines a la Seguridad Alimentaria y en consecuencia a la nutrición, por lo que tienen que considerarse simultáneamente.

Por otro lado, la Agencia Europea del Medio Ambiente (2015), explica que el Cambio Climático puede generar oportunidades o peligros para la agricultura según las particularidades climáticas de la región, de los cultivos y de los cambios viables que puedan darse según el área que se considere. Por ejemplo, en las zonas templadas cuando existen niveles iniciales moderados de cambio en los patrones de temperatura y precipitación, se puede reducir el costo de la agricultura y producción agrícola al emplear menos recursos, obteniendo un resultado positivo en el bienestar agrícola mundial (Stevanovi et al., 2016).

1.1.1 Cambio Climático en Ecuador

Se considera como Cambio Climático al incremento de la temperatura media del aire y del océano en todo el mundo, el incremento medio del nivel del mar y el deshielo extendido de los polos y hielos (IPCC, 2007). Según los estudios de la II Comunicación Nacional sobre Cambio Climático en Ecuador, las posibles son: el incremento de eventos climáticos extremos, el aumento del nivel del mar, el retroceso de los glaciares y el descenso de la escorrentía anual (Ministerio del Ambiente, 2012). Otra consecuencia negativa, según Muñoz (2019), es la vulnerabilidad a la que están expuestos los agricultores, por falta de conocimiento sobre las causas y los efectos que estos fenómenos conllevan. Según Hidalgo (2013), el sector agroalimentario siempre ha dependido del clima de la región donde se desarrolla, influyendo en los tipos de cultivo, forma de cosecha y en general la adaptación de las poblaciones. Las consecuencias en el sector agrícola son pérdidas económicas que podrían llegar a los USD 5.6 MM para el año 2025 (Egas et al., 2018).

Tabla 1. Impactos del Cambio Climático en Ecuador en los últimos 10 años según diversos autores.

Autores	Impacto
Plagas y Enfermedades en los cultivos	
(Monteros Guerrero, 2016b)	En las provincias de Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha y Tungurahua el 73% de los agricultores de papa aseguran que las plagas son el principal problema del bajo rendimiento de sus cultivos.

(Andrade & Ayaviri, 2017)	En el cantón Guano en la provincia de Chimborazo el 94% de los entrevistados están de acuerdo que uno de los principales efectos del Cambio Climático es el incremento de plagas y enfermedades en los cultivos.
(Eche, 2019)	En la Amazonia la baja productividad agrícola ha sido causada por las plagas y enfermedades en los cultivos, limitando la disponibilidad de alimentos en esta región.
(VanderMolen Kristin, 2011)	Los campesinos de Cotacachi afirman que el daño de nuevas plagas y el incremento de las enfermedades en los cultivos han sido provocadas por el aumento del calor.
Incremento de la temperatura	
(Toulkeridis et al., 2020b)	Este estudio realizó encuestas de percepción sobre el Cambio Climático a académicos de Cuenca, Ibarra, Riobamba y Quito donde el 18% de los encuestados eligió la opción de aumento de la temperatura como un efecto importante del Cambio Climático en el Ecuador.
(Noboa et al., 2012)(Noboa et al., 2012)	En las próximas décadas la variación de temperatura en el sector agrícola del Ecuador provocará grandes pérdidas económicas para los cultivos de maíz, papa, arroz y fréjol, se estima que para el 2030 se experimente una pérdida de USD 137M.

(Andrade & Ayaviri, 2017),	En el cantón Guano existen pérdidas de los cultivos de papa al ser afectados directamente por el aumento de la temperatura según la precepción de los agricultores de esta zona.
(Bustamante, 2017)	En la provincia de Chimborazo para el año 2050 la temperatura mínima mensual aumentaría entre 1,61 y 1,66°C aprox., afectando a la productividad de los cultivos.
(VanderMolen Kristin, 2011)	El 75% de los agricultores encuestados en Cotacachi afirman que el clima es más caliente en comparación a años anteriores y el 88% asegura que el aumento del calor afecta a sus cultivos al secar las plantas y la tierra.

Escases de agua

(Toulkeridis et al., 2020b)	<p>En algunas ciudades como Quito, donde el suministro de agua proviene de los glaciares, la escasez de agua tendrá una mayor consecuencia debido al deshielo.</p> <p>El volcán Chimborazo ha perdido sus glaciares en un 58,9% desde 1962 a 2010 como consecuencia del aumento de la temperatura, disminuyendo la disponibilidad de agua en esta región.</p> <p>Según el 34,36% de los académicos encuestados las sequias por falta de agua son de las variables que más destacan del Cambio Climático.</p>
-----------------------------	--

(Portilla, 2018)	Gran parte de la escasez del agua en la sierra ecuatoriana ha sido por el retroceso de los glaciares. Los glaciares del Cotopaxi y del Chimborazo han tenido un retroceso de superficie desde 1976 y 1962 respectivamente hasta el 2016.
(Monteros Guerrero, 2016b)	El 50% de los productores de papa de las provincias de Pichincha y Cotopaxi expresan que la falta de agua es la principal causa del bajo rendimiento de sus cultivos.
(Andrade & Ayaviri, 2017)	La destrucción de los páramos y el mal manejo de los recursos naturales como el agua han influido para que la producción de papa en el cantón Guano disminuya, sin embargo, esto no afecta directamente a la Seguridad Alimentaria de esta región al ser productora de varios tipos de cultivos.
(Bustamante, 2017)	Las provincias de Chimborazo y Tungurahua dependen del volcán Chimborazo para el suministro de agua, con el deshielo de los últimos años se observa una importante disminución de este recurso afectando a los sistemas de riego para la agricultura.
(VanderMolen Kristin, 2011)	En Cotacachi en la provincia de Imbabura, se reporta la disminución de las fuentes fluviales destinadas para el riego de los cultivos debido al deshielo de los glaciares del volcán Cotacachi.

(Rojas, 2016)	Un grave problema ambiental que afecta a América Latina es la reducción de los glaciares con un impacto directo en la disponibilidad y suministro de agua para el consumo humano y la actividad agrícola.
(Schoolmeester et al., 2018)	En el Ecuador en los últimos 50 o 60 años los glaciares se han reducido, el agua proveniente de los glaciares de los volcanes Antisana y Cotopaxi representa aproximadamente el 5% del suministro de agua de Quito.
Variación de lluvias	
(Toulkeridis et al., 2020b)	El 21,41% de los encuestados percibe que en los últimos años en el Ecuador las lluvias han sido escasas pero intensas, esta variable es la que mayor preocupación causa a los académicos al ser la lluvia indispensable para la agricultura.
(Andrade & Ayaviri, 2017)	En el cantón Guano las lluvias con variaciones de más del 15% en comparación al nivel actual, provocará grandes pérdidas en los sembríos.
(Bustamante, 2017)	En Chimborazo la reducción de lluvias provocará una mayor tasa de evapotranspiración en los cultivos, específicamente en los que son realizados a secano.

(VanderMolen Kristin, 2011)	De los campesinos encuestados de Cotacachi el 79% asegura que llueve menos que en años posteriores y el 87% dice que el patrón de la lluvia ha sido alterado, para mejorar esta situación su única opción ha sido alterar el calendario de siembra de sus cultivos.
(Portilla, 2018)	En el país los meses de julio y agosto es cuando menos llueve, siendo meses complicados para la agricultura por la falta de agua.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1 se analizan los principales impactos del Cambio Climático en Ecuador, publicaciones de diversos autores en los últimos 10 años. En base a estos estudios se ha determinado los principales efectos del cambio del clima en la producción agrícola y su relación con la Seguridad Alimentaria. Es evidente que el clima en el Ecuador ha cambiado de manera drástica durante las últimas décadas, presentando graves consecuencias para los agricultores del país quienes son los que más perciben estos cambios. Las plagas y enfermedades en los cultivos, el incremento de la temperatura, la escasez de agua y la variación de lluvias son los impactos que se han determinado afectan a la producción agrícola y a la disponibilidad de alimentos.

En el Ecuador el estudio del clima es un tema complicado debido a que existen muy pocos registros a largo plazo, especialmente en áreas remotas donde se conoce que existen efectos negativos del Cambio Climático, sin embargo, no han sido cuantificados. Quito, Guayaquil y Cuenca son pocas de las grandes ciudades donde se lleva registros meteorológicos de 50 años o más (Portilla, 2018).

1.1.2 Principales efectos del Cambio Climático en la producción agrícola del Ecuador

1.1.2.1 Plagas y enfermedades en los cultivos

El uso de plaguicidas y los respectivos residuos en los alimentos son una inquietud constante que se estima que sea más predominante en consecuencia del Cambio Climático. El uso de plaguicidas de segunda y tercera generación afectan directamente al agua y suelo puesto que sus residuos pueden durar años (Organización Mundial de la Salud, 2018). Por otra parte, el uso de los plaguicidas favorece a disminuir las pérdidas provocadas por plagas, enfermedades y malezas, contribuyendo a la alimentación de la población mundial. Sin embargo, por su potencial daño al medio ambiente y salud humana ha sido necesario regular el uso de productos químicos y fertilizantes, que tienen relación con la Gases de Efecto Invernadero GEI (Verger & Boobis, 2013). Actualmente, a nivel mundial 5 mil millones de litros de pesticidas son aplicados en los cultivos, a pesar de su uso las plagas y enfermedades hacen que se pierda entre el 10 a 20 % de las cosechas (Porcuna, 2016).

A medida que el clima cambia, los agricultores deberán modificar el uso de insumos agrícolas (plaguicidas, pesticidas, fertilizantes, etc.) dependiendo de la productividad de la tierra, si disminuye habrá escases de alimentos generando peligro a la Seguridad Alimentaria por lo que alentará a los agricultores a nivel mundial a aumentar su uso (Mendelsohn & Wang, 2017).

En la Tabla 1 según los análisis de los autores, en las provincias de Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha, Tungurahua e Imbabura los agricultores afirman que las plagas influyen en el problema del bajo rendimiento de los cultivos, para tratar de adaptarse a esta problemática los campesinos han tenido que hacer uso de plaguicidas y pesticidas que en años anteriores no usaban.

Según el INEC (2014), en el Ecuador para combatir plagas y enfermedades de los cultivos 81.248,36 hectáreas utilizan plaguicidas orgánicos, estas pertenecen al 4,23% de la superficie de cultivos permanentes, y al 1,26% del total de la zona de cultivos transitorios, entre tanto para los plaguicidas químicos, el área de uso fue 1.764.426,44 ha. En la Figura 1 se observa que tanto para los cultivos transitorios y los cultivos permanentes las

principales afectaciones de la producción agropecuaria del país fueron las plagas (INEC, 2016a).

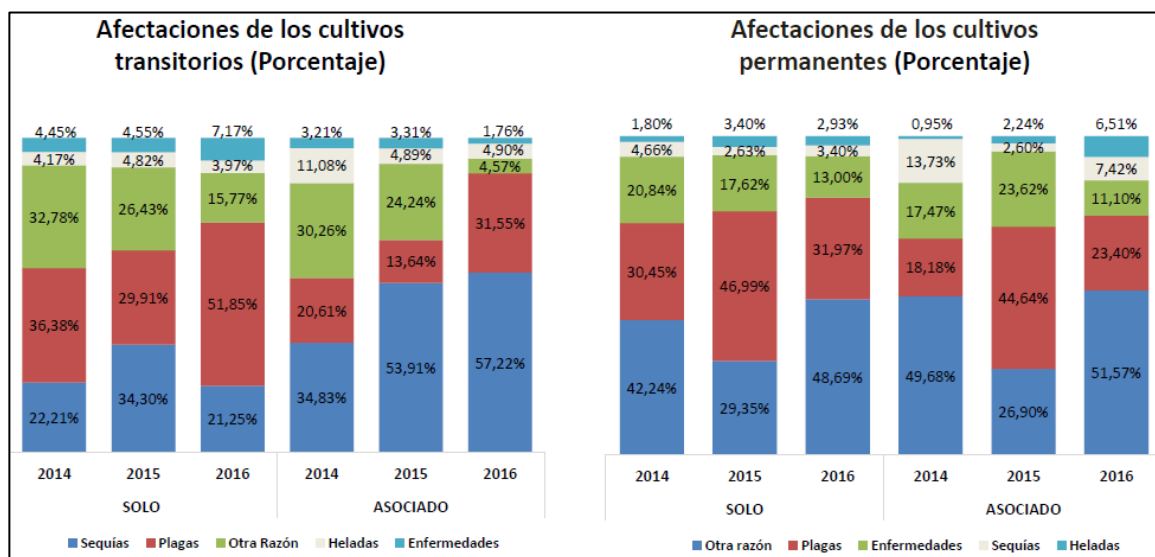


Figura 1. Principales afectaciones de la producción agropecuaria.
Fuente: (INEC, 2016b)

1.1.2.2 Erosión y uso del suelo

La erosión del suelo es el desplazamiento de la capa superior de este por acción del viento y el agua. Algunos procesos como el trabajo agrícola promueven la realización de excavaciones en el suelo y la remoción de la vegetación ocasionando problemas ambientales, agravando este problema (Duque & Escobar, 2016).

Según registros del Ministerio de Agricultura y del Ministerio del Ambiente, los procesos de degradación están presentes en el 50% de los suelos del país, la degradación de los suelos ha provocado pérdidas del 7,6% de la producción agrícola total (FAO, 2018). En el Ecuador los factores primordiales para el cambio de uso de la tierra y sus efectos sobre el Cambio Climático son: la deforestación, la urbanización y construcción y la ganadería (Ministerio del Ambiente (MAE), 2015).

Las pérdidas de tierra fértil por la erosión del suelo han ido en constante aumento como consecuencia de las prácticas agrícolas convencionales basadas en la labranza extensiva y

en la remoción y quema de cultivos. En el mundo se cree que aproximadamente el 80% de la tierra agrícola presenta erosión moderada a severa (Diaz Mendoza, 2011). Las prácticas deficientes en el manejo del suelo por parte de los agricultores generan un aumento en los costos de producción y en el uso de insumos como fertilizantes (Verhulst et al., 2015). La expansión de monocultivos además del uso de fertilizantes, plaguicidas y el constante crecimiento de cultivos tradicionales como café, cacao, banano y no tradicionales como flores ponen en riesgo la Seguridad Alimentaria. Este modelo de producción erosiona el suelo al no rotar los cultivos entre la porción de terreno. Además, se destinan recursos importantes como sistemas de riego y extensión de tierra mayormente a cultivos de exportación (MAE, 2012; Mena-Vásconez et al., 2016). En la Sierra centro, las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi poseen zonas gravemente afectadas por los procesos de erosión y desertificación de los suelos. Se estima que el 49% de las tierras se encuentran en degradación y un 22% pasan por un proceso de desertificación, haciendo a estas poblaciones aún más vulnerables al Cambio Climático. La producción agrícola de estas zonas abastece a los pobladores por lo que este problema quebranta a la Seguridad Alimentaria (Muñoz, 2019; Alarcón, 2018).

Según evaluaciones realizadas en el año 2015 por el Instituto Espacial Ecuatoriano, alrededor de 6.817.829 de hectáreas de superficie estaban cubiertas con algún tipo de cultivo agrícola o forestal, estas se repartían de la siguiente manera según lo observado en la Tabla 2 (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019):

Tabla 2. Cobertura del suelo a nivel nacional, 2015.

Pastizales	Pasto cultivado, pasto con presencia de árboles y pasto de corte	3.782.336,24
Cultivos	Café, cacao, maíz duro, plátano, yuca, caña de azúcar artesanal, maíz suave, papa, naranja, mora, palma africana, arroz, orito, trigo, pitahaya, condimentos, maracuyá, abacá, haba, cebolla, achiote, acelga, achira, aguacate, ají, achogcha, quinua, pepinos frutales, flores, cítricos, otros de ciclo corto	2.689.487,28
Plantación forestal	Ciprés, eucalipto, pino, roble, teca	188.689,14

Mosaico Agropecuario	Misceláneo de frutales, hortalizas, flores, plantas aromáticas y cereales	111.516,48
Tierras agrícolas	Barbecho y tierras agrícolas en descanso	45.800,04
TOTAL		6.817.829,18

Fuente: (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019)

1.1.2.3 Variación de la Temperatura y aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

De acuerdo con el IV Informe de Evaluación del IPPC (2007), por década, en los próximos 100 años, la media mundial de temperatura subirá 0,2°C a causa de los gases de efecto invernadero. Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) se generan de manera natural en el planeta, pero están relacionados con actividades antrópicas como la quema de combustibles y la deforestación (Benavides & León, 2007). Las predicciones de clima futuro elaboradas en el marco de la III Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Ecuador exponen que para el país el cambio de temperatura sería de un aumento de 2°C aproximadamente hasta fin de siglo (MAE, 2019).

Según Logroño et al. (2011), en esta década las provincias de la Sierra con mayor incremento de temperatura han sido Tungurahua +3,07°C y Chimborazo +3,13°C. De acuerdo al estudio realizado por Calles (2015), en Tungurahua, la temperatura promedio anual en los páramos de la provincia es de 6,05 °C, sin embargo, para el año 2050 se estima un aumento de 1,82°C y para el 2070 se llegaría a un incremento de 2,53°C en relación con la temperatura actual (6,05°C), sobrepasando la recomendación de los expertos de llegar a un aumento máximo de 2°C a finales del siglo.

En el Ecuador de acuerdo con la Figura 2 hasta el año 2012 los principales sectores que emiten GEI son la agricultura, el cambio de uso del suelo y silvicultura y el sector de la energía. El sector de la agricultura representa la mayor fuente de emisiones de GEI, según datos del Ministerio de Ambiente de aproximadamente 159 millones de toneladas de carbono equivalente (CO₂-eq) en 1990 se incrementó a 210 millones de toneladas de CO₂-eq en 2006, un aumento del 24% en 16 años, a un promedio por año de un 1,5% (MAE, 2012).

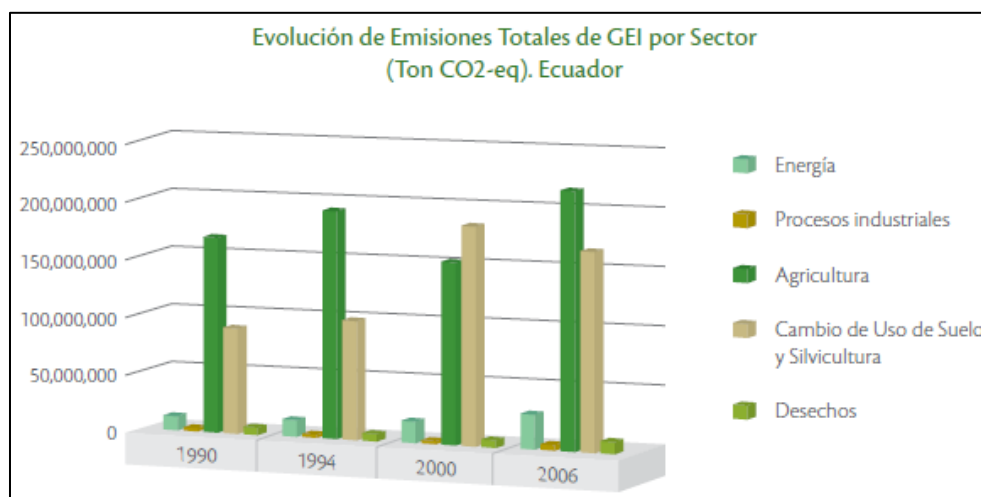


Figura 2. Aporte sectorial de emisiones de GEI en Ecuador, en Ton CO2-eq.
Fuente: (Ministerio del Ambiente (MAE), 2012)

En el año 2017 la situación cambia, y el sector con mayor emisión de GEI en el Ecuador es el sector energético concretamente el sector del transporte representando el 45% total de emisiones, seguido por el sector de la energía para industrias y el cambio de uso de suelo (deforestación y expansión de la frontera agrícola) (Alarcón, 2017). La variación de la temperatura en el Ecuador ha ocasionado impactos directos en la agricultura afectando los rendimientos de los cultivos y los ciclos de crecimiento de las especies agrícolas (Jiménez et al., 2012).

Otro efecto que provoca el aumento de la temperatura y de los GEI, que tiene relación directa con la escases de agua en el país, es la afectación a los nevados que en los últimos 30 años se han perdido en un 40%. El Ecuador ante esta problemática, a pesar de aportar menos del 1% de las emisiones globales de GEI ha propuesto crear políticas y proyectos que apoyen a los acuerdos internacionales de limitar el aumento de las temperaturas a un 1,5°C para el año 2100 (Andrade, 2017).

1.1.2.4 Escasez de Agua

Según Magrin (2015), la disponibilidad y la calidad del agua también pueden limitar las acciones de adaptación en la agricultura y comprometer la Seguridad Alimentaria. El

Antisana, el Cayambe, los Ilinizas, el Cotopaxi, el Chimborazo, El Altar y el Carihuayrazo son los siete nevados que posee el país. Actualmente, la cobertura del hielo es de aproximadamente 43,5 km² a diferencia de los 97,2 km² que existían en 1990. Las cifras muestran que el Carihuayrazo ha perdido el 96% de su cobertura de hielo y se proyecta que en alrededor de cinco años podría desaparecer (Alarcón, 2020). Los glaciares del Cotopaxi han tenido una reducción de superficie de aproximadamente 52% entre 1976 y 2016. Los glaciares del volcán Chimborazo han tenido un retroceso de superficie del 72% entre 1962 y 2016 (Portilla, 2018). Las provincias de Tungurahua y Chimborazo poseen importantes vertientes originadas de los deshielos del volcán Chimborazo, su disminución afecta importantemente el suministro de agua (Bustamante, 2017).

En el Ecuador el 20% de la zona agropecuaria dispone de riego (989.637,67 ha) (INEC, 2016b). Ocho de cada diez litros de agua disponibles son suministrados para los sistemas de riego que se usan para una tercera parte de los cultivos que existen en el país. El 20% sobrante es usado para la agroindustria, el consumo humano y procesos ambientales (Ramos, 2020). De acuerdo con el estudio realizado por Monteros (2016a), en las provincias de Pichincha y Cotopaxi el 50% de productores han declarado la falta de agua como el problema que más afecta a la agricultura, como consecuencia estas provincias presentaron bajos rendimientos en los cultivos. Datos del Plan Nacional de la Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas del Ecuador (2016), indican que las sequías intensas han llegado a afectar el área agrícola en 2.03 millones de ha, que componen el 66,7% del área agrícola total del país. La zona de pastos cultivados dañada por la sequía alcanzó los 2.10 millones de ha, es decir el 53,7% de la superficie total de pastos.

Para la simulación de escenarios climáticos se utilizará el escenario de la reducción del caudal disponible de agua para los cultivos ya que en el sector de la agricultura se usa el agua de manera irresponsable por encima de los recursos hídricos disponibles alterando el régimen de las fuentes hídricas (Chávez-Jiménez & González-Zeas, 2015). Por lo que se necesita establecer a largo plazo como afectaría la falta de este recurso en la producción de los cultivos de la provincia de Tungurahua y determinar de manera detallada cuanta demanda de agua se necesitará hasta el año 2050.

1.1.2.5 Variación de Lluvias

Los sucesos hidro-meteorológicos extremos incluye el apareamiento de lluvias intensas capaces de provocar inundaciones, así como ciclos de ausencia de lluvias, que pueden generar sequías prolongadas (MAE, 2015). En el Ecuador los siguientes datos muestran el comportamiento histórico de la variación de lluvias para el período de referencia 1960 – 2015, en la región Costa se observa un incremento del 33% de la lluvia. En la Sierra un aumento del 13% de la precipitación. En la Amazonía, se evidencia una reducción de la precipitación de 1% y para la región insular (San Cristóbal) se evidencia un incremento del 66% en la precipitación (MAE, 2019). En la región de la Sierra la precipitación media anual alcanza valores máximos de 1500 mm de lluvia a 3000 m de altitud, mientras que en la Costa y el Oriente los valores de precipitación alcanzan hasta los 4700 mm (Portilla, 2018).

Los agricultores han tenido que ajustar la producción de sus cultivos a las irregularidades de lluvia. Sin embargo, estos presentan inconformidad ya que estiman que su única elección real es apostar con la naturaleza (ver Tabla 1). Desde su perspectiva llueve menos que antes y cuando llueve son lluvias intensas, que no son favorables para su producción debido a que suele existir inundaciones.

Además se identifican tierras dedicadas al cultivo por secano que son aprovechadas por pequeños agricultores para autoconsumo y provisión de alimentos a las ciudades (MAE, 2013), este tipo de agricultura sentiría un mayor impacto a los cambios de la lluvia al depender exclusivamente de ella.

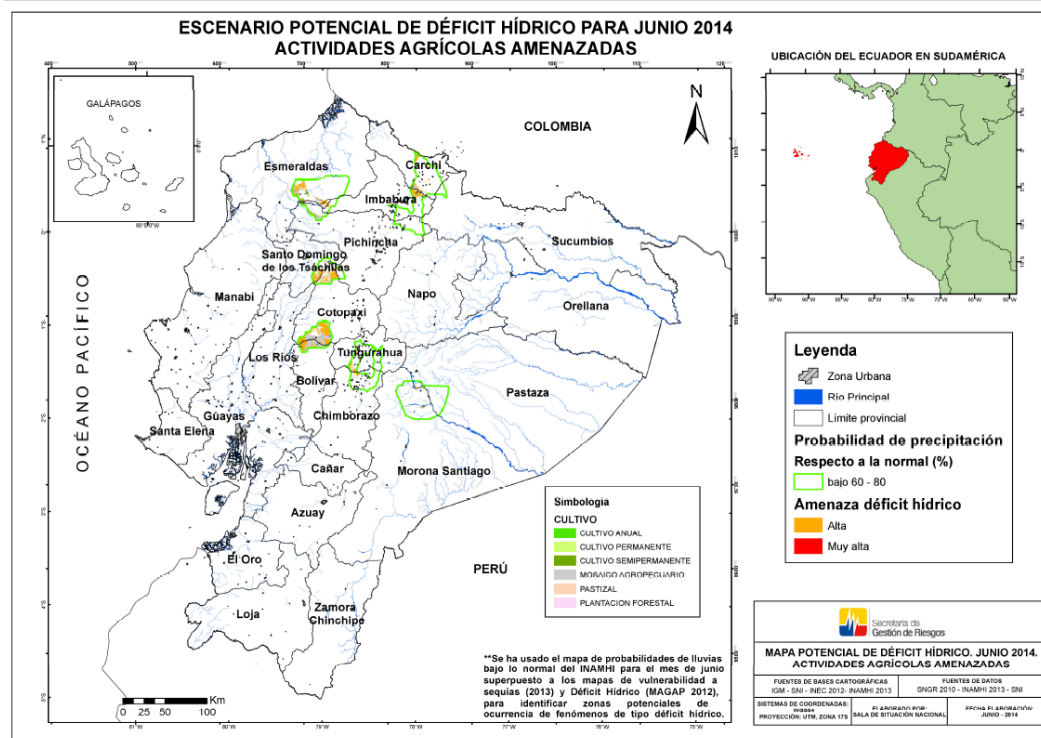


Figura 3. Escenario potencial de cultivos amenazados por déficit hídrico para junio del 2014.
Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014)

La Figura 3 presenta el mapa creado por la Secretaría de Gestión de Riesgos (2014), donde se observa las zonas con potencial déficit hídrico destacando la provincia de Tungurahua, esta situación empeora cuando los caudales disminuyen su corriente, los principales motivos de este problema son el pastoreo, el incremento de la frontera agrícola y la deforestación. Según Calles (2015), los escenarios de lluvia futuros para la provincia Tungurahua establecen que las precipitaciones en los páramos disminuirán aproximadamente 10% en el año 2050 y 7% en el año 2070 en comparación con los escenarios actuales (promedio anual de precipitaciones de 940 mm). En Tungurahua los principales cultivos (tomate, cebolla, trigo, maíz, cebada, papa, pera, manzana y durazno) requieren de 800 a 1200 mm de agua sin embargo, existe un déficit hídrico de 200 a 600 mm anuales que deben ser cubiertos con los sistemas de riego (Naranjo, 2014) para evitar la pérdida de las cosechas y el riesgo de inseguridad alimentaria.

Con todos los antecedentes presentados sobre el Cambio Climático en el Ecuador y sus posibles consecuencias en la producción agrícola y el impacto que tendría sobre las poblaciones que dependen de la agricultura, es necesario tener un concepto claro sobre su posible repercusión en la Seguridad Alimentaria.

1.1.3 Seguridad Alimentaria

La Seguridad Alimentaria existe cuando pilares tales como acceso, disponibilidad, utilización y consumo de alimentos están presentes en la población y deben ser suficientes en todo momento para satisfacer las necesidades nutritivas y calóricas necesarias para llevar una vida sana (Friedrich, 2014; WFP, 2016). Para tener acceso a la Seguridad Alimentaria, se deben crear políticas sólidas que protejan y enfrenten los problemas de inseguridad alimentaria de los comerciantes, minoristas y consumidores locales de alimentos (Tadesse, 2012). Por otra parte, los países deben revalorizar los recursos agrícolas nativos, algunos cultivos con autosuficiencia tienen el potencial de disminuir problemas de Seguridad Alimentaria (Martinez, 2017). A nivel mundial, las proyecciones a futuro para el año 2050 indican que la producción agrícola tendrá que extenderse en un 60% para cubrir el aumento de la demanda de alimentos y conseguir la Seguridad Alimentaria (Lipper et al., 2014).

En Ecuador, el principal riesgo contra la Seguridad Alimentaria es el difícil acceso de los hogares a la canasta básica (Calero, 2011), otros factores que limitan la calidad y disponibilidad de los alimentos en el país son el bajo ingreso y la baja productividad agrícola, la ausencia de mercados y la industrialización de cultivos (Eche, 2019). En los países de economía en desarrollo como es el caso de Ecuador, la agricultura representa la principal fuente de ingresos de las personas más pobres (Stevens & Madani, 2016). Los pequeños agricultores se ven afectados por limitados recursos como áreas de terreno mínimas, trabajo dependiente de los miembros del hogar y falta de educación, capacitación y financiamiento para la adquisición de nuevas tecnologías (Niles & Brown, 2017). Estos antecedentes generan incertidumbre al momento de enfrentar la inseguridad

alimentaria debido a que cada vez son más los agricultores que buscan nuevas formas de subsistencia con mayor remuneración.

El Cambio Climático en Ecuador influye directamente en la Seguridad Alimentaria, los impactos potenciales del cambio del clima en los sistemas de producción agrícola generarían pobreza rural, migración campo-ciudad, poca disponibilidad de alimentos, disminución de la producción, ausencia de mercados y volatilidad de precios. Para disminuir los riesgos de la inseguridad alimentaria en el país la FAO ha estado impulsando la producción suficiente de alimentos saludables y el fácil acceso a mercados alternativos donde se pueda compensar la demanda nacional de producción (FAO & MREMH, 2017).

1.1.3.1 Pobreza rural y migración campo-ciudad

Andrade & Ayaviri (2017), plantean que el Cambio Climático es un tema importante cuando se habla de pobreza pues los espacios que se destinan para la producción agrícola en su mayoría se encuentran en zonas rurales, las cuales tienen mayor riesgo y fragilidad ante efectos del Cambio Climático (Toulkeridis et al., 2020a). La pobreza y la Seguridad Alimentaria están relacionados entre sí porque las personas que tienen bajos ingresos no pueden acceder a los alimentos de primera necesidad, alimentos que cuenten con el número de calorías mínimas necesarias para una buena salud (Ayaviri-Nina et al., 2016).

La agricultura es un eje importante para el crecimiento económico del país y se caracteriza por ser agricultura a pequeña escala y familiar, este sector en su gran mayoría se encuentra en condiciones de pobreza. Como menciona Eche (2019), el aumento de los fenómenos naturales a causa del calentamiento global amenaza a este sector en condición de vulnerabilidad a la escasez de alimentos y a un alto grado de pobreza.

Según Andrade & Ayaviri (2017), el cantón Guano es un ejemplo de cómo ha disminuido la actividad agrícola y ha aumentado los casos de migración campo-ciudad, tierras de uso agrícola se han deteriorado lo que ha causado disminución en la producción de varios cultivos como la papa. Para poder frenar el grado de pobreza y evitar la migración campo-

ciudad es necesario la creación y la aplicación de políticas que ayuden a este sector en el tema de la Seguridad Alimentaria (FAO, 2011).

1.1.3.2 Disponibilidad de Alimentos

Uno de los pilares de la Seguridad Alimentaria es la disponibilidad de alimentos que se define como la cantidad y variedad de productos alimenticios que tiene el país y está estrechamente relacionado con la producción, cadenas de distribución, exportación, importación y conservación de alimentos (FAO, 2017). La disponibilidad de alimentos en las zonas rurales se basa en la producción para abastecer el consumo por lo que la agricultura es un pilar fundamental, la población depende directamente de esta para conseguir alimentos (Pedraza, 2005).

Una de las dificultades para disponer de productos alimenticios es la ubicación de los hogares, especialmente de las familias que se encuentran en sectores remotos, que al encontrarse lejos de centros de comercio y de distribución de alimentos son propensos a sufrir de desnutrición afectando directamente a la Seguridad Alimentaria (Marroquín, 2017).

Según Carlosama (2020), la disponibilidad de alimentos está sustentada en tres aspectos: suficiente, autosuficiente y estable. En estos aspectos el estado Ecuatoriano ha hecho una gran inversión al sector agropecuario, sin embargo, la mayor parte de esta inversión fue destinada a monocultivos de exportación (Salmoral et al., 2018). Los fenómenos naturales que ocurren ocasionan pérdidas de cosechas y a su vez causan un desabastecimiento de productos alimenticios (Aulestia-Guerrero & Capa-Mora, 2020). La diversidad de climas en Ecuador permite producir un sin número de productos agrícolas que disminuyen la inseguridad alimentaria, sin embargo la producción de alimentos está tomando el camino agroindustrial que afecta a la disponibilidad de alimentos frescos para el consumo local de la población (Herforth & Ahmed, 2015).

En Ecuador la población de la Sierra-rural es la que mayor dificultad presenta al momento de adquirir alimentos, siendo esta zona la que mayor desnutrición crónica muestra a nivel

nacional. En la Figura 4 se observa el mapa de hogares en situación de inseguridad alimentaria a Ecuador, se determina que la mayoría de las provincias de la Sierra, a excepción de Azuay y Pichincha, presentan problemas de Seguridad Alimentaria con un valor mayor a 10,4 %, en la Costa solo las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro se localizan por debajo del 8,7% y en el Oriente todas las provincias presentan inseguridad alimentaria con un valor mayor de 24% (Calero, 2011), esto se debe principalmente a la lejanía y el difícil acceso a las provincias de la Amazonía.

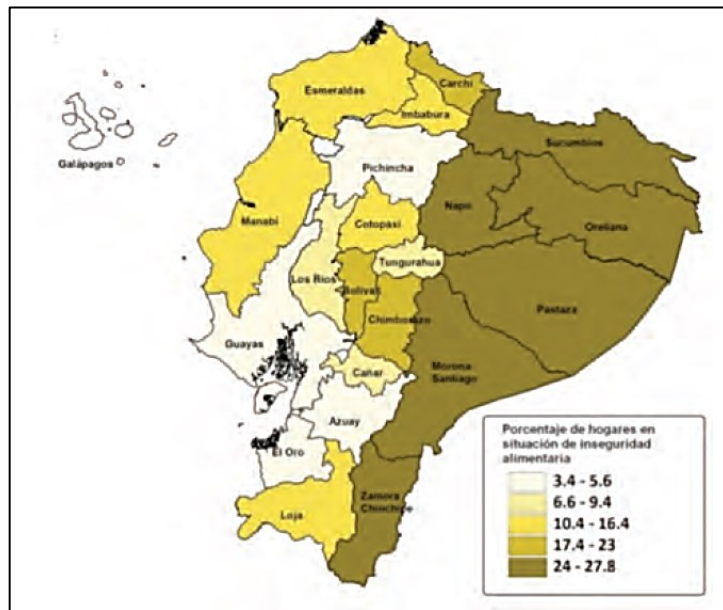


Figura 4. Mapa de hogares en situación de inseguridad alimentaria a nivel nacional Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) 2005-2006.
Fuente: (Calero, 2011)

1.1.3.3 Disminución de Producción

El crecimiento poblacional será un factor importante para la producción agrícola y tendrá que ajustarse a las variables climáticas (plagas y enfermedades en los cultivos, incremento de la temperatura, escases de agua y variación de lluvias) para evitar la disminución de la producción y que a la larga se convierta en un problema de Seguridad Alimentaria (Skarbø & VanderMolen, 2016). Por ello los agricultores deben ser capacitados sobre la

producción de sus cultivos contado con herramientas que les permitan mitigar los efectos del Cambio Climático (Monteros Guerrero, 2016). Según Andrade & Ayaviri (2017), la Seguridad Alimentaria en Ecuador no es un problema basado en la disminución de la producción agrícola, pues existen puntos de comercialización donde la población puede acceder fácilmente a los alimentos en todos los periodos del año, sin embargo, la falta de competitividad del sector agropecuario es un tema de preocupación debido a que crea falta de empleo y de diversidad de cultivos. En el periodo de 1993-2003 se registra una disminución de la producción de cultivos, el área cosechada tuvo un déficit de crecimiento de unas 330.000 ha como consecuencia del abandono de tierras poco fértiles. Así mismo, la disminución del área cultivada no fue remediada para elevar la producción de los alimentos creando vulnerabilidad ante de la Seguridad Alimentaria (Grupo Interagencial de Desarrollo Rural & Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, 2004).

La agricultura contribuye con el 8% a la producción anual total del Ecuador, este sector es un generador de empleos especialmente en las zonas rurales donde ha creado más de 2,2 millones de trabajos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019), por lo que la disminución de la producción agrícola provocaría desempleo y pobreza.

En Ecuador los cultivos autosuficientes se ven afectados ya que el pequeño agricultor en su interés por tener mejores ingresos opta por sembrar un solo cultivo (monocultivos), dejando un lado los multi-cultivos creando falta de variedad en la producción agrícola (Rosero et al., 2010). En la Sierra la producción agrícola está sumamente diversificada, en esta zona destacan los cultivos de subsistencia con maíz suave, cebada, papa, haba y frijoles. En los páramos donde se originan fuentes de agua (aproximadamente 600.000 ha) el pastoreo ocupa gran territorio y se prioriza también la siembra de cultivos, generando daño a los ecosistemas y poniendo en peligro la disponibilidad de agua para estas zonas (FAO & CAF, 2007).

En el año 2019 el aumento o disminución de la producción dependió del tipo de cultivo cosechado, por ejemplo, en la cebolla colorada y en el tomate se registró un porcentaje creciente de producción a comparación del frejol y el maíz suave que registraron un decrecimiento, el maíz duro y el arroz presentaron una caída en cifras en este periodo. La

baja producción pudo haber sido ocasionada por el invierno prolongado de ese año donde la humedad y el exceso de agua favorecieron en la aparición de enfermedades y plagas de los cultivos afectando su rendimiento (Banco Central del Ecuador, 2019).

1.1.3.4 Sistemas agroalimentarios

El sistema agroalimentario es definido como “un conjunto de relaciones socioeconómicas y técnico productivas que inciden directamente en los procesos de producción primaria, transformación agroindustrial, acopio, distribución, comercialización y consumo de los productos alimentarios” (León, 2018).

Los sistemas agroalimentarios a más de ser afectados por el Cambio Climático, las estructuras agrarias desiguales e inequitativas también ponen en riesgo la Seguridad Alimentaria (FLACSO, 2006). Es por ello que se necesita regular los tamaños de las Unidades de Producción Agrícola (UPA) destinadas a alimentos de consumo interno, así como la correcta segmentación de cultivos para la eficiencia del suelo y para la obtención de un sistema agroalimentario capaz de alimentar en todo el territorio a la población. El 64% de la producción agrícola del Ecuador depende de los pequeños agricultores y de la agricultura familiar campesina proviene el 60% de los alimentos que se consumen (Recalt & Valony, 2018). En la región de la Sierra el ingreso económico proveniente de la agricultura es de USD 171,89 en un área promedio de 0,3 ha (Eche, 2019).

1.1.3.5 Volatilidad de precios

La vulnerabilidad de la Seguridad Alimentaria está dada por la cantidad de producción de cultivos a nivel mundial dependiendo del Cambio Climático, en lugares donde la tierra es menos productiva en consecuencia a la variación del clima, los agricultores producen en mínimas cantidades, generando bajos rendimientos, escasos de alimentos e incremento de los precios (Mendelsohn & Wang, 2017). La predisposición al aumento de los precios de

los alimentos crea grandes desafíos a las personas que viven en pobreza debido a que gran parte de sus ingresos lo gastan en la adquisición de alimentos (Tadesse, 2012).

La productividad agrícola es amenazada por el Cambio Climático a nivel mundial, lo que desencadena en un incremento de los precios de los alimentos por la disminución significativa de las cosechas (Stevanovi et al., 2016). Pero también existe otro problema que es la sobreproducción de ciertos cultivos (papa, caña de azúcar, arroz) donde influyen factores como la oferta y la demanda y el clima. Según Marroquín (2017), la sobreproducción en Ecuador es un causante de la volatilidad de precios porque afecta a distintos productos por temporadas que obliga al estado a intervenir, evitando el desplome de precios que afectan a productores impidiendo así un problema aún mayor. Por ello la FAO (2017), sugiere medidas para que se contenga la inestabilidad de precios agrícolas y alimentos para que no se convierta en un conflicto y más bien ayuden a los agricultores en eventos de Cambios Climáticos.

1.1.4 Modelos de simulación agrícola

Un modelo es la representación de un método o un esquema en forma matemática de un sistema para mejorarlo u optimizarlo, con sus respectivas limitaciones. La simulación en la agricultura permite conocer la relación entre el clima y la producción para la toma de decisiones a futuro basada en estos análisis (ICCA, 2015). Los modelos de simulación en la agricultura surgen como una opción para investigar, planificar y predecir el comportamiento de sistemas de producción dependiendo de sus características o manejo y los factores externos (Martínez et al., 2011). Los modelos de simulación agrícola principalmente predicen el desarrollo, rendimiento y evolución de los cultivos agrícolas (Gálvez et al., 2010).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Determinar escenarios de la producción de alimentos frente al Cambio Climático en la Provincia de Tungurahua tomando como muestra los cultivos de maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), mora (*Rubus ulmifolius*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los niveles de producción de mora (*Rubus ulmifolius*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), maíz (*Zea mays*), y papa (*Solanum tuberosum*) en la provincia de Tungurahua.
- Diseñar el modelo de rendimiento agrícola con Escenarios de Cambio Climático empleando modelos de optimización matemática.
- Simular escenarios de variación de los rendimientos de producción agrícola en base a variables de Cambio Climático.
- Asociar los escenarios futuros de variación climática en la provincia de Tungurahua, con los cambios en el sistema agroalimentario, bajo indicadores de Seguridad Alimentaria.

1.3 Señalamiento de variables

1.3.1 Variables Independientes

- Tierra
- Disponibilidad de agua
- Mano de obra
- Variación climática

1.3.2 Variable Dependiente

- Producción

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Para este capítulo se determinó el uso del paradigma positivista, el mismo que analiza el estudio de una realidad observable, medible y cuantificable con las técnicas, instrumentos y procedimientos para ello. El estudio cuantifica fenómenos climáticos en la agricultura del país, para esto se ha tomado información de bases de datos que serán analizadas bajo modelos matemáticos con el uso del programa GAMS IDE, como principal herramienta y se contará con el apoyo de los programas CLIMWAT y CROPWAT, con lo cual se procederá a explicar y predecir como el Cambio Climático desde ya afecta a la producción agrícola.

El desarrollo de este estudio se basa en el método deductivo, debido a que se determinó los efectos más importantes que tiene el Cambio Climático en el Ecuador sobre la producción agrícola de los cantones Mocha, Píllaro y Tisaleo, además se aplicó el método mixto para un análisis cualitativo y cuantitativo, dado que se recopiló, analizó e integró datos de los dos tipos (Creswell, 2007).

2.1 Recolección de la Información

La información cualitativa fue recopilada de una base datos validada y se fundamenta en encuestas realizadas a 202 agricultores de las zonas de interés Píllaro, Mocha y Tisaleo de la provincia de Tungurahua en 2019. La información de la base de datos indica variables que fueron consideradas de tipo social y económico, cantidad de tierra que posee, acceso a agua de riego, percepción ante el cambio climático. Los datos cuantitativos como rendimiento y producción de los cultivos de mora, maíz, papa y tomate de árbol fueron compartidos por técnicos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) de la provincia de Tungurahua, datos de precipitación de lluvias fueron extraídos de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

2.2 Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio de la presente investigación comprende la Provincia de Tungurahua, según la Dirección de Planificación (2019), la proyección el número de habitantes para el 2020 se calculó en 590.600 de los cuales el 59,1% se encuentran en zona rural y el 40,9% en zona urbana, es una provincia que, del total de habitantes, 88.424 tienen como principal actividad la agricultura y ganadería lo que representa 27,61% de la Población Económicamente Activa (PEA). En los cantones Píllaro, Mocha y Tisaleo la principal actividad económica de cada cantón es la agricultura (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2017).

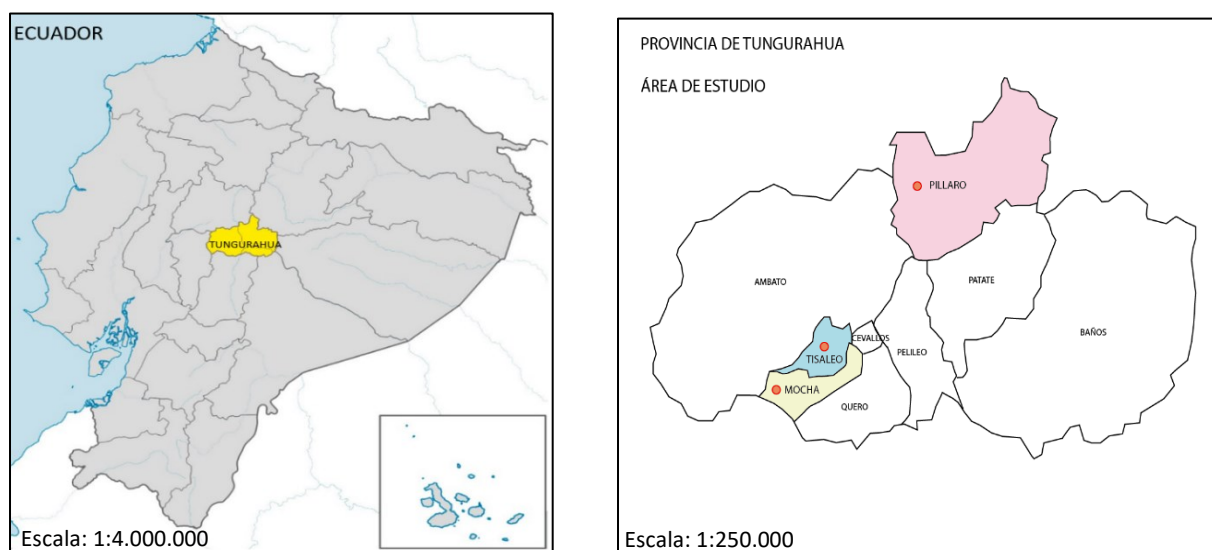


Figura 5. Ubicación de la zona de estudio en Ecuador y los cantones de Píllaro, Tisaleo y Mocha en la provincia de Tungurahua.

Fuente: Elaboración propia

2.3 Tratamiento de la Información

La investigación se encarga de determinar los escenarios de producción frente al Cambio Climático en los cultivos de maíz, mora papa y tomate de árbol en la provincia de Tungurahua en los próximos 30 años.

Se trabajó con información de encuestas realizadas a agricultores para analizar la percepción que tienen ante el Cambio Climático y tener un panorama más claro de como ellos pueden y están enfrentando estos efectos negativos. Para mermar el peligro de Seguridad Alimentaria y la reducción de producción en estos cultivos en unos años, se realizó un análisis probabilístico con la ayuda del programa Statistical Product and Service Solutions (SPSS). Adicionalmente se aplicó un método no experimental a partir del diseño y desarrollo de modelos matemáticos, se manipuló variables de manera predeterminada para identificar el efecto que tiene una sobre la otra.

2.3.1 Análisis de datos en SPSS (Statistical Product and Service Solutions)

SPSS (Statistical Product and Service Solutions) es un software de fácil manejo utilizado para el tratamiento de datos y análisis estadísticos y para la realización de tablas y gráficos (Moreno, 2008), el programa posee una interfaz que es capaz de trabajar con bases de datos de más de 30000 variables (Abuin, 2014).

Para el presente estudio se usó el programa para determinar el análisis cuantitativo utilizando las Correlaciones de Variables para identificar como las respuestas de los agricultores se relacionan, si es positiva o negativa indicando relación directa o inversamente proporcional. El Análisis de varianza un Factor se aplicó para determinar las variables más significativas entre la percepción de los agricultores ante el cambio climático con la producción y se determinó el Alfa de Cronbach de las encuestas utilizadas presentado en la siguiente tabla:

Tabla 3. Estadísticos de Fiabilidad.

Alfa de Cronbach	Nro elementos
0,903	12

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3, el Alfa de Cronbach con un valor de 0,903 indico que existe confiabilidad entre preguntas que hicieron parte del estudio, el coeficiente de confiabilidad es un promedio de las correlaciones entre las preguntas, para ello se espera un valor entre 0,80 y 0,90 pese a que el valor mínimo que se puede aceptar es de 0,70.

2.3.2 CROPWAT 8.0

El programa CROPWAT se basa en el método de la FAO Penman-Monteith para establecer la evapotranspiración de los cultivos. Al obtener los valores de la evapotranspiración de los cultivos se evalúa el calendario de riego y los requerimientos de agua (Trezza, 2014). El programa es un instrumento de gran ayuda por las distintas evaluaciones y cálculos que realiza, además de ayudar en la integración de éstos (Ram & Alberto, 2011).

Los datos necesarios para el cálculo de diferentes valores que se usaron en el estudio se obtuvieron de la base de datos de la FAO, juntamente con la ayuda de mediciones meteorológicas anexadas en el programa complemento de este CLIMWAT.

2.3.3 CLIMWAT 2.0

CLIMWAT 2.0 para CROPWAT es una base de datos conjunta del Servicio de Gestión, Desarrollo y Recursos Hídricos y el Servicio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. De más de 5000 estaciones observadas en todo el mundo brinda datos agroclimáticos. CLIMWAT

2.0 se presenta en dos versiones, la primera contiene la base de datos mundial y la segunda ofrece bases de datos divididas por continente (Muñoz & Grieser, 2015).

Esta base de datos fue de ayuda en el cálculo de requerimiento de agua por cultivo, pues posee datos de toda Latinoamérica, del Ecuador se tomó datos de la zona de estudio como lo es la provincia de Tungurahua.

2.3.4 GAMS (General Algebraic Modeling System)

Es un software que permite resolver problemas de optimización implementando algoritmos matemáticos, el programa permite crear un lenguaje de modelización y escribir en un editor la formulación del modelo matemático del problema para aplicar una serie de programas de resolución llamados también “solvers” (Mocholí, 2015).

El uso del programa es bastante sencillo, ya que el lenguaje que usa GAMS es básico y sumamente simplificado, el informe de los resultados se muestra de manera clara, indica los resultados de las variables y ecuaciones en el modelo, muestra la comparación de los resultados conseguidos con los resultados anteriores, exponiendo un cambio que se puede detallar mejor en un informe hecho por el usuario (Tarapuez & Barrera, 2010).

Con todos los datos necesarios recopilados se procedió a diseñar el modelo de optimización matemática en la producción de cultivos, así como la simulación de escenarios de Cambio Climático a lo largo de 30 años.

2.4 Diseño del Modelo

El diseño del modelo se basa en la función de producción (Cobb & Douglas, 1928) y se fundamentó con el método simplex desarrollado por Dantzig et al. (1955), que es una herramienta principal de la programación lineal para la elaboración del diseño, donde se debe encontrar una matriz \tilde{X} generalizada que satisfaga a la ecuación:

Ecuación de Dantzig

$$P \bar{X} = \sum_0^n P_j \bar{x}_j = M$$

Donde:

P= matriz dada

P_j = vector de (m+1) componentes

M= matriz fija de rango (m+1) que consiste en (m+1) vectores de fila de componentes

\bar{x}_j (la j-ésima fila de x) = vector de filas de componentes que satisfagan las condiciones

$$\bar{x}_j \geq 0$$

\bar{x}_0 = max.

(Dantzig et al., 1955)

Función objetivo basada en Howitt, Hazell y Norton

La función objetivo que se usó para la presente investigación se basa en el modelo clásico desarrollado por Hazell & Norton (1987). En la cual se propone la función objetivo sujeta a restricciones de acuerdo con la disponibilidad de recursos. Así también, este modelo propone la inclusión de parámetros externos (disponibilidad de agua de riego) que pueden afectar los rendimientos de producción.

$$Max! = \sum_i^N a_{i,j} * X_i$$

Donde:

f_i = coeficiente

X_i = Son variables (números reales mayores o iguales a cero)

Además, la función objetivo se basa en la Programación Matemática Positiva (PMP). La misma que enfoca en la utilización de los cultivos del agricultor para generar modelos de auto calibración de uso y producción agrícola. El modelo propuesto por Howitt (1995), es el descrito a continuación:

$$Max! = \sum_i P_i (\beta_i - \delta_i \chi_i) \chi_i - \sum_{j=1}^3 \omega_j \alpha_{ij} \chi_i$$

Sujeta a

$$Ax \leq b \text{ y } x \geq 0$$

Donde

$\alpha_{i1=1} A = (m \times n)$ con elementos α_{ij}

x_i es la superficie de tierra asignada al cultivo i

ω_j es el costo por unidad de la j -ésima entrada

(β y δ) parámetros de rendimientos desconocidos intersección y pendiente de función del rendimiento marginal para el cultivo i .

2.5 Determinación del Modelo

La función objetivo adaptada (Castillo, 2020):

$$Max = \sum_i^N Rend * Xi - Cost$$

Donde:

Rend=Rendimiento

Xi = Precio

Cost= Costo

Restricciones

La función objetivo está sujeto a un conjunto de restricciones las cuales fueron tomadas y adaptadas del estudio de Castillo (2020):

- 1) **Restricción de tierra** donde x menor o igual a la disponibilidad de tierra.

$$\sum_i^N retierr * Xi \leq dt$$

(Castillo, 2020)

- 2) **Restricción mano de obra** donde el requerimiento de mano de obra por x es menor o igual a la disponibilidad de mano de obra

$$\sum_i^N remo * Xi \leq dmo$$

(Castillo, 2020)

- 3) **Restricción de agua** donde el requerimiento de agua por x es menor o igual a la disponibilidad de agua.

$$\sum_i^N reagua * Xi \leq dagua$$

(Castillo, 2020)

- 4) **Condición de no negatividad**

$$Xi \geq 0$$

(Castillo, 2020)

2.6 Operacionalización de las variables

El Cambio Climático ha contribuido negativamente en el agotamiento de recursos hídricos, la disminución de la zona agraria útil y la disminución de los rendimientos en

base a la fertilidad del suelo (INTA, 2012). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2011), los recursos de tierras y aguas son indispensables para el desarrollo de la agricultura por lo que la carencia de estos recursos naturales afectarían el sustento de las personas que habitan en las zonas rurales. Las variables del estudio fueron escogidas en base a la disponibilidad de recursos de los agricultores encuestados, la extensión de tierra, mano de obra, acceso a agua de riego y la intensidad de las lluvias.

Tabla 4. Análisis de las variables.

		Disponibilidad de tierra	Mano de obra	Disponibilidad de agua	Lluvia	Litros de leche
N	Válido	202	202	202	202	202
	Perdidos	1	1	1	1	1
Media		0,52	0,64	0,56	3,96	2,75
Error estándar de la media		0,08	0,08	0,04	0,08	0,42
Mediana		0,01	0,00	1,00	4,00	0,00
Moda		0	0	1	5	0
Desv. Desviación		1,16	1,14	0,50	1,13	5,97
Varianza		1,34	1,30	0,25	1,28	35,60
Mínimo		0,00	0	0	0	0
Máximo		7,00	6	1	5	36
Suma		104,69	129	114	799	555

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se observa el análisis de datos correspondiente a las variables escogidas para el estudio, en la variable de la disponibilidad de tierra se tiene una media de 0,52, la desviación estándar presenta un valor de 1,16 lo que indica una dispersión de datos significativa, en la moda el valor que más veces se repitió fue 0,00 hectáreas es decir que un gran número de agricultores no dispone de tierra propia.

En la variable de mano de obra, la pregunta de la encuesta fue el número de personas que trabajan con usted, de acuerdo a la media se tiene un valor de 0,64, la desviación estándar

presenta un valor de 1,14 con tendencia a variar por encima de 0,64, en la moda el valor que se presenta con mayor frecuencia es 0,00 lo que indica que los agricultores trabajan en su mayoría solos.

En la disponibilidad de agua de riego la pregunta fue si tiene o no acceso a este recurso, la media presenta un valor de 0,56, la desviación estándar con un valor de 0,50 indica que no existe una dispersión de datos considerables teniendo una respuesta intermedia, en la moda con un valor de 0,00 se identifica que en comparación a los agricultores que no disponen de agua de riego, no por mucho la mayoría de los ellos si tiene acceso a este recurso.

En la variable de la lluvia la pregunta fue sobre la notoriedad del Cambio del Clima en la zona específicamente en el comportamiento de la lluvia, en la media el promedio de los datos fue de 3,96, la desviación estándar de 1,13 indica que la mayor parte de los datos están agrupados cerca de la media, y la moda con un valor de 5 muestra que la mayoría de los agricultores han notado un cambio importante en el comportamiento de la lluvia como consecuencia del Cambio Climático.

En los litros de leche que producen los agricultores, el valor de la media fue de 2,75, la desviación estándar presenta un valor de 5,97, lo que quiere decir que existe una gran dispersión de los datos analizados ya que solo cierto número de agricultores poseían vacas para esta actividad, el valor que más se repitió en la moda fue 0,00, la mayor parte de los encuestados no se dedican a la producción de leche.

Tabla 5. Estadístico descriptivo rendimiento y producción de cultivos por cantón.

		Producción	
Mocha	Maíz	Mínimo	5000,00
		Máximo	200000,00
		Desviación estándar	58171,81
		Media	51431,82
	Mora	Mínimo	5000,00
		Máximo	125000,00
		Desviación estándar	44990,74
		Media	35833,33
	Papa	Mínimo	5000,00
		Máximo	320000,00
		Desviación estándar	83565,29
		Media	81310,81
	Tomate de Árbol	Mínimo	14000
		Máximo	270000
		Desviación estándar	65677,30
		Media	91108,11
Píllaro	Maíz	Mínimo	1530,00
		Máximo	810000,00
		Desviación estándar	119238,69
		Media	100188,82
	Mora	Mínimo	1530,00
		Máximo	810000,00
		Desviación estándar	122334,59
		Media	100150,57
	Papa	Mínimo	1530,00
		Máximo	810000,00
		Desviación estándar	118278,77
		Media	99986,51
	Tomate de Árbol	Mínimo	-
		Máximo	-
		Desviación estándar	-
		Media	-
Tisaleo	Maíz	Mínimo	7000,00
		Máximo	7000,00
		Desviación estándar	
		Media	7000,00
	Mora	Mínimo	4200,00
		Máximo	542500,00
		Desviación estándar	117437,75
		Media	96987,32
	Papa	Mínimo	4200,00
		Máximo	542500,00
		Desviación estándar	117076,36
		Media	97652,55
	Tomate de Árbol	Mínimo	-
		Máximo	-
		Desviación estándar	-
		Media	-

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 5 se observa el estadístico descriptivo de la variable producción de cada uno de los cultivos en cada cantón. Para el cantón Mocha se observa una desviación estándar en la producción de 45000 a 83000 en los cultivos de maíz, mora y papa lo que indica datos dispersos esto se debe a la variación de hectáreas de terreno que poseen los agricultores por ello algunos producen más que otros dependiendo de la extensión de tierra que posean.

De igual manera se observa en el cantón Píllaro valores muy dispersos, los valores de media para este cantón indican que la mayor producción de los cultivos es el de maíz. En el cantón Tisaleo, al tener un número limitado de datos sobre el maíz no existe desviación estándar que sea significativa lo que si ocurre para los demás cultivos como es la mora y la papa que poseen una desviación estándar muy variable lo que indica la gran dispersión de datos.

En el caso del cultivo de tomate de árbol como se puede observar en la Tabla 5 no se tiene una base de datos sobre este cultivo en los cantones Píllaro y Tisaleo pues la producción de este es nula o muy poca que no representa un valor a ser tomado en cuenta para el presente estudio.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de resultados

A partir de la base de datos tomada de las encuestas realizadas a los agricultores se elaboró histogramas para una mejor representación de las variables más destacadas para el estudio, como la disponibilidad de tierra, disponibilidad de agua, lluvia y litros de leche, adicional se elaboró un histograma representando la edad de los agricultores encuestados de los cantones Píllaro, Mocha y Tisaleo.

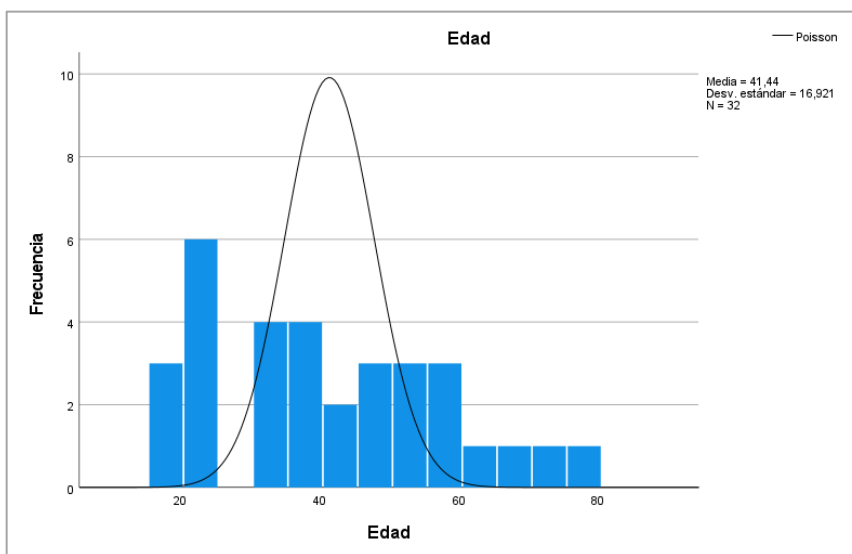


Figura 6. Edad de los agricultores
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 se observa que el promedio de edad de los agricultores encuestados fue de 41,44 años lo que indica que la población de mayor edad es la que principalmente se dedica a la agricultura, se presenta una desviación estándar de 16,91 con una dispersión de datos significativa debido a que la edad de las personas variaba desde los 22 años hasta los 88 años.

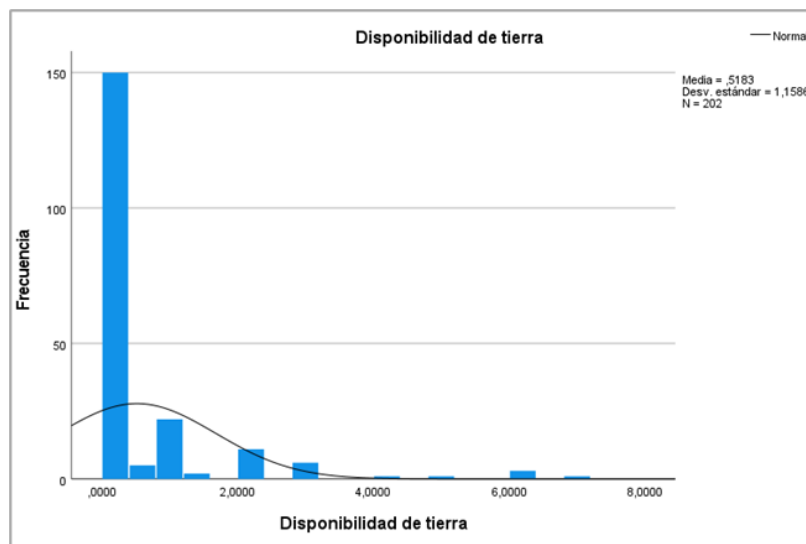


Figura 7. Disponibilidad de tierra
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7 se establece que la mayoría de los agricultores encuestados (142 personas) de los cantones Píllaro, Mocha y Tisaleo no disponen de hectareas de tierra propia, por lo que se entiende que un gran número de ellos trabajan como jornaleros en tierras ajenas, no poseen estabilidad al no contar con un espacio propio generando incertidumbre al momento de la siembra y cosecha.

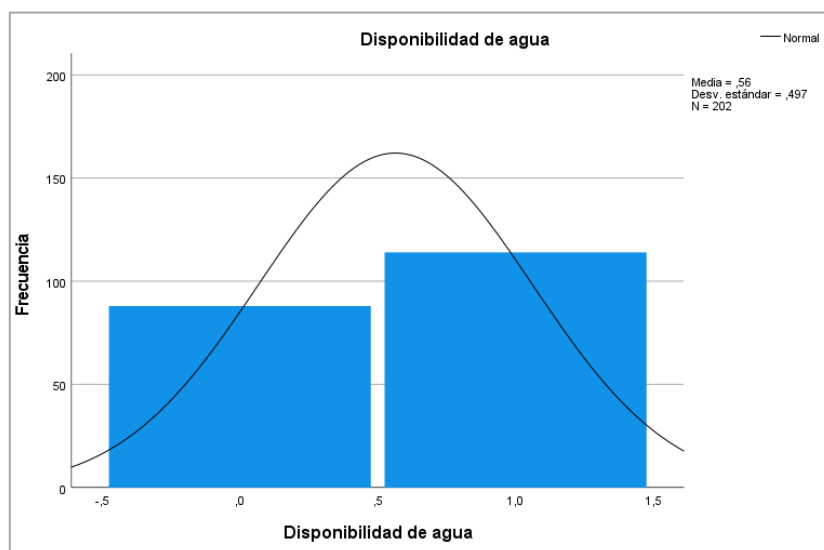


Figura 8. Disponibilidad de agua
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la disponibilidad de agua en la Figura 8 se observa una respuesta intermedia por parte de los 202 agricultores encuestados ya que 114, siendo la mayoría, sí disponen de agua de riego para sus cultivos, sin embargo, los otros 88 agricultores no cuentan con este importante recurso.

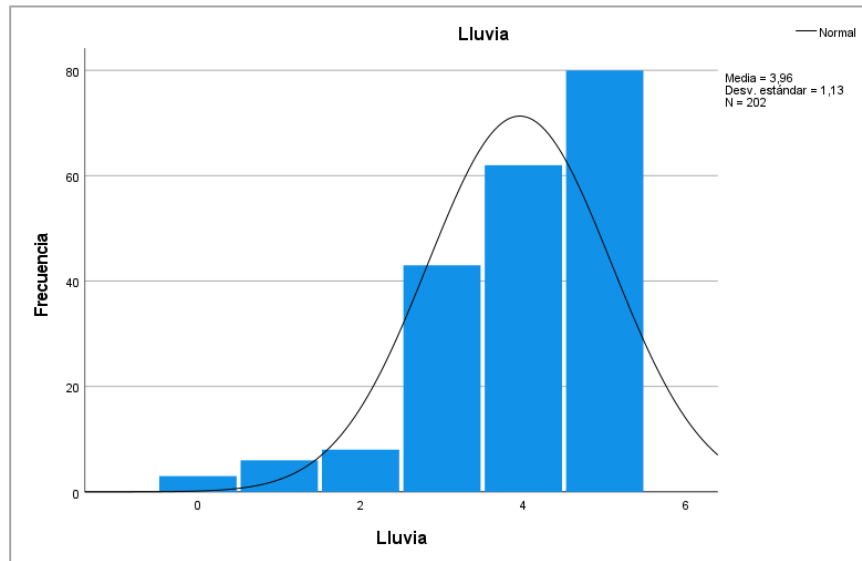


Figura 9. Comportamiento de la lluvia
Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 9 los agricultores consideran que el Cambio Climático ha sido bastante notorio en cuanto al comportamiento de las lluvias en los cantones de Píllaro, Mocha y Tisaleo, consideran que en los últimos años llueve de manera escasa pero intensa lo que ha estado afectando directamente a la producción de sus cultivos.

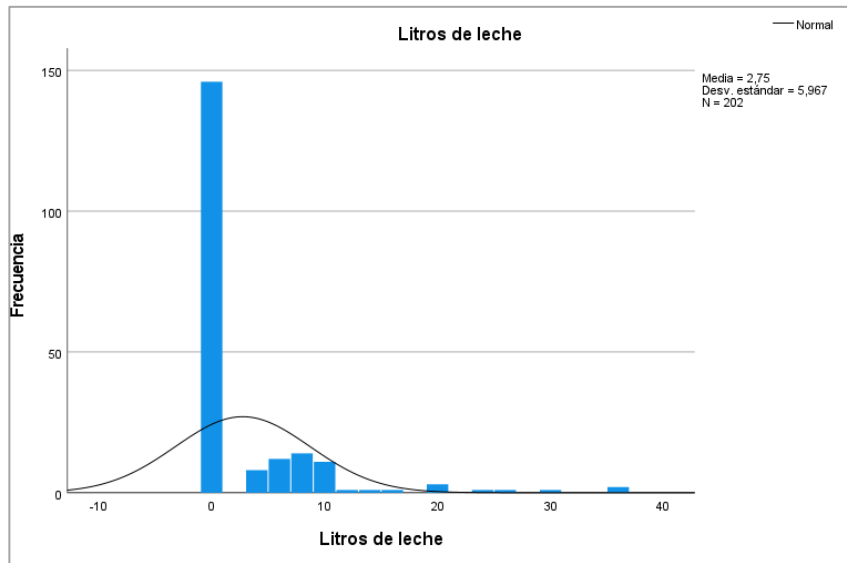


Figura 10. Cantidad de litros de leche
Fuente: Elaboración propia

En la variable sobre la cantidad de litros de leche que producen se observa en la Figura 10 que de los 202 agricultores encuestados 147 de ellos no se dedican a esta actividad sino al trabajo de la siembra y cosecha, 55 son los agricultores que poseen vacas para la producción de leche.

Tabla 6. Correlaciones de variables.

		1) Cree que el clima está cambiando	2) Aumento de temperatura	3) Rayos más fuertes	4) Lluvias más fuertes	5) Sequías Largas	6) Variación Climática	7) Cree que los cambios del clima afectan su producción	8) Disminución de Producción	9) Retraso de Cosecha	10) Pérdida de Cosecha	11) Frutos Pequeños	12) Nuevas Plagas
1) Cree que el clima está cambiando	Correlación de Pearson	1	,314**	,327**	,249**	,230**	,248**	,125	,164*	,114	,129	,182**	,081
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,001	,000	,076	,020	,105	,067	,010	,253
2) Aumento de temperatura	Correlación de Pearson	,314**	1	,683**	,541**	,623**	,683**	-,012	,587**	,549**	,531**	,493**	,423**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000	,000	,870	,000	,000	,000	,000	,000
3) Rayos más fuertes	Correlación de Pearson	,327**	,683**	1	,567**	,628**	,647**	,051	,591**	,475**	,568**	,488**	,478**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,000	,000	,472	,000	,000	,000	,000	,000
4) Lluvias más fuertes	Correlación de Pearson	,249**	,541**	,567**	1	,469**	,534**	,054	,349**	,403**	,487**	,419**	,469**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,000	,000	,446	,000	,000	,000	,000	,000
5) Sequías Largas	Correlación de Pearson	,230**	,623**	,628**	,469**	1	,768**	,037	,435**	,439**	,497**	,428**	,413**
	Sig. (bilateral)	,001	,000	,000	,000		,000	,602	,000	,000	,000	,000	,000

6) Variación Climática	Correlación de Pearson	,248**	,683**	,647**	,534**	,768**	1	-,038	,470**	,455**	,514**	,412**	,414**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000		,594	,000	,000	,000	,000	,000
7) Cree que los cambios del clima afectan su producción	Correlación de Pearson	,125	-,012	,051	,054	,037	-,038	1	,081	,053	,043	,053	,097
	Sig. (bilateral)	,076	,870	,472	,446	,602	,594		,254	,450	,541	,456	,171
8) Disminución de Producción	Correlación de Pearson	,164*	,587**	,591**	,349**	,435**	,470**	,081	1	,651**	,755**	,560**	,515**
	Sig. (bilateral)	,020	,000	,000	,000	,000	,000	,254		,000	,000	,000	,000
9)Retraso de Cosecha	Correlación de Pearson	,114	,549**	,475**	,403**	,439**	,455**	,053	,651**	1	,651**	,690**	,556**
	Sig. (bilateral)	,105	,000	,000	,000	,000	,000	,450	,000		,000	,000	,000
10)Perdida de Cosecha	Correlación de Pearson	,129	,531**	,568**	,487**	,497**	,514**	,043	,755**	,651**	1	,646**	,675**
	Sig. (bilateral)	,067	,000	,000	,000	,000	,000	,541	,000	,000		,000	,000
11)Frutos Pequeños	Correlación de Pearson	,182**	,493**	,488**	,419**	,428**	,412**	,053	,560**	,690**	,646**	1	,593**
	Sig. (bilateral)	,010	,000	,000	,000	,000	,000	,456	,000	,000	,000		,000
12)Nuevas Plagas	Correlación de Pearson	,081	,423**	,478**	,469**	,413**	,414**	,097	,515**	,556**	,675**	,593**	1
	Sig. (bilateral)	,253	,000	,000	,000	,000	,000	,171	,000	,000	,000	,000	

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se observan las distintas correlaciones que existen entre preguntas tomadas de una base de datos realizada a un total de 202 agricultores para analizar como perciben el Cambio Climático y como este afecta a la producción de diversos cultivos como: mora, papa, maíz y tomate de árbol en los cantones de Píllaro, Mocha y Tisaleo

El coeficiente de Pearson de la variable Cambio Climático (pregunta 1) con la variable Producción, tiene un valor de 0,125 lo que indica que la correlación es ínfima entre estos parámetros, sin embargo, el signo positivo indica que la variable Cambio Climático se relaciona directamente con la producción, es decir los agricultores notan que el Clima está cambiando, por lo tanto, la producción de sus cultivos se ve afectada.

El coeficiente de Pearson de la variable Aumento de la Temperatura (pregunta 2) con las variables, Rayos más fuertes, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Variación Climática, Retraso y Perdida Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,42 a 0,68 lo que indica que la relación es positiva débil y positiva media entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan el Aumento de Temperatura, por lo tanto la variación de los otros factores es evidente.

El coeficiente de Pearson de la variable Rayos más Fuertes (pregunta 3) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Variación Climática, Retraso y Perdida Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,56 a 0,68 lo que indica que la relación es media entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores perciben los Rayos más fuertes, por lo tanto la variación de los otros factores es un hecho.

El coeficiente de Pearson de la variable Lluvias más fuertes (pregunta 4) con las variables Aumento de Temperatura, Sequías largas, Variación Climática, Producción, Retraso y Perdida Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,40 a 0,57 lo que muestra que la relación es débil y media entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan las Lluvias más fuertes, por lo tanto, la variación de los otros factores es indudable.

El coeficiente de Pearson de la variable Sequías más largas (pregunta 5) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Variación Climática, Producción, Retraso y Perdida Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,23 a 0,77 lo que indica que la relación es escasa y fuerte entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan las Sequías más largas, por lo tanto la variación de los otros factores es notable.

El coeficiente de Pearson de la variable Variación Climática (pregunta 6) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Producción, Retraso y Perdida Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,41 a 0,77 lo que indica que la relación es media entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan los Variación Climática, por lo tanto la variación de los otros factores es evidente.

El coeficiente de Pearson de la variable Disminución de Producción (pregunta 8) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Retraso y Perdida Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,35 a 0,76 lo que indica que la relación es media y fuerte entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan la Disminución de Producción, por lo tanto la variación de los otros factores es indiscutible.

El coeficiente de Pearson de la variable Retraso de cosecha (pregunta 9) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Perdida de Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,40 a 0,69 lo que indica que la relación es moderada y buena entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan el Retraso en sus cosechas, por lo tanto la variación de los otros factores es evidente.

El coeficiente de Pearson de la variable Perdida de cosecha (pregunta 10) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Retraso de Cosecha, Frutos Pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,50 a 0,76 lo que indica que la relación es media a fuerte entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona

directamente con las demás, es decir los agricultores tienen Pérdida en la cosecha, por lo tanto la variación de los otros factores es notable.

El coeficiente de Pearson de la variable Frutos más Pequeños (pregunta 11) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Retraso de Cosecha y Nuevas plagas tiene un valor de 0,41 a 0,69 lo que indica que la relación es media a fuerte entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan que los Frutos son cada vez más pequeños, por lo tanto la variación de los otros factores es cierta.

El coeficiente de Pearson de la variable Nuevas Plagas (pregunta 12) con las variables Aumento de Temperatura, Lluvias más fuertes, Sequías largas, Retraso de Cosecha, Frutos más pequeños y Nuevas plagas tiene un valor de 0,41 a 0,68 lo que indica que la relación es moderada y buena entre estos parámetros, el signo positivo indica que la variable se relaciona directamente con las demás, es decir los agricultores notan que hay más plagas por lo tanto la variación de los otros factores es evidente.

En conclusión, la mayoría de las variables poseen una relación media y fuerte con las demás variables, además de tener un signo positivo que es indicativo de relación directa, donde si una variable aumenta otra tiende a lo mismo, como es el caso de notoriedad del Cambio Climático por ende las sequías o las lluvias van a ser más fuertes.

Tabla 7. Anova de un Factor.

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aumento de temperatura	Inter-grupos	(Combinados)	71,450	5	14,290	20,955	,000
	Término lineal	No ponderado	23,945	1	23,945	35,112	,000
		Ponderado	70,634	1	70,634	103,575	,000
		Desviación	,816	4	,204	,299	,878
	Intra-grupos		133,664	196	,682		
Total		205,114	201				
Rayos más fuertes	Inter-grupos	(Combinados)	79,583	5	15,917	24,030	,000
	Término lineal	No ponderado	28,576	1	28,576	43,143	,000
		Ponderado	73,096	1	73,096	110,357	,000
		Desviación	6,487	4	1,622	2,448	,048
	Intra-grupos		129,823	196	,662		
Total		209,406	201				
Lluvias más fuertes	Inter-grupos	(Combinados)	38,788	5	7,758	6,981	,000
	Término lineal	No ponderado	7,862	1	7,862	7,075	,008
		Ponderado	31,339	1	31,339	28,201	,000
		Desviación	7,448	4	1,862	1,676	,157
	Intra-grupos		217,811	196	1,111		
Total		256,599	201				
Sequias Largas	Inter-grupos	(Combinados)	76,155	5	15,231	12,551	,000
	Término lineal	No ponderado	10,757	1	10,757	8,864	,003
		Ponderado	59,481	1	59,481	49,016	,000
		Desviación	16,674	4	4,168	3,435	,010
	Intra-grupos		237,845	196	1,213		
Total		314,000	201				
Variación Climática	Inter-grupos	(Combinados)	69,118	5	13,824	12,499	,000
	Término lineal	No ponderado	18,259	1	18,259	16,509	,000
		Ponderado	63,262	1	63,262	57,201	,000
		Desviación	5,856	4	1,464	1,324	,262

		Intra-grupos	216,768	196	1,106		
		Total	285,886	201			
Retraso de Cosecha	Inter-grupos	(Combinados)	120,987	5	24,197	29,974	,000
	Término lineal	No ponderado	57,424	1	57,424	71,133	,000
		Ponderado	118,433	1	118,433	146,707	,000
		Desviación	2,554	4	,638	,791	,532
		Intra-grupos	158,226	196	,807		
		Total	279,213	201			
Perdida de Cosecha	Inter-grupos	(Combinados)	149,182	5	29,836	53,024	,000
	Término lineal	No ponderado	66,891	1	66,891	118,877	,000
		Ponderado	148,074	1	148,074	263,152	,000
		Desviación	1,109	4	,277	,493	,741
		Intra-grupos	110,288	196	,563		
		Total	259,470	201			
Frutos Pequeños	Inter-grupos	(Combinados)	97,521	5	19,504	19,984	,000
	Término lineal	No ponderado	54,834	1	54,834	56,182	,000
		Ponderado	90,705	1	90,705	92,935	,000
		Desviación	6,816	4	1,704	1,746	,141
		Intra-grupos	191,296	196	,976		
		Total	288,817	201			
Nuevas Plagas	Inter-grupos	(Combinados)	109,984	5	21,997	18,675	,000
	Término lineal	No ponderado	56,010	1	56,010	47,551	,000
		Ponderado	90,406	1	90,406	76,752	,000
		Desviación	19,577	4	4,894	4,155	,003
		Intra-grupos	230,868	196	1,178		
		Total	340,851	201			

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, el análisis de varianza para el primer caso aumento de temperatura se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas lo que significa que existe diferencia significativa con el factor disminución de producción y tomando la prueba post-hot, se observa que la diferencia más significativa está en el grupo visibles y más visibles es decir que en las encuestas realizadas a los agricultores perciben el aumento de temperatura dando como consecuencia en la disminución de producción.

De la misma forma para los casos rayos y lluvias más fuertes, sequías largas, variación climática, retraso y pérdida de cosecha, frutos pequeños y nuevas plagas se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas, así como también apoyado en las pruebas pos-hot de Tukey (anexo 2) para identificar el grupo más significativo en cada variable, dando como resultado que en un nivel del 1 al 5 donde 1 es menos visibles y 5 es más visible el grupo visibles y más visibles es el que tiene más diferencia significativa, es decir que los agricultores notan cambios a nivel del Cambio Climático y atribuyen que estos cambios afecten a su producción

En conclusión, las diferencias más significativas se encuentran en los subgrupos visibles y más visibles donde se da por hecho que el clima está cambiando, con ello también la producción agrícola, este fenómeno está siendo percibido de primera mano por parte de los agricultores año tras año en sus cosechas, cada vez les resultará más difícil sacar un rédito económico que recompense su trabajo ocasionando que muchos de ellos dejen de producir alimentos, convirtiéndose en un problema de Seguridad Alimentaria, por ello existe la necesidad de un modelo de predicción de producción agrícola donde se optimicen recursos y distribuya de mejor manera el tipo de cultivo en el área total del terreno para que puedan hacer frente a estos problemas.

Niveles de Producción

En la Tabla 8 y en la Figura 11 se representa los niveles de Rendimiento (Kg/ha) y Producción (Kg) de maíz, mora, papa y tomate de árbol por cantón (Mocha, Píllaro y Tisaleo), datos obtenidos de las encuestas realizadas a 202 agricultores, obteniendo como resultado que el cantón Píllaro tiene los niveles más altos de producción y rendimiento.

Tabla 8. Datos del Rendimiento y Producción de los cultivos por Cantón (Píllaro, Mocha y Tisaleo).

Cantón	Cultivo	Rendimiento (Kg/ha)	Producción (Kg)
Mocha	Maíz	12204,55	51431,82
	Mora	5000	48750
	Papa	14887,10	93822,58
	Tomate de árbol	14591,89	91108,11
Píllaro	Maíz	15749,78	102358,23
	Mora	18609,09	126438,07
	Papa	18210	126122,33
	Tomate de árbol	0	0,00
Tisaleo	Maíz	14000	7000,00
	Mora	15619,75	102725,56
	Papa	16860,81	110533,78
	Tomate de árbol	0	0

Fuente: Elaborado por los autores

En Píllaro el cultivo de maíz tiene valores de 15749,78 Kg/ha de rendimiento y 102358,23 Kg de producción, el cultivo de mora 18609,09 Kg/ha de rendimiento y 126438,07 Kg de producción y el cultivo de papa 18210Kg/ha de rendimiento y 126122,33 Kg de producción, en cuanto al tomate de árbol solo en Mocha se tiene una base de datos representativa ya que en los cantones de Píllaro y Tisaleo este producto no se cosecha en grandes cantidades.

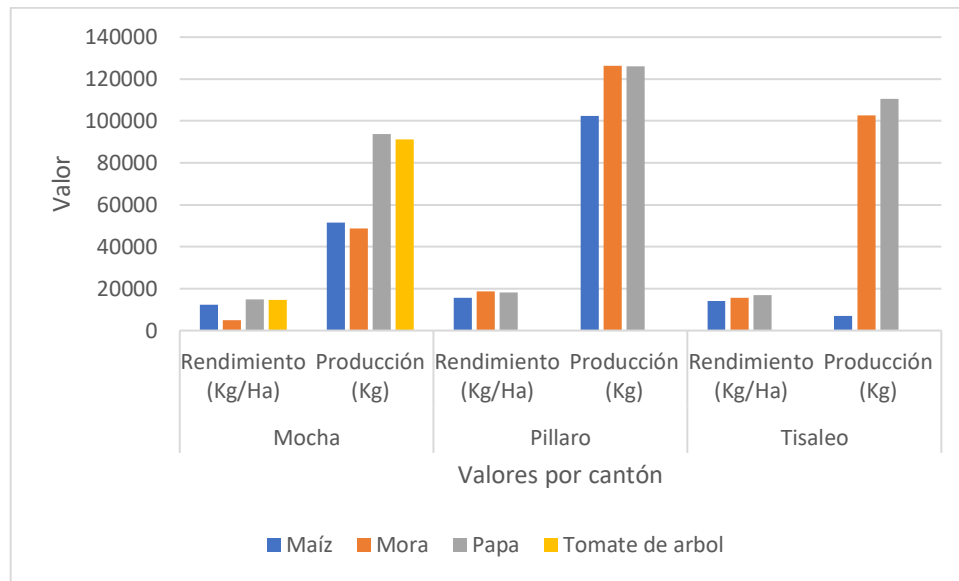


Figura 11. Rendimiento Kg/ha y Producción Kg de producto por Cantón (Píllaro, Mocha y Tisaleo).

Fuente: Elaboración propia

Diseño del Modelo

Se tomó como referencia algunos estudios como el de Castillo (2020), en el cual se plantea el modelo de programación lineal de rendimiento de la producción de leche cruda tomando como limitaciones la disponibilidad de recursos naturales para la optimización de la misma. Se diseñó el modelo lineal y no lineal para la simulación de escenarios de la producción de alimentos frente al Cambio Climático, para lo cual se tomó en cuenta variables y limitaciones que conllevan la producción de los cultivos de maíz, mora, papa y tomate de árbol.

Función objetivo

Consiste en maximizar la producción según los diferentes escenarios de Cambio Climático tomando como referencia los cultivos de maíz, mora, papa y tomate de árbol en la provincia de Tungurahua, la ecuación se expresa a continuación:

$$Max z = \sum_i^N ((c, n), (prodn_{c,n} * precio_c - costos_{c,n}) * xc_{cn})$$

Donde

Z = Función objetivo

Prodn = producción de cultivos en cada cantón

Precio(c) = precio beneficio cada cultivo

Costos (c, n) = costos de mantenimiento (agua, mano de obra, fertilizantes) por cultivo por cantón

c = tipo de cultivo

x = factores de producción

Restricciones

El modelo matemático tiene limitaciones como disponibilidad de tierra, disponibilidad de agua y disponibilidad de mano de obra

1) **Tierra** debido a la superficie de terreno cultivable para cada cultivo por cantón

$$\sum_i^N ((c), reqtierr xc_{c,n}) \leq dt$$

2) **Agua** debido a la cantidad disponible de agua a la que tienen acceso

$$\sum_i^N ((c, n), reqagua_{m,n} * xc_{c,n}) \leq dagua(m) + driego(m)$$

3) **Mano de obra** debido a la cantidad de jornaleros que se necesita para cada cultivo por cantón.

$$\sum_i^N ((c, n), reqmo_{c,n} * xc_{c,n} \leq dmo$$

Donde:

reqtierra = Requerimiento de tierra para la producción de los cultivos

dt = Tierra para los cultivos disponibles

reqagua = Requerimiento de agua para el cultivo por cantón

dagua = Disponibilidad de agua de lluvia

driego = Disponibilidad de agua de riego

reqmo = Requerimiento de mano de obra para la producción de cada cultivo por cantón

dmo = Mano de obra disponible para la producción de cada cultivo

Determinación de requerimientos de recursos naturales de los cultivos por medio de GAMS

Tabla 9. Requerimiento de Tierra por cantón.

	Mínimo	Nivel	Máximo
Mocha	-INF	13,6514	227,5000
Tisaleo	-INF	8,7231	145,3700
Píllaro	-INF	14,0606	1156,7700

Fuente: GAMS ®

Elaboración: Autores

El modelo matemático del estudio presenta restricciones de disponibilidad de agua, tierra y mano de obra para los tres cantones, como se observa en la Tabla 9 en Mocha del total de tierra disponible que se utiliza es 13,6514 ha, en Tisaleo la tierra utilizada es de 8,7231 ha y en Píllaro se utiliza 14,0606 ha de tierra para la siembra de cultivos.

Tabla 10. Disponibilidad de agua de riego.

	Mínimo	Nivel	Máximo
Ene	-INF	129,2595	334,8000
Feb	-INF	238,2345	252,1000
Mar	-INF	258,8795	350,3000
Abr	-INF	256,8620	330,0000
May	-INF	272,2535	316,8000
Jun	-INF	272,6714	418,3000
Jul	-INF	261,0863	398,0000
Ago	-INF	192,9000	192,9000
Sept	-INF	144,1000	144,1000
Oct	-INF	146,4536	265,1000
Nov	-INF	166,0773	333,7000
Dic	-INF	94,9358	237,9000

Fuente: GAMS ®

Elaboración: Autores

Según la Tabla 10 de acuerdo con el modelo en todos los meses, a excepción de agosto y septiembre, se presentan valores óptimos para cumplir con el requerimiento de agua de riego para los cultivos (maíz, mora, papa y tomate de árbol) en los tres cantones (Mocha, Píllaro y Tisaleo), en los meses de agosto y septiembre se presenta un déficit de agua al empezar el periodo seco por la falta de lluvia.

Tabla 11. Requerimiento de mano de obra.

Mínimo	Nivel	Máximo
-INF	3131,1349	10000,0000

Fuente: GAMS ®

Elaboración: Autores

En la Tabla 11 se analiza el requerimiento de mano de obra, el número de jornales por año para todos los cultivos (maíz, mora, papa y tomate de árbol) en los tres cantones (Mocha, Píllaro y Tisaleo) el valor es de 3131,1349 jornales, en este caso no existe déficit de mano

de obra en ninguno de los cantones, al contrario, se presenta un excedente debido al desempleo actual en el país.

Tabla 12. Variable dependiente (Producción)

Cantón	Producto	Mínimo	Nivel	Máximo
Mocha	Maíz	.	.	+INF
	Mora	.	2,2752	+INF
	Papa	.	.	+INF
	Tomate de árbol	.	11,3761	+INF
Píllaro	Maíz	.	5,7991	+INF
	Mora	.	5,7844	+INF
	Papa	.	2,4771	+INF
	Tomate de árbol	.	.	+INF
Tisaleo	Maíz	.	.	+INF
	Mora	.	8,7231	+INF
	Papa	.	.	+INF
	Tomate de árbol	.	.	+INF

Fuente: GAMS ®

Elaboración: Autores

En cuanto a la variable dependiente (producción de cultivos) según el modelo matemático aplicado, se observa en la Tabla 12 que en Mocha la producción de mora es de 2,2752 kg y de tomate de árbol es 11,3761 kg, en Píllaro los cultivos presentan valores de: maíz 5,7991 kg, mora 5,7844 kg y papa 2,4771 kg y en Tisaleo el cultivo de mora representa 8,723 kg de producción.

Simulación en GAMS de los Escenarios de Cambio Climático en la producción agrícola.

Para el cantón Mocha se representa los escenarios simulados de Cambio Climático desarrollado con el modelo matemático a lo largo de 30 años.

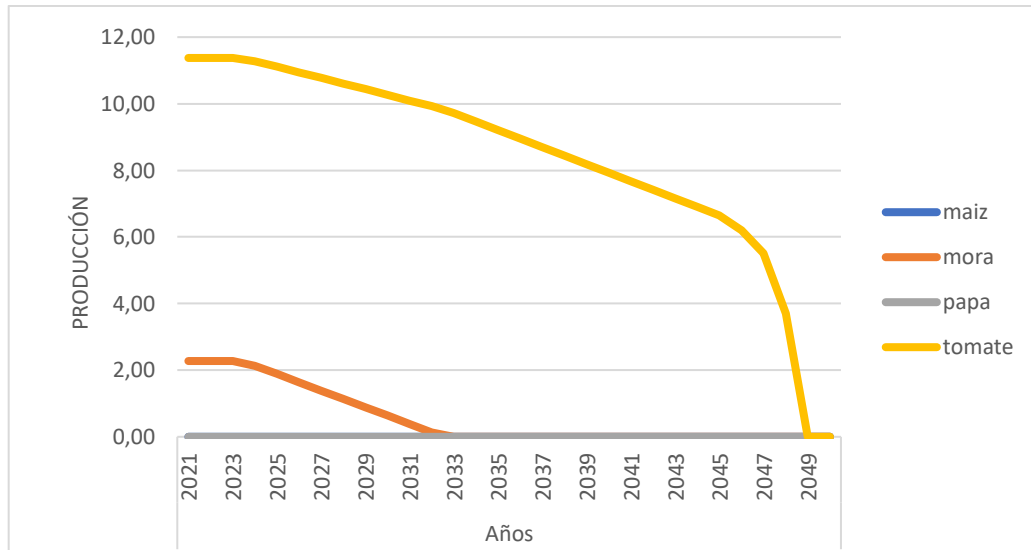


Figura 12. Evolución de resiliencia de cultivos en la variación del Cambio Climático en el cantón Mocha en 30 años.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 12 se observa que si el recurso de agua de regadío fuera limitado la producción de tomate de árbol disminuirá conforme el tiempo avanza, descendiendo la producción indudablemente para el año 2050. En el caso de la mora esta se dejaría de producir para el año 2033 debido a su susceptibilidad ante cambios en el clima, Zhindon Pacheco et al. (2017), asegura que en Ecuador la producción de mora no será suficiente para satisfacer la demanda de la población dentro de los próximos de 10 años. En cuanto a los cultivos de papa y maíz si se restringe el recurso de agua estos cultivos no serían capaces de producirse en este cantón en años futuros.

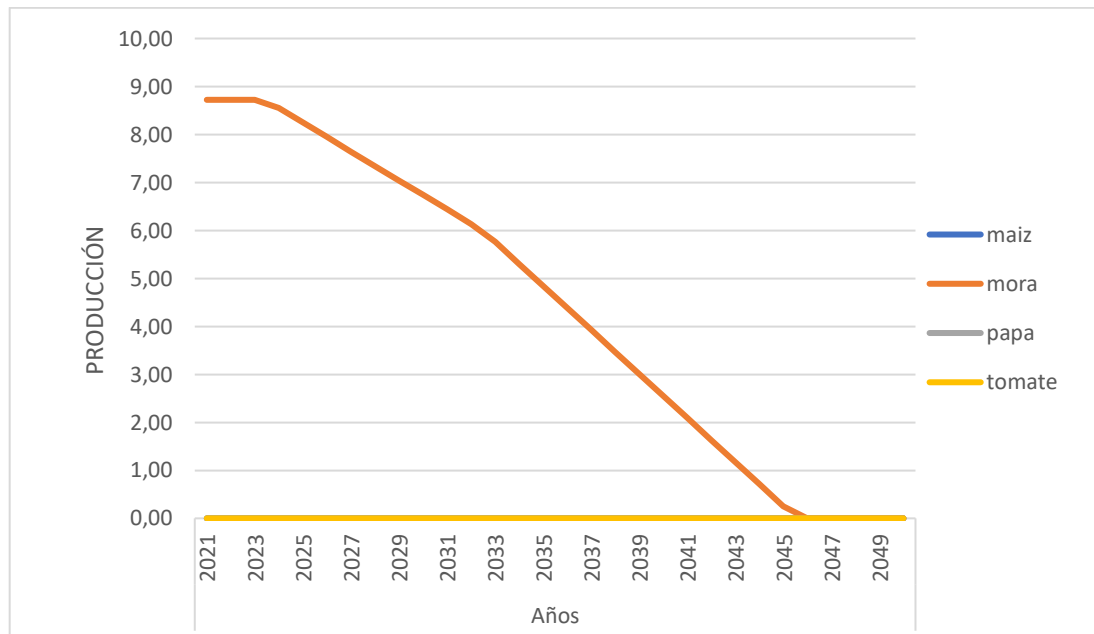


Figura 13. Evolución de resiliencia de cultivos en la variación del Cambio Climático en el cantón Tisaleo en 30 años.
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo observado en la Figura 13, según el modelo matemático en el cantón Tisaleo si el recurso natural de agua disminuye a causa del Cambio Climático, a lo largo de los años la producción de mora irá disminuyendo y la cantidad para satisfacer la demanda del mercado no será suficiente dentro de 25 años, en donde se dejaría de producir por el desabastecimiento de agua de regadío en el cantón. Según Cruz & Yela (2018), la precipitación de lluvias varía con forma cíclica, siendo un año más lluvioso y el otro más seco reduciendo la disponibilidad de agua de regadío, afectando a cultivos de ciclo corto ya que con exceso de agua desarrollan plagas y en estaciones secas son vulnerables a estrés hídrico por falta de nutrientes para el desarrollo de la planta.

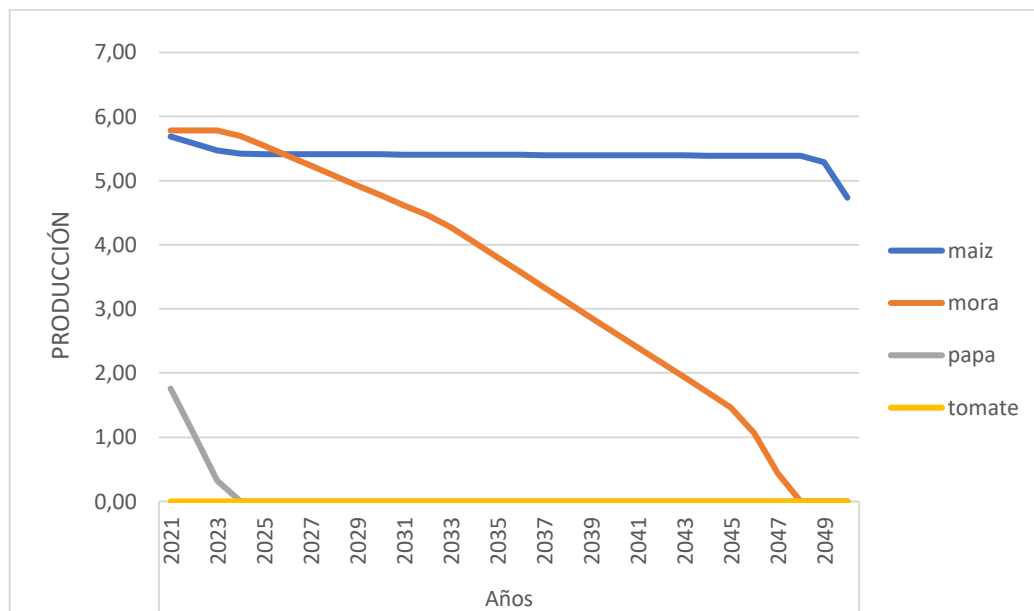


Figura 14. Evolución de resiliencia de cultivos en la variación del Cambio Climático en el cantón Píllaro en 30 años.

Fuente: Elaboración propia

Por último, en la Figura 14 se observa que en el cantón Píllaro, según el modelo matemático de los escenarios simulados, la producción de maíz será estable a través de los próximos 30 años si existiera un desabastecimiento de agua de riego, este sería el único cultivo que no se dejaría de producir, siendo el que mejor se adapta al constante cambio del clima. El cultivo de mora también será resiliente al Cambio Climático, soportando las condiciones de disminución de agua de riego en gran parte de los escenarios simulados para cada cantón. El cultivo de papa será susceptible ante las condiciones del clima y para el año 2025 su producción disminuiría considerablemente.

Para escenarios del 2050 como indica Bustamante (2017) en su estudio, la precipitación en la zona centro del país será escasa lo que conlleva a efectos en la disponibilidad de agua de riego en toda la zona afectando a comunidades dedicadas a la agricultura.

Discusión de resultados

Al revisar la bibliografía citada se concuerda que la escasez de agua generada por diferentes factores como la pérdida de los glaciares, la disminución de las fuentes fluviales y la ausencia de lluvias será un efecto claro de la variación climática en Ecuador, que afectará directamente a la producción agrícola. Por lo que el presente estudio se enfocó en simular y representar las variaciones del clima orientado en la falta de agua de riego a futuro y como afecta a la Seguridad Alimentaria de la provincia de Tungurahua.

Para determinar las posibles consecuencias a futuro de esta variación en los recursos hídricos y su impacto en los cultivos de maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), mora (*Rubus ulmifolius*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*) el análisis recolectó información que se usó en el programa GAMS donde mediante un modelo matemático derivado del estudio de Castillo (2020), se presentó los resultados obtenidos en tablas (9,10,11,12) y gráficas (12,13,14) de la programación lineal con la simulación de Escenarios de Cambio a Climático hasta el año 2050. Según el estudio de González-Marrero et al. (2016) desarrollado en Cuba, los modelos matemáticos usados para pronosticar rendimientos agrícolas se pueden aplicar a todo tipo de cultivo para la toma de decisiones a largo plazo. En este caso obtuvieron el escenario a futuro de la siembra de caña y como diferentes variables incluida la falta de precipitación afecta su producción. En el estudio de Martínez et al. (2011), se afirma que el desarrollo de una buena simulación matemática permite extrapolar los resultados a otros lugares para utilizar de manera correcta y eficiente los recursos humanos, naturales y económicos.

En los cantones de Pillaro, Mocha y Tisaleo la producción se basa principalmente en los cultivos de maíz, mora, papa y tomate de árbol, donde según lo analizado en Pillaro al ser el cantón con mayor número de hectáreas cultivables y mejor disponibilidad de recursos (agua) es el mayor productor, teniendo la mejor producción y rendimiento por hectárea de cultivo.

En la disponibilidad de agua, según el estudio se cumple con los niveles necesarios de agua de riego para mantener la producción de los cultivos a excepción de los meses de

agosto y septiembre en los cuales existe escasez de lluvia provocando falta de agua para el regadío, como consecuencia existe poca variedad de alimentos y volatilidad de precios en esta época del año, afectando a la Seguridad Alimentaria. Según el estudio realizado por Niles & Brown (2017) en 12 países, se determina que en los meses donde hay menos precipitación la inseguridad alimentaria está presente en las zonas que no tienen acceso a agua de regadío. Para tratar de mitigar la baja producción en esos países se utiliza fertilizantes que ayudan a mejorar los rendimientos de los cultivos. Al comparar esto con la situación del país se puede determinar que hace falta la implementación de políticas y acciones estratégicas para contrarrestar los efectos negativos del clima.

Para conocer el impacto que tiene la variación climática en la producción de cultivos a futuro se simularon escenarios con variación de agua de riego a lo largo de 30 años, obteniendo que el cultivo de maíz es el más resiliente a los efectos del clima. En el Ecuador el maíz que se siembra necesita de una precipitación de 700 a 1300 mm en todo el ciclo de crecimiento (INIAP, 2014a). Según Abendroth et al. (2009), el maíz tiene una gran capacidad de adaptación a la cantidad de agua disponible en el suelo, si es escasa las hojas de la planta se enrollan sobre si misma para evitar la pérdida de agua, por lo que tiene mayor posibilidad de supervivencia a comparación de los demás cultivos estudiados. La mora que se cultiva en la Sierra necesita de una precipitación de 600 mm a 1000 mm durante el ciclo de crecimiento y requiere de una humedad relativa entre el 70 al 90 % para tener un buen rendimiento (INIAP, 2014). Con la proyección obtenida de los tres cantones este cultivo tendría resistencia a la falta de agua por unos años sin embargo para el 2050 se dejaría de producir al terminarse el recurso de agua de regadío. El tomate de árbol crece de manera adecuada con una precipitación de 500 mm a 2500 mm, siendo óptimo un valor de 1500 mm (INIAP, 2014c). De los tres cantones solo en Mocha el tomate de árbol se siembra de manera representativa, pero por las condiciones climáticas de los próximos años se dejaría de cultivar. La papa se siembra y se cosecha todo el año por lo que se necesita una precipitación de 600 mm a 1500 mm por ciclo (INIAP, 2014b), al igual que los demás cultivos del estudio, este tubérculo no tiene la capacidad de resistir a la falta de agua de regadío a futuro.

Para mejorar estos posibles escenarios se deben tomar decisiones para implementar y llevar a la práctica políticas que ayuden a los agricultores. Se debe evitar la variabilidad excesiva de precios en meses claves de especulación, asegurar los ingresos económicos de las familias, disminuir el desempleo en las zonas rurales y ayudar a que las personas dedicadas a la agricultura mejoren su calidad de vida, evitando que migren a otras actividades, pudiendo causar falta de alimentos para el consumo humano y creando un problema en la Seguridad Alimentaria en el Ecuador.

Finalmente, para evitar la disminución en la producción de los cultivos a largo plazo se debe impulsar el uso responsable de agua y la construcción de presas de captación de agua de regadío, que ayuden a la distribución de este recurso natural en meses en los cuales la lluvia no es suficiente para satisfacer el requerimiento mínimo de agua.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El escenario determinado del Cambio Climático es la falta de agua que podría generar graves estragos en la producción agrícola de la provincia de Tungurahua, como consecuencia, en los cultivos estudiados de maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), mora (*Rubus ulmifolius*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*) se presentarán bajos rendimientos que afectarán directamente a la producción y al consumo.
- Con la recopilación de datos tomados del MAGAP se identificó los niveles de producción de los cultivos de mora, papa y tomate de árbol en la provincia de Tungurahua, para lo cual se tomó en cuenta los cantones Mocha, Pillaro y Tisaleo, obteniendo como resultado la producción anual y el rendimiento de cada cultivo. Esta información sirvió para la creación del modelo matemático en GAMS para planificar el desarrollo de los cultivos, las condiciones de crecimiento y el uso de los recursos necesarios en la productividad.
- Con el uso del software GAMS por medio de programación se diseñó un modelo de rendimiento agrícola basado en los Escenarios del Cambio Climático, el modelo de optimización matemática calculó y determinó en qué medida las variables climáticas presentan un riesgo a la varianza en la productividad en el rendimiento agrario a futuro. Estos resultados ayudan a enfrentar la incertidumbre a la que los agricultores se exponen año tras año al no saber si los cultivos serán productivos o no y el impacto que tiene el clima sobre estos.

- Para simular los escenarios de variación de los rendimientos de producción agrícola se realizó estimaciones predictivas de acuerdo con las variables del Cambio Climático, en este caso la reducción del agua disponible para los cultivos fue la variable que se utilizó, por medio de iteraciones se revisó cada uno de los posibles escenarios. Esta simulación se puede hacer con otros escenarios de Cambio Climático siempre que se cuente con los datos necesarios y se podría aplicar a nivel del país para la predicción de rendimientos agrícolas.
- Los escenarios futuros de variación climática determinan que en la provincia de Tungurahua el sistema agroalimentario será afectado negativamente por la falta de agua de riego generando consecuencias en la Seguridad Alimentaria del país al tener menos variedad de alimentos y un aumento del costo de los productos debido a la escasez, según los pronósticos de los rendimientos agrícolas de los cultivos estudiados el maíz es el único cultivo que tiene probabilidad de seguir produciéndose a pesar de la carencia de agua.

Recomendaciones

- Para posteriores estudios se aconseja actualizar y mejorar las bases de datos sobre los censos en el Ecuador debido a que la información no se encuentra publicada de manera clara y no es sencillo acceder a ella.
- Profundizar en el estudio sobre la variación del clima en Ecuador ya que se tiene muy poca información y la mayoría se encuentra desactualizada generando falta de interés por parte de la población al no tener conocimiento de lo que está sucediendo con el clima en el país.
- Tomar en cuenta el uso de diferentes softwares como Visual Math o CPLEX para el tratamiento y desarrollo de la información con el fin de comparar los resultados obtenidos según el programa empleado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abendroth, L., Elmore, R., Hartzler, R. G., Mcgrath, C., Mueller, D. S., Elmore, R., Hartzler, R. G., Mcgrath, C., Mueller, D. S., Munkvold, G. P., Pope, R., Rice, M. E., Robertson, A. E., Sawyer, J. E., & Schaefer, K. J. P. (2009). *Corn Field Guide*. 86. http://lib.dr.iastate.edu/extension_pubs/26
- Abuin, J. M. (2014). Primeros Pasos en SPSS. *Laboratorio de Estadística, 1*, 1–6. <http://redsialmexico.com/Archivos/2017.06.29-Gobernanza+web.pdf>
- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2015). *La agricultura y el cambio climático*. <http://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/la-agricultura-y-el-cambio-climatico>
- Alarcón, I. (2017). Sector transporte es el mayor generador de gases efecto invernadero en Ecuador. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/mariavictoriachiriboga-ministeriodelambiente-entrevista-diamundialcontraelcambioclimatico-gasesdeefectoinvernadero.html>
- Alarcón, I. (2018). La mitad de las tierras en Ecuador muestran signos de degradación. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/degradacion-suelo-planetaeideas-ecuador-desertificacion.html>
- Alarcón, I. (2020). Ecuador ha perdido más de la mitad de su cobertura glaciar. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-perdida-mitad-cobertura-glaciar.html>
- Andrade, C. M. (2017). *Cuestiones Ambientales y Seguridad Alimentaria en el Cantón Guano, Ecuador*. 28(5), 233–242. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000500022>
- Andrade, C. M., & Ayaviri, V. D. (2017). Environmental issues and food security in Guano, Ecuador. *Informacion Tecnologica*, 28(5), 233–242. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642017000500022>

- Aulestia-Guerrero, E. M., & Capa-Mora, E. D. (2020). Una mirada hacia la inseguridad alimentaria sudamericana. *Ciencia & Saude Coletiva*, 25(7), 2507–2517. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020257.27622018>
- Ayaviri-Nina, D., Quispe-Fernández, G., Romero-Flores, M., & Fierro-López, P. (2016). Avances y progresos de las políticas y estrategias de seguridad alimentaria en Ecuador. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 18(2), 213–222. <https://doi.org/10.18271/ria.2016.202>
- Banco Central del Ecuador. (2019). *Reporte de Coyuntura*. 50. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/reporte_coyuntura_mineria_nacional_0514.pdf
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM SUBDIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA*.
- Bustamante, C. D. (2017). *ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL DE SUBCUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA EL AÑO 2050 DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO- ECUADOR*. 26(2), 15–27.
- Calero, C. (2011). *Seguridad alimentaria en Ecuador desde un enfoque de acceso a alimentos* (1st ed.). <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=52065>
- Calles L, J. (2015). *Proyecciones climáticas y sus impactos en el ecosistema páramo de tungurahua*. 1–27.
- Carlosama, E. M. (2020). *INSEGURIDAD ALIMENTARIA Y DISPONIBILIDAD DE ALIMENTOS DE LA PARROQUIA PIARTAL, CANTÓN MONTUFAR, PROVINCIA DEL CARCHI*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9478%0Ahttp://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10323>
- Castillo, D. (2020). *La política pública agropecuaria en la estructura del sector lechero de Cotopaxi*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30878>

- Chávez-Jiménez, A., & González-Zeas, D. (2015). El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. *Ribagua*, 2(1), 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.04.001>
- Cobb, C., & Douglas, P. (1928). Theory of production. *The American Economic Review*, 2, 69–74. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54433-3_9
- Creswell, J. W. (2007). *An Introduction to Mixed Methods Research*. [https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=51UXBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Cresswell,+John+\(2015\).+A+Concise+Introduction+to+Mixed+Methods+Research.+Thousand+Oaks:+Sage.&ots=6aDqO3RoIv&sig=6FzwBYUiN3F-Eq59-HrOPUQwjw](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=51UXBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Cresswell,+John+(2015).+A+Concise+Introduction+to+Mixed+Methods+Research.+Thousand+Oaks:+Sage.&ots=6aDqO3RoIv&sig=6FzwBYUiN3F-Eq59-HrOPUQwjw)
- Cruz, D. M. M., & Yela, R. V. M. (2018). Análisis de la vulnerabilidad del sector agrícola frente al cambio climático en el cantón Quevedo, Ecuador. *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.024><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252><http://dx.doi.org>
- Dantzig, G. B., Orden, A., & Wolfe, P. (1955). *THE GENERALIZED SIMPLEX METHOD FOR MINIMIZING A LINEAR FORM UNDER LINEAR INEQUALITY RESTRAINTS*. <https://msp.org/pjm/1955/5-2/pjm-v5-n2-s.pdf#page>
- De la Vega Navarro, A. (2014). El tratamiento de los temas económicos y sociales en los informes del IPCC. *Economía Informa*, 387, 3–20. [https://doi.org/10.1016/s0185-0849\(14\)70434-7](https://doi.org/10.1016/s0185-0849(14)70434-7)
- Diaz Mendoza, C. (2011). Alternatives for erosion control by using conventional coverage, nonconventional coverage and revegetation. *Ingeniería e Investigación*, 31(3), 80–90. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092011000300009&script=sci_abstract&tlng=pt
- Dirección de Planificación. (2019). *Tungurahua 2019 - 2021*.

http://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2020/Agenda_Tungurahua2019-2021.pdf

- Duque, G., & Escobar, C. (2016). Geomecánica: Capítulo 8. Erosión de suelos. *Universidad Nacional de Colombia*, 122–135.
- Eche, D. (2019). *EN LA AGRICULTURA FAMILIAR DEL NORTE DEL ECUADOR*. 24, 91–112.
- Egas, J. J., Shik, O., Inurritegui, M., & De Salvo, C. P. (2018). Análisis de políticas agropecuarias en Ecuador. *Análisis de Políticas Agropecuarias En Ecuador*. <https://doi.org/10.18235/0001526>
- FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria. *La Seguridad Alimentaria: Información Para La Toma de Desiciones*, 1–4.
- FAO. (2017). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo*.
- FAO. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria. *Organizacion de Las Naciones Unidas ONU*, 2. www.fao.org/climatechange
- FAO & CAF. (2007). Ecuador, Nota de Analisis Sectorial, Agricultura y Desarrollo Rural. *Corporación Andina De Fomento (Caf), INFORME*, 67.
- FAO, & MREMH. (2017). *Marco de Programación País relativo al Ecuador 2018 – 2021*.
- FLACSO. (2006). El sector agrario del Ecuador: incertidumbres (riesgos) ante la globalización. *ICONOS. Revista de Ciencias Sociales*, 10(1), 9–183.
- Friedrich, T. (2014). La seguridad alimentaria: retos actuales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 319–322.
- Gálvez, G., Sigarroa, A., & López, T. (2010). *MODELACIÓN DE CULTIVOS AGRÍCOLAS. ALGUNOS EJEMPLOS*. 31(3), 60–65.
- Giovanni Muñoz, & Grieser, J. (2015). CLIMWAT 2.0. for Cropwat. *Fao Water Development and Management Unit*, September.

http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html

Gobierno Provincial de Tungurahua. (2017). *Agenda Tungurahua desde la visión territorial*. *Agenda*. 148.

<https://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2017/AgendaTerritorialTungurahua2016.pdf>

González-marrero, A. N., Ferrer-reyes, M., Vera-méndez, A., Gálvez-rodríguez, G., Acosta-pérez, P. P., Sieiro-miranda, G. L., González-marrero, M., & Betancourt-gonzález, G. (2016). Modelos para estimar el rendimiento agrícola en Cuba a partir de la composición de cepas y la lluvia de mayo a octubre. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 50(1), 59–66.

Grupo Interagencial de Desarrollo Rural., & Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture. (2004). *Más que alimentos en la mesa : la real contribución de la agricultura a la economía*. 116.

Hardoy, J., & Pandiella, G. (2009). Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America. *Environment and Urbanization*, 21(1), 203–224. <https://doi.org/10.1177/0956247809103019>

Hazell, P. B. R., & Norton, R. D. (1987). Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. In *Biometrics* (Vol. 43, Issue 4). <https://doi.org/10.2307/2531573>

Herforth, A., & Ahmed, S. (2015). The food environment, its effects on dietary consumption, and potential for measurement within agriculture-nutrition interventions. *Food Security*, 7(3), 505–520. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0455-8>

Hidalgo, M. del M. (2013). La influencia de cambio climático en la seguridad alimentaria. *Cuadernos de Estrategia, ISSN 1697-6924, N°. 161, 2013 (Ejemplar Dedicado a: Seguridad Alimentaria y Seguridad Global)*, Págs. 67-89, 161, 67–89. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4184082>

- Howitt, R. E. (1995). Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(2), 329–342. <https://doi.org/10.2307/1243543>
- ICCA. (2015). *Modelos de simulación y herramientas de modelaje*. <http://repositorio.cedia.edu.ec/handle/123456789/1002>
- ICCA. (2018). *Statistics Report Country & City Rankings Public*. http://www.micecapabilities.com/mice/uploads/attachments/The_1st_International_MICE_Conference_and_Forum_Proceedings_.pdf#page=128
- INEC. (2014). *Uso y Manejo de Agroquímicos en la Agricultura*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/plaguicidas/Plaguicidas-2014/Modulo_Uso_y_Manejo_de_Agroquimicos.pdf
- INEC. (2016a). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*, 23. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2016/PRES-ENTACION_AGRO_AMBIENTE_2016.pdf
- INEC, (Instituto Nacional de Estadísticos y Censos). (2016b). *Información Ambiental en la Agricultura 2016*.
- INIAP. (2014a). *Maíz suave*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizs>
- INIAP. (2014b). *Papa*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>
- INIAP. (2014c). *Tomate de árbol*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mfruti/rtomatea>
- INTA. (2012). *Agricultura Familiar y Acceso a la Tierra Urbana y Periurbana*. October. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3736.6886>
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007*. https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

- Jiménez, S., Castro, L., Yépez, J., & Wittmer, C. (2012). *Avances DE INVESTIGACIÓN Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador*.
- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)
- León, X. (2018). *Soberanía alimentaria. Sistemas agroalimentario, movimientos campesinos y políticas públicas. El caso de Ecuador* (Vol. 2018, Issue cc). Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea).
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., ... Torquebiau, E. F. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Logroño, M., Hinojosa, M., Rodríguez, R., Chiriboga, M. V., Betancourt, N., Ganchala, M., Zambran, C., Enríquez, D., Tapia, R., Rodríguez, M., Bretas, G., Soriano, I., Corvalán, C., & Rey, Á. (2011). *Cambio climático y su impacto en la salud humana*. 104.
- MAE. (2013). Uso del suelo en Ecuador. *Ministerio Del Ambiente*, 32. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/06/BENEFICIOS-MANEJO-NUEVO1.pdf>
- Magrin, G. (2015). Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. *Repositorio Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL)*, 15, 80. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39842%0Ahttp://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>
- Marroquín, S. (2017). Programas sociales de alimentación y nutrición del Estado ecuatoriano, estrategia nacional en favor de la alimentación saludable. *Economía*, 0(41), 73–96.

http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista_41/Pdf/Rev41Salazar.pdf

Martínez, B. C., Rosado, O. R., López, F. G., Hernández, P. P., Becerra, Á. M., & Villamil, L. V. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 999–1010. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300004

Martinez, L. (2017). El sistema agroalimentario localizado de amaranto en la Ciudad de México. El rescate de los cultivos tradicionales para el desarrollo territorial y la seguridad alimentaria. *Gobernanza Territorial y Sistemas Agroalimentarios Localizados En La Nueva Ruralidad*, July, 57–64. <http://redsialmexico.com/Archivos/2017.06.29-Gobernanza+web.pdf>

Mena-Vásquez, P., Boelens, R., & Vos, J. (2016). Food or flowers? Contested transformations of community food security and water use priorities under new legal and market regimes in Ecuador's highlands. *Journal of Rural Studies*, 44, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.02.011>

Mendelsohn, R., & Wang, J. (2017). The impact of climate on farm inputs in developing countries agriculture. *Atmosfera*, 30(2), 77–86. <https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.02.01>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). *Agricultura, la base de la economía y la alimentación*. <https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la-alimentacion/>

Ministerio del Ambiente (MAE). (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/ESTRATEGIA-NACIONAL-DE-CAMBIO-CLIMATICO-DEL-ECUADOR.pdf>

Ministerio del Ambiente (MAE). (2015). *Cambio climático y uso de la tierra*. <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/PLAN NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO.pdf>

- Ministerio del Ambiente Ecuador (MAE). (2019). Primera Contribución Determinada a nivel nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. *Gobierno de Ecuador*, 1–44. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mocholí, M. (2015). *Toma de decisiones con GAMS*. 1–16. https://www.gams.com/docs/contributed/modelado_en_gams.pdf
- Monteros Guerrero, A. (2016a). *Rendimientos De Papa En El Ecuador Primer Ciclo 2016*. 2016.
- Monteros Guerrero, A. (2016b). Rendimientos de papa en el Ecuador Segundo ciclo 2015. *Sinagap*, 2015, 1–11. http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2015.pdf
- Moreno, E. (2008). Manual de Uso de SPSS. *Instituto Universitario de Educación a Distancia.*, 279. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:500727/Guia_SPSS.pdf
- Muñoz, G. (2019). *EL RETO DE LA AGRICULTURA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO*. 96–100.
- NARANJO, F. (2014). *Plan Provincial De Riego Tungurahua 2014 - 2029*. 1(9), 100.
- National Geographic. (2020). El aumento del nivel del mar. *Revista NatGeo*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/el-aumento-del-nivel-del-mar>
- Niles, M. T., & Brown, M. E. (2017). A multi-country assessment of factors related to smallholder food security in varying rainfall conditions. *Scientific Reports*, May, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16282-9>
- Noboa, S., Castro, L., Yépez, J., & Cristina Wittmer. (2012). *Avances DE INVESTIGACIÓN Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador*. 66, 95.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Condiciones climáticas y la actividad humana impactan en la degradación*

de la tierra, comprometiendo la seguridad alimentaria.
<http://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1141396/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, F. (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. In *Earthscan/FAO*.
<http://www.fao.org/docrep/015/i1688s/i1688s00.pdf>

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2019). *El clima mundial: entre 2015 y 2019 se ha acelerado el cambio climático.*
<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-mundial-entre-2015-y-2019-se-ha-acelerado-el-cambio-climatico>

Organización Mundial de la Salud. (2018). *La inocuidad de los el Cambio Climático y la función de la OMS*. 47(5), 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.02.005>.La

Ortiz, R. (2014). *El cambio climático y la producción agrícola*. September, 1–6.

Pedraza, D. F. (2005). Disponibilidad de alimentos como factor determinante de la Seguridad Alimentaria y Nutricional y sus representaciones en Brasil. *Revista de Nutrição*, 18(1), 129–143. <https://doi.org/10.1590/s1415-52732005000100012>

Plan Nacional de la Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas del Ecuador. (2016). *Secretaría Nacional del Agua - SENAGUA División Hidrográfica del Ecuador*.

Porcuna Coto, J. L. (2016). *MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN PRODUCCIÓN ECOLÓGICA*.

Portilla, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador* (1ra edición).
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=hy0MEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=Portilla,+F.+\(2018\).+Agroclimatología+del+Ecuador+\(1ra+edici3o\).&ots=q7XQ9zfCIM&sig=TLtWDE-3NeuMtlCqWi61zUuXQk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=hy0MEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=Portilla,+F.+(2018).+Agroclimatología+del+Ecuador+(1ra+edici3o).&ots=q7XQ9zfCIM&sig=TLtWDE-3NeuMtlCqWi61zUuXQk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Ram, A., & Alberto, M. (2011). Programa CROPWAT para planeación y manejo del

- recurso hídrico CROPWAT software for scheduling and handling hidric resource. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(2), 179–195.
- Ramos, X. (2020). 80 % del agua disponible en Ecuador se va en regar solo una tercera parte de los cultivos del país. *El Universo*. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/21/nota/8448400/agua-servicios-basicos-ecuador/>
- Recalt, C., & Valony, M.-J. (2018). Hacia La Soberanía Alimentaria, Entre La Reorganización Institucional Y La Iniciativa Local. El Proyecto Comunitario De Riego De Mariano Acosta (Ecuador). *Cuadernos de Geografía de La Universitat de València*, 101, 149. <https://doi.org/10.7203/cguv.101.13725>
- Rojas, J. (2016). Society, Environment, Vulnerability, and Climate Change in Latin America. *Latin American Perspectives*, 43(4), 29–42. <https://doi.org/10.1177/0094582X16641264>
- Rosero, C., Vásquez, P., & Cordero, V. (2010). Análisis situacional de la soberanía alimentaria en el contexto de la adaptación al cambio climático en el Ecuador. *Informe Técnico Definitivo*. Recuperado de <https://www.undpcc.org/Docs/National%20issues%20papers/Agriculture>, 20.
- Salmoral, G., Khatun, K., Llive, F., & Lopez, C. M. (2018). Agricultural development in Ecuador: A compromise between water and food security? *Journal of Cleaner Production*, 202, 779–791. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.308>
- Schoolmeester, T., Johansen, K. S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M., & Verbist, K. (2018). Atlas de Glaciares y Aguas Andinos: El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. In *Ediciones UNESCO*.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2014). *Amenaza déficit hídrico*. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/Escenarios_DH_Noviembre_01.pdf
- Skarbø, K., & VanderMolen, K. (2016). Maize migration: key crop expands to higher

- altitudes under climate change in the Andes. *Climate and Development*, 8(3), 245–255. <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1034234>
- Stevanovi, M., Popp, A., Lotze-campen, H., Dietrich, J. P., Müller, C., Bonsch, M., Schmitz, C., Bodirsky, B. L., Humpenöder, F., & Weindl, I. (2016). *The impact of high-end climate change on agricultural welfare*. August, 1–10.
- Stevens, T., & Madani, K. (2016). Future climate impacts on maize farming and food security in Malawi. *Nature Publishing Group*, November, 1–14. <https://doi.org/10.1038/srep36241>
- Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). *PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019 - 2027*. 4(1), 64–75.
- Tadesse, G. (2012). *ZEF-Discussion Papers on Development Policy No. 161 Global Food Price Volatility and Spikes : An Overview of Costs , Causes , and Solutions*. 161.
- Tarapuez, J., & Barrera, G. (2010). GAMS Aplicado a las Ciencias económicas GAMS Aplicado a las Ciencias económicas. In *Universidad Nacional de Colombia*. [http://www.fce.unal.edu.co/uifce/proyectos-de-estudio/pdf/GAMS aplicado a las Ciencias Economicas](http://www.fce.unal.edu.co/uifce/proyectos-de-estudio/pdf/GAMS_aplicado_a_las_Ciencias_Economicas)
- Tirado, M. C. (2010). *Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010*. 24(Suppl 1), 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2010.10.004>
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-baile, D., Reyes-yunga, D. F., Viera-torres, M., & Heredia, M. (2020a). *C Limate C Hange According To E Cuadorian Academics – P Erceptions*. 31(1), 21–46.
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-baile, D., Reyes-yunga, D. F., Viera-torres, M., & Heredia, M. (2020b). *CAMBIO CLIMÁTICO SEGÚN LOS ACADÉMICOS ECUATORIANOS - PERCEPCIONES VERSUS HECHOS*. 31(1), 21–46.
- Trezza, R. (2014). *Cropwat Para Windows*. 1–29. http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf
- VanderMolen Kristin. (2011). *Percepciones de cambio climático y estrategias de*

adaptación en las comunidades agrícolas de Cotacachi.
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/4263>

Verger, P. J. P., & Boobis, A. R. (2013). Reevaluate Pesticides for Food Security and Safety. *Science*. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1241572>

Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? *Nicarao*, 505, 27.
http://www.fao.org/ag/ca/Training_Materials/AC_Material_Nicaragua/AC_Tomo2.pdf

Viguera B., Martínez-Rodríguez M.R., Donatti C., H. C. A. y A. F. (2017). *Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica , estrategias de mitigación.*
<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=042031>

Von Braun, J., & Tadesse, G. (2012). Global Food Price Volatility and Spikes: An Overview of Costs, Causes, and Solutions. *ZEF- Discussion Papers on Development Policy*, 161. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.120021>

WFP, W. F. P. (2016). *The Hidden Links between Food Insecurity, Violence and Migration in the Northern Triangle of Central America* (p. 36).

Zhinda Pacheco, D., Massa Sánchez, P., & Bonilla, J. A. (2017). Relación del cambio climático con la producción agrícola en la Provincia del Azuay. *INNOVA Research Journal*, 2(9.1), 55–64. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n9.1.2017.508>

ANEXOS

Anexo 1. Pruebas Post-Hot.

Comparaciones múltiples								
HSD de Tukey								
Variable dependiente	(I) Disminución de Producción	(J) Disminución de Producción	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
Aumento de temperatura	0	menos visibles	-,200	,691	1,000	-2,19	1,79	
		poco visibles	-1,000	,674	,675	-2,94	,94	
		algo visibles	-1,500	,624	,160	-3,30	,30	
		visibles	-1,942*	,595	,016	-3,65	-,23	
		más visibles	-2,634*	,589	,000	-4,33	-,94	
	menos visibles	0		,200	,691	1,000	-1,79	2,19
		poco visibles		-,800	,500	,600	-2,24	,64
		algo visibles		-1,300*	,430	,033	-2,54	-,06
		visibles		-1,742*	,387	,000	-2,86	-,63
		más visibles		-2,434*	,377	,000	-3,52	-1,35
	poco visibles	0		1,000	,674	,675	-,94	2,94
		menos visibles		,800	,500	,600	-,64	2,24
		algo visibles		-,500	,403	,816	-1,66	,66
		visibles		-,942	,356	,091	-1,97	,08
		más visibles		-1,634*	,345	,000	-2,63	-,64
	algo visibles	0		1,500	,624	,160	-,30	3,30
		menos visibles		1,300*	,430	,033	,06	2,54
		poco visibles		,500	,403	,816	-,66	1,66
		visibles		-,442	,249	,482	-1,16	,27
		más visibles		-1,134*	,233	,000	-1,80	-,46
visibles	0		1,942*	,595	,016	,23	3,65	
	menos visibles		1,742*	,387	,000	,63	2,86	
	poco visibles		,942	,356	,091	-,08	1,97	
	algo visibles		,442	,249	,482	-,27	1,16	
	más visibles		-,692*	,137	,000	-1,08	-,30	
más visibles	0		2,634*	,589	,000	,94	4,33	
	menos visibles		2,434*	,377	,000	1,35	3,52	
	poco visibles		1,634*	,345	,000	,64	2,63	
	algo visibles		1,134*	,233	,000	,46	1,80	

		visibles	,692*	,137	,000	,30	1,08
Rayos más fuertes	0	menos visibles	,200	,681	1,000	-1,76	2,16
		poco visibles	-1,667	,665	,127	-3,58	,25
		algo visibles	-1,286	,615	,297	-3,06	,48
		visibles	-2,269*	,586	,002	-3,96	-,58
		más visibles	-2,724*	,580	,000	-4,39	-1,05
menos visibles	0	menos visibles	-,200	,681	1,000	-2,16	1,76
		poco visibles	-1,867*	,493	,003	-3,29	-,45
		algo visibles	-1,486*	,424	,007	-2,71	-,27
		visibles	-2,469*	,381	,000	-3,57	-1,37
		más visibles	-2,924*	,371	,000	-3,99	-1,85
poco visibles	0	menos visibles	1,667	,665	,127	-,25	3,58
		algo visibles	1,867*	,493	,003	,45	3,29
		visibles	,381	,397	,930	-,76	1,52
		visibles	-,603	,351	,522	-1,61	,41
		más visibles	-1,057*	,340	,026	-2,04	-,08
algo visibles	0	menos visibles	1,286	,615	,297	-,48	3,06
		algo visibles	1,486*	,424	,007	,27	2,71
		poco visibles	-,381	,397	,930	-1,52	,76
		visibles	-,984*	,245	,001	-1,69	-,28
		más visibles	-1,438*	,230	,000	-2,10	-,78
visibles	0	menos visibles	2,269*	,586	,002	,58	3,96
		algo visibles	2,469*	,381	,000	1,37	3,57
		poco visibles	,603	,351	,522	-,41	1,61
		algo visibles	,984*	,245	,001	,28	1,69
		más visibles	-,454*	,135	,011	-,84	-,07
más visibles	0	menos visibles	2,724*	,580	,000	1,05	4,39
		algo visibles	2,924*	,371	,000	1,85	3,99
		poco visibles	1,057*	,340	,026	,08	2,04
		algo visibles	1,438*	,230	,000	,78	2,10
		visibles	,454*	,135	,011	,07	,84
Lluvias más fuertes	0	menos visibles	-,300	,882	,999	-2,84	2,24
		poco visibles	-1,167	,861	,753	-3,64	1,31
		algo visibles	-,857	,797	,891	-3,15	1,44
		visibles	-1,038	,760	,747	-3,22	1,15
		más visibles	-1,785	,751	,170	-3,95	,38
menos visibles	0	menos visibles	,300	,882	,999	-2,24	2,84
		poco visibles	-,867	,638	,752	-2,70	,97

		algo visibles	-.557	,549	,913	-2,14	1,02
		visibles	-.738	,494	,667	-2,16	,68
		más visibles	-1,485*	,481	,028	-2,87	-,10
	poco visibles	0	1,167	,861	,753	-1,31	3,64
		menos visibles	,867	,638	,752	-,97	2,70
		algo visibles	,310	,514	,991	-1,17	1,79
		visibles	,128	,455	1,000	-1,18	1,44
		más visibles	-,618	,441	,726	-1,89	,65
	algo visibles	0	,857	,797	,891	-1,44	3,15
		menos visibles	,557	,549	,913	-1,02	2,14
		poco visibles	-,310	,514	,991	-1,79	1,17
		visibles	-,181	,317	,993	-1,09	,73
		más visibles	-,927*	,297	,025	-1,78	-,07
	visibles	0	1,038	,760	,747	-1,15	3,22
		menos visibles	,738	,494	,667	-,68	2,16
		poco visibles	-,128	,455	1,000	-1,44	1,18
		algo visibles	,181	,317	,993	-,73	1,09
		más visibles	-,746*	,174	,000	-1,25	-,24
	más visibles	0	1,785	,751	,170	-,38	3,95
		menos visibles	1,485*	,481	,028	,10	2,87
		poco visibles	,618	,441	,726	-,65	1,89
		algo visibles	,927*	,297	,025	,07	1,78
		visibles	,746*	,174	,000	,24	1,25
Sequías	0	menos visibles	,300	,922	1,000	-2,35	2,95
Largas		poco visibles	-1,333	,899	,676	-3,92	1,26
		algo visibles	-,214	,833	1,000	-2,61	2,18
		visibles	-1,077	,794	,753	-3,36	1,21
		más visibles	-1,931	,785	,142	-4,19	,33
	menos	0	-,300	,922	1,000	-2,95	2,35
	visibles	poco visibles	-1,633	,667	,145	-3,55	,29
		algo visibles	-,514	,574	,947	-2,17	1,14
		visibles	-1,377	,516	,086	-2,86	,11
		más visibles	-2,231*	,503	,000	-3,68	-,78
	poco visibles	0	1,333	,899	,676	-1,26	3,92
		menos visibles	1,633	,667	,145	-,29	3,55
		algo visibles	1,119	,538	,301	-,43	2,67
		visibles	,256	,475	,994	-1,11	1,62
		más visibles	-,598	,461	,786	-1,92	,73

	algo visibles	0	,214	,833	1,000	-2,18	2,61
		menos visibles	,514	,574	,947	-1,14	2,17
		poco visibles	-1,119	,538	,301	-2,67	,43
		visibles	-,863	,332	,102	-1,82	,09
		más visibles	-1,717*	,311	,000	-2,61	-,82
	visibles	0	1,077	,794	,753	-1,21	3,36
		menos visibles	1,377	,516	,086	-,11	2,86
		poco visibles	-,256	,475	,994	-1,62	1,11
		algo visibles	,863	,332	,102	-,09	1,82
		más visibles	-,854*	,182	,000	-1,38	-,33
	más visibles	0	1,931	,785	,142	-,33	4,19
		menos visibles	2,231*	,503	,000	,78	3,68
		poco visibles	,598	,461	,786	-,73	1,92
		algo visibles	1,717*	,311	,000	,82	2,61
		visibles	,854*	,182	,000	,33	1,38
Variación Climática	0	menos visibles	,900	,880	,910	-1,63	3,43
		poco visibles	-,667	,859	,971	-3,14	1,80
		algo visibles	-1,000	,795	,807	-3,29	1,29
		visibles	-1,231	,758	,584	-3,41	,95
		más visibles	-1,955	,750	,100	-4,11	,20
	menos visibles	0	-,900	,880	,910	-3,43	1,63
		poco visibles	-1,567	,637	,141	-3,40	,27
		algo visibles	-1,900*	,548	,008	-3,48	-,32
		visibles	-2,131*	,492	,000	-3,55	-,71
		más visibles	-2,855*	,480	,000	-4,24	-1,47
	poco visibles	0	,667	,859	,971	-1,80	3,14
		menos visibles	1,567	,637	,141	-,27	3,40
		algo visibles	-,333	,513	,987	-1,81	1,14
		visibles	-,564	,453	,815	-1,87	,74
		más visibles	-1,289*	,440	,043	-2,55	-,02
	algo visibles	0	1,000	,795	,807	-1,29	3,29
		menos visibles	1,900*	,548	,008	,32	3,48
		poco visibles	,333	,513	,987	-1,14	1,81
		visibles	-,231	,317	,978	-1,14	,68
		más visibles	-,955*	,297	,018	-1,81	-,10
	visibles	0	1,231	,758	,584	-,95	3,41
		menos visibles	2,131*	,492	,000	,71	3,55
		poco visibles	,564	,453	,815	-,74	1,87

		algo visibles	,231	,317	,978	-,68	1,14
		más visibles	-,725*	,174	,001	-1,23	-,22
	más visibles	0	1,955	,750	,100	-,20	4,11
		menos visibles	2,855*	,480	,000	1,47	4,24
		poco visibles	1,289*	,440	,043	,02	2,55
		algo visibles	,955*	,297	,018	,10	1,81
		visibles	,725*	,174	,001	,22	1,23
Retraso de Cosecha	0	menos visibles	-2,000	,752	,088	-4,16	,16
		poco visibles	-2,167*	,734	,041	-4,28	-,06
		algo visibles	-3,071*	,679	,000	-5,03	-1,12
		visibles	-3,865*	,647	,000	-5,73	-2,00
		más visibles	-4,553*	,640	,000	-6,40	-2,71
	menos visibles	0	2,000	,752	,088	-,16	4,16
		poco visibles	-,167	,544	1,000	-1,73	1,40
		algo visibles	-1,071	,468	,204	-2,42	,28
		visibles	-1,865*	,421	,000	-3,08	-,65
		más visibles	-2,553*	,410	,000	-3,73	-1,37
	poco visibles	0	2,167*	,734	,041	,06	4,28
		menos visibles	,167	,544	1,000	-1,40	1,73
		algo visibles	-,905	,438	,311	-2,17	,36
		visibles	-1,699*	,387	,000	-2,81	-,58
		más visibles	-2,386*	,376	,000	-3,47	-1,31
	algo visibles	0	3,071*	,679	,000	1,12	5,03
		menos visibles	1,071	,468	,204	-,28	2,42
		poco visibles	,905	,438	,311	-,36	2,17
		visibles	-,794*	,271	,043	-1,57	-,02
		más visibles	-1,481*	,253	,000	-2,21	-,75
	visibles	0	3,865*	,647	,000	2,00	5,73
		menos visibles	1,865*	,421	,000	,65	3,08
		poco visibles	1,699*	,387	,000	,58	2,81
		algo visibles	,794*	,271	,043	,02	1,57
		más visibles	-,687*	,149	,000	-1,12	-,26
	más visibles	0	4,553*	,640	,000	2,71	6,40
		menos visibles	2,553*	,410	,000	1,37	3,73
		poco visibles	2,386*	,376	,000	1,31	3,47
		algo visibles	1,481*	,253	,000	,75	2,21
		visibles	,687*	,149	,000	,26	1,12
	0	menos visibles	-1,400	,628	,229	-3,21	,41

Perdida de Cosecha		poco visibles	-2,500*	,612	,001	-4,26	-,74	
		algo visibles	-3,071*	,567	,000	-4,70	-1,44	
		visibles	-3,865*	,541	,000	-5,42	-2,31	
		más visibles	-4,724*	,535	,000	-6,26	-3,18	
	menos	0	1,400	,628	,229	-,41	3,21	
	visibles		poco visibles	-1,100	,454	,154	-2,41	,21
			algo visibles	-1,671*	,391	,000	-2,80	-,55
			visibles	-2,465*	,351	,000	-3,48	-1,45
			más visibles	-3,324*	,342	,000	-4,31	-2,34
	poco visibles	0	2,500*	,612	,001	,74	4,26	
			menos visibles	1,100	,454	,154	-,21	2,41
			algo visibles	-,571	,366	,625	-1,62	,48
			visibles	-1,365*	,323	,001	-2,30	-,43
			más visibles	-2,224*	,314	,000	-3,13	-1,32
	algo visibles	0	3,071*	,567	,000	1,44	4,70	
			menos visibles	1,671*	,391	,000	,55	2,80
			poco visibles	,571	,366	,625	-,48	1,62
			visibles	-,794*	,226	,007	-1,44	-,14
			más visibles	-1,652*	,212	,000	-2,26	-1,04
	visibles	0	3,865*	,541	,000	2,31	5,42	
		menos visibles	2,465*	,351	,000	1,45	3,48	
		poco visibles	1,365*	,323	,001	,43	2,30	
		algo visibles	,794*	,226	,007	,14	1,44	
		más visibles	-,858*	,124	,000	-1,22	-,50	
más visibles	0	4,724*	,535	,000	3,18	6,26		
		menos visibles	3,324*	,342	,000	2,34	4,31	
		poco visibles	2,224*	,314	,000	1,32	3,13	
		algo visibles	1,652*	,212	,000	1,04	2,26	
		visibles	,858*	,124	,000	,50	1,22	
		más visibles	-,858*	,124	,000	-,50	-,50	
Frutos Pequeños	0	menos visibles	-1,800	,827	,253	-4,18	,58	
		poco visibles	-3,333*	,807	,001	-5,65	-1,01	
		algo visibles	-3,214*	,747	,000	-5,36	-1,06	
		visibles	-3,865*	,712	,000	-5,91	-1,82	
		más visibles	-4,504*	,704	,000	-6,53	-2,48	
	menos visibles	0	1,800	,827	,253	-,58	4,18	
			poco visibles	-1,533	,598	,111	-3,26	,19
			algo visibles	-1,414	,515	,071	-2,90	,07
			visibles	-2,065*	,463	,000	-3,40	-,73
			más visibles	-,858*	,124	,000	-,50	-,50

		más visibles	-2,704*	,451	,000	-4,00	-1,41
	poco visibles	0	3,333*	,807	,001	1,01	5,65
		menos visibles	1,533	,598	,111	-,19	3,26
		algo visibles	,119	,482	1,000	-1,27	1,51
		visibles	-,532	,426	,812	-1,76	,69
		más visibles	-1,171	,413	,056	-2,36	,02
	algo visibles	0	3,214*	,747	,000	1,06	5,36
		menos visibles	1,414	,515	,071	-,07	2,90
		poco visibles	-,119	,482	1,000	-1,51	1,27
		visibles	-,651	,297	,248	-1,51	,21
		más visibles	-1,290*	,279	,000	-2,09	-,49
	visibles	0	3,865*	,712	,000	1,82	5,91
		menos visibles	2,065*	,463	,000	,73	3,40
		poco visibles	,532	,426	,812	-,69	1,76
		algo visibles	,651	,297	,248	-,21	1,51
		más visibles	-,639*	,163	,002	-1,11	-,17
	más visibles	0	4,504*	,704	,000	2,48	6,53
		menos visibles	2,704*	,451	,000	1,41	4,00
		poco visibles	1,171	,413	,056	-,02	2,36
		algo visibles	1,290*	,279	,000	,49	2,09
		visibles	,639*	,163	,002	,17	1,11
Nuevas	0	menos visibles	-1,600	,908	,493	-4,21	1,01
Plagas		poco visibles	-4,167*	,886	,000	-6,72	-1,62
		algo visibles	-3,000*	,820	,004	-5,36	-,64
		visibles	-3,981*	,782	,000	-6,23	-1,73
		más visibles	-4,585*	,774	,000	-6,81	-2,36
	menos	0	1,600	,908	,493	-1,01	4,21
	visibles	poco visibles	-2,567*	,657	,002	-4,46	-,68
		algo visibles	-1,400	,565	,136	-3,03	,23
		visibles	-2,381*	,508	,000	-3,84	-,92
		más visibles	-2,985*	,495	,000	-4,41	-1,56
	poco visibles	0	4,167*	,886	,000	1,62	6,72
		menos visibles	2,567*	,657	,002	,68	4,46
		algo visibles	1,167	,530	,241	-,36	2,69
		visibles	,186	,468	,999	-1,16	1,53
		más visibles	-,419	,454	,940	-1,72	,89
	algo visibles	0	3,000*	,820	,004	,64	5,36
		menos visibles	1,400	,565	,136	-,23	3,03

	poco visibles	-1,167	,530	,241	-2,69	,36
	visibles	-,981*	,327	,035	-1,92	-,04
	más visibles	-1,585*	,306	,000	-2,47	-,70
visibles	0	3,981*	,782	,000	1,73	6,23
	menos visibles	2,381*	,508	,000	,92	3,84
	poco visibles	-,186	,468	,999	-1,53	1,16
	algo visibles	,981*	,327	,035	,04	1,92
	más visibles	-,605*	,180	,012	-1,12	-,09
más visibles	0	4,585*	,774	,000	2,36	6,81
	menos visibles	2,985*	,495	,000	1,56	4,41
	poco visibles	,419	,454	,940	-,89	1,72
	algo visibles	1,585*	,306	,000	,70	2,47
	visibles	,605*	,180	,012	,09	1,12

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Anexo 3. Código usado en GAMS ®.

GAMS 33.2.0 r4f23b21 Released Dec 1, 2020 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
07/06/21 17:38:04 Page 1

variacion

Include File Summary

SEQ GLOBAL TYPE PARENT LOCAL FILENAME

```

1    1 INPUT    0    0 D:\USER\Downloads\CCSSAA2021 (2).gms
2   542 STOP    1   542 D:\USER\Downloads\CCSSAA2021 (2).gms

```

COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 33.2.0 r4f23b21 WEX-WEI
GAMS 33.2.0 r4f23b21 Released Dec 1, 2020 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
07/06/21 17:38:04 Page 2

variacion

Equation Listing SOLVE variacion Using LP From line 316

---- objjt =E=

$$\begin{aligned}
\text{objjt..} & - 19333.6826 * xc(\text{maiz,mocha}) - 228 * xc(\text{maiz,tisaleo}) - \\
& 41232.0389 * xc(\text{maiz,pillaro}) - 80111.34 * xc(\text{mora,mocha}) - \\
& 175108.3256 * xc(\text{mora,tisaleo}) - 216842.3432 * xc(\text{mora,pillaro}) - \\
& 21725.4524 * xc(\text{papa,mocha}) - 26404.5884 * xc(\text{papa,tisaleo}) - \\
& 30769.3824 * xc(\text{papa,pillaro}) - 58745.7569 * xc(\text{tomate,mocha}) + z = E = 0 ; (\text{LHS} = 0)
\end{aligned}$$

---- eq_land =L=

$$\begin{aligned}
\text{eq_land(mocha)..} & xc(\text{maiz,mocha}) + xc(\text{mora,mocha}) + xc(\text{papa,mocha}) + \\
& xc(\text{tomate,mocha}) = L = 227.5 ; (\text{LHS} = 0)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{eq_land(tisaleo)..} & xc(\text{maiz,tisaleo}) + xc(\text{mora,tisaleo}) + xc(\text{papa,tisaleo}) + \\
& xc(\text{tomate,tisaleo}) = L = 145.37 ; (\text{LHS} = 0)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{eq_land(pillaro)..} & xc(\text{maiz,pillaro}) + xc(\text{mora,pillaro}) + xc(\text{papa,pillaro}) + \\
& xc(\text{tomate,pillaro}) = L = 1156.77 ; (\text{LHS} = 0)
\end{aligned}$$

---- eq_wat =L=

$$\begin{aligned}
\text{eq_wat(Ene)..} & 5.49 * xc(\text{maiz,mocha}) + 5.49 * xc(\text{maiz,tisaleo}) + 5.49 * xc(\text{maiz,pillaro}) + \\
& 2.246 * xc(\text{mora,mocha}) + 2.246 * xc(\text{mora,tisaleo}) + 2.246 * xc(\text{mora,pillaro}) + \\
& 3.4 * xc(\text{papa,mocha}) + 3.4 * xc(\text{papa,tisaleo}) + 3.4 * xc(\text{papa,pillaro}) + \\
& 4.51 * xc(\text{tomate,mocha}) + 4.51 * xc(\text{tomate,tisaleo}) + 4.51 * xc(\text{tomate,pillaro}) = L = 334.8 ; \\
& (\text{LHS} = 0)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{eq_wat(Feb)..} & 3.87 * xc(\text{maiz,mocha}) + 3.87 * xc(\text{maiz,tisaleo}) + 3.87 * xc(\text{maiz,pillaro}) + \\
& 5.53 * xc(\text{mora,mocha}) + 5.53 * xc(\text{mora,tisaleo}) + 5.53 * xc(\text{mora,pillaro}) + \\
& 5.56 * xc(\text{papa,mocha}) + 5.56 * xc(\text{papa,tisaleo}) + 5.56 * xc(\text{papa,pillaro}) + \\
& 9.6 * xc(\text{tomate,mocha}) + 9.6 * xc(\text{tomate,tisaleo}) + 9.6 * xc(\text{tomate,pillaro}) = L = 252.1 ; \\
& (\text{LHS} = 0)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{eq_wat(Mar).. } & 6.6*\text{xc}(\text{maiz,mocha}) + 6.6*\text{xc}(\text{maiz,tisaleo}) + 6.6*\text{xc}(\text{maiz,pillaro}) + \\ & 5.754*\text{xc}(\text{mora,mocha}) + 5.754*\text{xc}(\text{mora,tisaleo}) + 5.754*\text{xc}(\text{mora,pillaro}) + \\ & 6.95*\text{xc}(\text{papa,mocha}) + 6.95*\text{xc}(\text{papa,tisaleo}) + 6.95*\text{xc}(\text{papa,pillaro}) + \\ & 9.39*\text{xc}(\text{tomate,mocha}) + 9.39*\text{xc}(\text{tomate,tisaleo}) + 9.39*\text{xc}(\text{tomate,pillaro}) =L= 350.3 ; \\ & (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- eq_mo =L=

$$\begin{aligned} \text{eq_mo.. } & 48*\text{xc}(\text{maiz,mocha}) + 48*\text{xc}(\text{maiz,tisaleo}) + 48*\text{xc}(\text{maiz,pillaro}) + \\ & 69*\text{xc}(\text{mora,mocha}) + 69*\text{xc}(\text{mora,tisaleo}) + 69*\text{xc}(\text{mora,pillaro}) + 55*\text{xc}(\text{papa,mocha}) \\ & + 55*\text{xc}(\text{papa,tisaleo}) + 55*\text{xc}(\text{papa,pillaro}) + 137*\text{xc}(\text{tomate,mocha}) + \\ & 137*\text{xc}(\text{tomate,tisaleo}) + 137*\text{xc}(\text{tomate,pillaro}) =L= 10000 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

---- eq_crop1 =L=

$$\text{eq_crop1(mocha).. } \text{xc}(\text{maiz,mocha}) =L= 51431.82 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop1(tisaleo).. } \text{xc}(\text{maiz,tisaleo}) =L= 7000 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop1(pillaro).. } \text{xc}(\text{maiz,pillaro}) =L= 102358.23 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- eq_crop2 =L=

$$\text{eq_crop2(mocha).. } \text{xc}(\text{mora,mocha}) =L= 48750 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop2(tisaleo).. } \text{xc}(\text{mora,tisaleo}) =L= 102725.56 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop2(pillaro).. } \text{xc}(\text{mora,pillaro}) =L= 126438.07 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- eq_crop3 =L=

$$\text{eq_crop3(mocha).. } \text{xc}(\text{papa,mocha}) =L= 93822.58 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop3(tisaleo).. } \text{xc}(\text{papa,tisaleo}) =L= 110533.78 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop3(pillaro).. } \text{xc}(\text{papa,pillaro}) =L= 126122.33 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- eq_crop4 =L=

eq_crop4(mocha).. xc(tomate,mocha) =L= 91108.11 ; (LHS = 0)

eq_crop4(tisaleo).. xc(tomate,tisaleo) =L= 0 ; (LHS = 0)

eq_crop4(pillaro).. xc(tomate,pillaro) =L= 0 ; (LHS = 0)

---- eq_calb_ag =L=

eq_calb_ag(maiz,mocha).. xc(maiz,mocha) =L= 4.550455 ; (LHS = 0)

eq_calb_ag(maiz,tisaleo).. xc(maiz,tisaleo) =L= 7.123842313 ; (LHS = 0)

eq_calb_ag(maiz,pillaro).. xc(maiz,pillaro) =L= 28.922141925 ; (LHS = 0)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

GAMS 33.2.0 r4f23b21 Released Dec 1, 2020 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
07/06/21 17:38:04 Page 3

variacion

Column Listing SOLVE variacion Using LP From line 316

---- xc

xc(maiz,mocha)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)

-19333.6826 objjt

1 eq_land(mocha)

5.49 eq_wat(Ene)

3.87 eq_wat(Feb)

6.6 eq_wat(Mar)

9 eq_wat(Abr)

10.15 eq_wat(May)

9.51 eq_wat(Jun)

6.07 eq_wat(Jul)
9.06 eq_wat(Ago)
5.49 eq_wat(Nov)
3.87 eq_wat(Dic)
48 eq_mo
1 eq_crop1(mocha)
1 eq_calb_ag(maiz,mocha)

xc(maiz,tisaleo)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)

-228 objjt
1 eq_land(tisaleo)
5.49 eq_wat(Ene)
3.87 eq_wat(Feb)
6.6 eq_wat(Mar)
9 eq_wat(Abr)
10.15 eq_wat(May)
9.51 eq_wat(Jun)
6.07 eq_wat(Jul)
9.06 eq_wat(Ago)
5.49 eq_wat(Nov)
3.87 eq_wat(Dic)
48 eq_mo
1 eq_crop1(tisaleo)
1 eq_calb_ag(maiz,tisaleo)

xc(maiz,pillaro)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)

-41232.0389 objjt
1 eq_land(pillaro)
5.49 eq_wat(Ene)

3.87 eq_wat(Feb)
 6.6 eq_wat(Mar)
 9 eq_wat(Abr)
 10.15 eq_wat(May)
 9.51 eq_wat(Jun)
 6.07 eq_wat(Jul)
 9.06 eq_wat(Ago)
 5.49 eq_wat(Nov)
 3.87 eq_wat(Dic)
 48 eq_mo
 1 eq_crop1(pillaro)
 1 eq_calb_ag(maiz,pillaro)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- z

z

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

1 objjt

GAMS 33.2.0 r4f23b21 Released Dec 1, 2020 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
 07/06/21 17:38:04 Page 4

variacion

Model Statistics SOLVE variacion Using LP From line 316

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	9	SINGLE EQUATIONS	41
BLOCKS OF VARIABLES	2	SINGLE VARIABLES	13
NON ZERO ELEMENTS	197		

GENERATION TIME = 0.234 SECONDS 4 MB 33.2.0 r4f23b21 WEX-WEI
GAMS 33.2.0 r4f23b21 Released Dec 1, 2020 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
07/06/21 17:38:04 Page 5

variacion

Solution Report SOLVE variacion Using LP From line 316

SOLVE SUMMARY

MODEL	variacion	OBJECTIVE	z
TYPE	LP	DIRECTION	MAXIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	316