



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



Tema: Aplicación de modelos matemáticos para la determinación de zonas de producción en el cantón Píllaro para garantizar la seguridad alimentaria

Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, concedido por la Universidad Técnica de Ambato, por medio de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Tubón Saquina Bélgica Janneth

Tutor: Dr. Christian David Franco Crespo

Ambato - Ecuador

Marzo - 2022

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, 11 de febrero del 2022.

Dr. Christian David Franco Crespo

C.I. 171709060-7

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Bélgica Janneth Tubón Saquina, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales a excepción de las citas bibliográficas.



Bélgica Janneth Tubón Saquina

C.I. 1805006937

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS INTEGRANTES 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.

Par constancia firman:

Presidente del Tribunal

In. Cadena Carrera Santiago Esmiro PhD
C.I. 1715602593

Lic. M.Sc. Yoel Hernández Navarro
C.I. 1754821989

Ambato, 14 de Marzo del 2022

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo 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.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo 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 mis derechos de autor.



Bélgica Janneth Tubón Saquina

C.I. 1805006937

DEDICATORIA

A mi madre y padre por el esfuerzo que han hecho a diario para permitirme estudiar, a mis hermanas y sobrinita que siempre me han apoyado y animado para que culmine mis estudios.

Janneth

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por luchar constantemente para que pueda cumplir mis sueños y apoyarme firmemente en cada etapa de mi vida

A mis hermanas por el amor, ánimo y apoyo incondicional para no rendirme nunca.

A la Universidad Técnica de Ambato por permitirme cursar mi carrera y alcanzar mis metas en cuanto a estudios.

A mi tutor que con tanta paciencia siempre me brindo su ayuda, tiempo, comprensión, colaboración y conocimientos demostrando ser un excelente profesional y persona.

A mi mejor amigo que siempre me brindo su ayuda y amistad en el transcurso de toda la carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	ii
APROBACIÓN DE LOS INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
DERECHOS DEL AUTOR	ii
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1. Producción Agrícola en el Mundo	1
1.1.1. El sector agrícola en Latinoamérica	4
1.1.2. El sector agrícola en el Ecuador	5
1.1.3. El sector Agrícola en Tungurahua.....	6
1.1.4. Sector agrícola en Píllaro	8
1.1.6. Principales términos que comprenden la investigación.	11
1.1.7. Seguridad Alimentaria	11
1.1.8. Planificación agrícola.....	11
1.1.9. Modelo	12
1.1.10. Modelo de simulación.....	12
1.1.11. Programación Lineal	12

1.1.12.	Requerimiento de Tierra	13
1.1.13.	Disponibilidad de tierra.....	13
1.1.14.	Requerimiento de agua.....	13
1.1.15.	Disponibilidad de agua.....	14
1.1.16.	Requerimiento de mano de obra	14
1.1.17.	Disponibilidad de mano de obra	14
1.1.18.	Requerimiento de inversión	15
1.1.19.	Disponibilidad de inversión	15
1.2.	Revisión de la literatura	15
1.2.1.	Uso de modelos aplicados a la planificación agrícola.	15
1.3.	Objetivos	23
1.3.1.	Objetivo General	23
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	23
CAPÍTULO II	24
METODOLOGÍA	24
2.1.	Área de estudio	24
2.2.	Análisis de Información Recopilada	25
2.3.	Diseño del modelo	26
2.4.	Elaboración de Resultados e interpretación	29
2.5.	Medición de indicadores se seguridad alimentaria.	30
CAPÍTULO III	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1.	Caracterización de la población	31
3.1.1.	Sistema de Producción Actual	35
3.1.2.	Mano de obra en la producción agrícola	42
3.1.3.	Agua de riego	43

3.1.4. Seguridad alimentaria	45
Niveles de producción y gastos por cultivo	49
3.3. Medición de indicadores se seguridad alimentaria	60
Discusión de resultados.....	65
CAPÍTULO IV	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
4.1. Conclusiones	70
4.2. Recomendaciones.....	71
BIBLIOGRAFÍA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficies de cultivos con mayor proporción	1
Figura 2. Rendimientos de productos agrícolas en países en desarrollo desde 1961 a 2030	2
Figura 3. Porcentaje de personas de la zona rural dedicados a la agricultura.	4
Figura 4. Factores climáticos que afectan al sector agrícola.	5
Figura 5. Contribución del sector agrícola en el PBI del Ecuador	6
Figura 6. Población Económicamente Activa (PEA) según el porcentaje de actividades.	7
Figura 7. Modelo agroalimentario de diversificación media.....	9
Figura 8. Uso de Superficie Agropecuaria 2016 en ha.....	13
Figura 8. Esquema de modelización.....	18
Figura 10. Ubicación del área de estudio (cantón Píllaro) en Tungurahua	25
Figura 11. Edad de los agricultores	31
Figura 12. Género de los agricultores.....	32
Figura 13. Instrucción formal de los agricultores.....	32
Figura 14. Miembros del grupo familiar de los agricultores encuestados.....	33
Figura 15. Actividad principal de los agricultores	33
Figura 16. Actividad secundaria de los agricultores	34
Figura 17. Ingresos mensuales de los agricultores	34
Figura 18. Área de terreno agrícola de los agricultores.....	35
Figura 19. Tipos de cultivos que siembran los agricultores	36
Figura 20. Producción penúltima cosecha.....	37
Figura 21. Producción última cosecha.....	37
Figura 22. Productos comercializados.....	38
Figura 23. Lugar de venta.....	38
Figura 24. Razón baja de precio	39
Figura 25. Frecuencia de baja de precio	40
Figura 26. Ingresos semanales venta de productos agrícolas	40
Figura 27. Costo de insumos agrícolas.....	41
Figura 28. Frecuencia de compra de insumos agrícolas.....	42

<i>Figura 29.</i> Participación por género en la siembra (a), riego (b) y cosecha (c) de productos agrícolas	43
<i>Figura 30.</i> Fuente de agua de riego	44
<i>Figura 31.</i> Costo de agua de riego por cada año.....	44
<i>Figura 32.</i> Tiempo de turno de riego de agua.....	45
<i>Figura 33.</i> Conocimiento de Seguridad Alimentaria.....	46
<i>Figura 34.</i> Producción destinada a la venta	46
<i>Figura 35.</i> Producción destinada al consumo	47
<i>Figura 36.</i> Capacidad de compra de alimentos vs ingresos de los agricultores	47
<i>Figura 37.</i> Destino de ingresos a compra de alimentos	48
<i>Figura 38.</i> Hambre de los agricultores	49
<i>Figura 39.</i> Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de maíz.....	51
<i>Figura 40.</i> Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de papa.....	52
<i>Figura 41.</i> Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de mora.	53
<i>Figura 42.</i> Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de tomate de árbol.....	53
<i>Figura 43.</i> Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de otros cultivos.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de modelos basados en su función	19
Tabla 2. Indicadores de Disponibilidad	30
Tabla 3. Datos de superficie, producción, rendimiento, costos de insumos y agua de regadío e ingresos por venta de productos.	50
Tabla 4. Variable tierra	57
Tabla 5. Variable riego.....	58
Tabla 6. Variable mano de obra	58
Tabla 7. Variable inversión	59
Tabla 8. Variable Producción.....	59
Tabla 9. Kcal de los productos cultivados en el cantón Píllaro	60
Tabla 10. Suministro de Energía Alimentaria - datos encuestas.....	61
Tabla 11. Suministro de Energía Alimentaria -datos GAMS	61
Tabla 12. Producción global de Alimentos - datos encuestas	62
Tabla 13. Producción global de Alimentos - datos GAMS.....	62
Tabla 14: Rendimiento del cultivo de maíz, tomate de árbol, mora y otros productos por el total de hectáreas de terreno cultivadas - datos encuestas.....	63
Tabla 15: Rendimiento del cultivo de maíz, tomate de árbol, mora y otros productos por el total de hectáreas de terreno cultivadas - datos GAMS	64
Tabla 16. Comparación de la producción y rendimiento obtenido en base a las encuestas y bibliografía - datos encuestas	64
Tabla 17. Comparación de la producción y rendimiento obtenido en base a las encuestas y bibliografía - datos GAMS.....	64

RESUMEN

La actividad agrícola es muy importante en todos los sectores del Ecuador, debido a que esta es una de las principales fuentes de trabajo y alimentación para muchos pobladores. Sin embargo, la falta planificación a la hora de sembrar los diferentes productos trae como consecuencia que en ocasiones estos se cultiven en exceso y por ende se comercialicen a bajos precios o por el contrario que no se cultiven y los precios sean relativamente altos. El sistema de producción actual, el agua de riego, la mano de obra y la inversión que cada agricultor dispone para sus cultivos son algunos de los factores que influyen en la producción agrícola. Por este motivo, la metodología comprende el diseño de un modelo matemático para determinar las zonas de producción en el cantón Píllaro. Para aquello se utilizó el programa GAMS (General Algebraic Modeling System) diseñado principalmente para resolver problemas de sistemas no lineales y lineales, a partir de datos obtenidos mediante encuestas realizadas a 85 agricultores de diferentes zonas del cantón. Por otro lado, se aplicó el análisis de tres indicadores de seguridad alimentaria para conocer cómo se encuentra esta situación en el cantón Píllaro. Los resultados indican que la producción agrícola actual garantiza la seguridad alimentaria de los pobladores y de los territorios a los cuales llegan sus productos. Esto debido a que los productos cultivados son suficientes para asegurar la disponibilidad y demanda de los alimentos para los consumidores.

Palabras clave: modelos matemáticos, producción agrícola, agricultura familiar, seguridad alimentaria, Píllaro

ABSTRACT

Agricultural activity is very important in all sectors of Ecuador because this is one of the main sources of work and food for many inhabitants. However, the absent planning when planting the different products means that sometimes they are grown in excess and therefore are marketed at low prices or on the contrary that they are not grown, and prices are relatively high. The current production system, irrigation water, labor, and the investment that each farmer has for his crops are some of the factors that influence agricultural production. For this reason, the methodology includes the design of a mathematical model to determine the production areas in the canton of Píllaro. For this, the GAMS (General Algebraic Modeling System) program was used, designed mainly to solve problems of nonlinear and linear systems, based on data obtained through surveys of 85 farmers from different areas of the canton. On the other hand, the analysis of three food security indicators was applied to know how this situation is in the canton of Píllaro. The results indicate that current agricultural production guarantees the food security of the inhabitants and the territories to which their products arrive. This is because the products grown are sufficient to ensure the availability and demand of food for consumers.

Keywords: mathematical models, agricultural production, family farming, food security, Píllaro

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes Investigativos

1.1. Producción Agrícola en el Mundo

La actividad agrícola influye de gran manera en la economía de muchos países, esto se debe a su aporte en la producción de alimentos, el empleo que se genera a través de esta acción y su contribución en la seguridad alimentaria (**Banco Mundial, 2019**). La agricultura es fundamental para la seguridad alimentaria, debido a que garantiza la disponibilidad de alimentos suficientes y de fácil acceso a través de los años. Así también la subsistencia de la población mundial depende de la actividad agrícola (**Sonnino & Ruane, 2013**).

El sector agrícola es el más eficaz en comparación que otros sectores para mejorar la economía, de tal manera que su desarrollo es la base para impulsar los ingresos de los sectores más pobres. Así también, proveen de alimentos a toda la población que va en aumento con el transcurso de los años (**Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2015**). El 70% de la población rural se dedica a la agricultura, lo cual para muchos representa su única fuente de ingresos. Tanto hombres como mujeres se dedican a esta labor (**UNCTAD, 2013**).



Figura 1. Superficies de cultivos con mayor proporción

Fuente: Lampadia (2018).

En los últimos años tanto la producción agrícola como el rendimiento han disminuido a nivel mundial. Esta disminución no es solo efecto de la falta de tierra o agua, sino también de que los países subdesarrollados no tienen acogida en los mercados internacionales. Además de tener competidores que importan productos en los mercados internos de sus propios países. Trayendo como consecuencia la falta de ingresos y la pobreza lo que provoca que los agricultores no alcancen beneficios económicos suficientes por la práctica agrícola (Nicholls & Altieri, 2012). (Ver Figura 2).

En varios países como Brasil, México, Venezuela, Colombia, Perú, Chile, Ecuador y Argentina los agricultores tienen que afrontar algunas limitaciones en la agricultura como: carencia de crédito, falta de tecnología, difícil acceso a recursos necesarios. Por otra parte, en países de Europa y Norteamérica se entregan subsidios facilitando la productividad de alimentos. Sin embargo, estas diferencias estructurales afectan negativamente a la sostenibilidad de la agricultura de los países menos desarrollados (FAO, 2018).

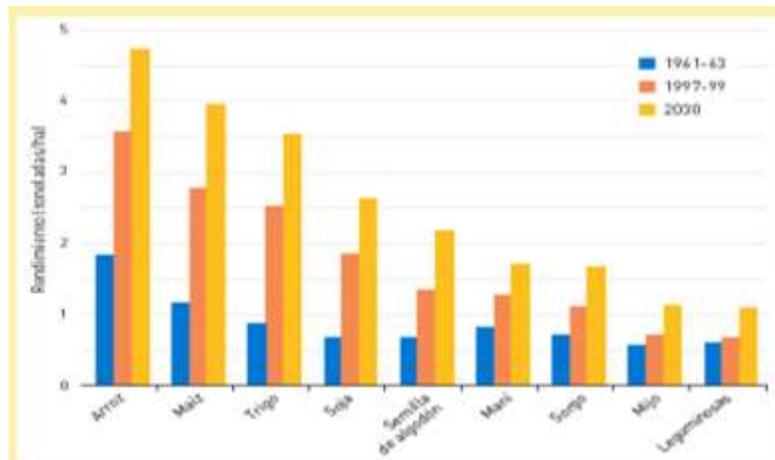


Figura 2. Rendimientos de productos agrícolas en países en desarrollo desde 1961 a 2030

Fuente: FAO (2018).

A nivel mundial se presentan dos modelos de producción primaria: el modelo agroexportador y la agricultura familiar y campesina. Los primeros se caracterizan por el acceso a grandes extensiones de terreno, capital, tecnología y mano de obra. Mientras que el segundo modelo incluye a agricultores y ganaderos que tienen acceso limitado tanto a recursos de tierra como capital y la mano de obra recae en los miembros de la familia **(Martínez, 2013)**.

El modelo agroexportador se caracteriza por ser de corte liberal. Fueron implementados a comienzos del siglo XX en América latina. Estos modelos no persiguen la industrialización de sus materias primas y se enfocan en las exportaciones de sus productos agrícolas y pecuarios **(Arcéo et al., 2019)**. Los modelos agroexportadores planteaban el aprovechamiento de los territorios con la finalidad de maximizar la producción agropecuaria, con el uso de tecnologías. Tienen el acceso a recursos o los que sean necesarios modificar las condiciones ambientales y sistemas de riego para suministrar la cantidad de agua necesaria en sus cultivos **(Terán, 2020)**.

La agricultura familiar, en cambio, es un factor clave en la economía campesina ya que que permite obtener sistemas agrícolas sostenibles y conservar la biodiversidad de cultivos mediante el aprovechamiento de recursos basados en sistemas asociativos para reducir el riesgo por pérdidas que se presentan con regularidad en los monocultivos **(Martínez, 2013)**. El 70% de los alimentos que llegan a los mercados de las ciudades provienen de la agricultura familiar, lo que representa una fuente de empleo para alrededor de 60 millones de personas en América Latina y el Caribe. Así también es una actividad fundamental en la reactivación de la economía, principalmente de zonas **rurales**. **(Salcedo & Guzmán, 2014)**.

1.1.1. El sector agrícola en Latinoamérica

La agricultura es relevante en Latinoamérica y el Caribe debido a que contribuye en promedio entre el 5 % y 18 % del Producto Interno Bruto (PIB) en alrededor de 20 países. Es considerada como la principal actividad que realizan las personas que viven en los sectores rurales y representan aproximadamente el 85,75% de la población de forma directa e indirecta que se beneficia económicamente de la agricultura (**Banco Mundial, 2020**). En los países de Latinoamérica la actividad agrícola representa el 20 % de la productividad y 1/3 de empleos para los personas (**Fénelus, 2016**). (ver Figura 3).



Figura 3. Porcentaje de personas de la zona rural dedicados a la agricultura.

Fuente: Quicaña (2020).

A partir de la década de los 80's los países en desarrollo han pasado por transformaciones como la migración de zonas rurales a lo urbano (**Rosendo et al., 2019**). La falta de ingresos provenientes de la agricultura, mejores condiciones de vida, suelos débiles y bajos precios de las cosechas son algunas de las causas que motivan a la migración sobre todo de las y los jóvenes (**Ballara et al., 2012**).

Las alternativas que se proponen desde la política pública conciben reactivar el sector agrícola con una producción planificada para mejorar el rendimiento de los productos (Aranjo, 2019). (ver Figura 4).

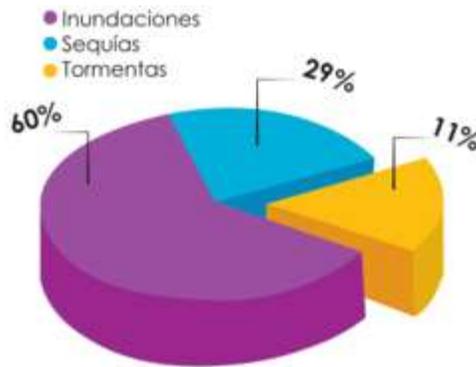


Figura 4. Factores climáticos que afectan al sector agrícola.

Fuente: TEC (2018).

Para alcanzar una producción eficiente es necesario establecer los mecanismos para reducir el riesgo ocasionado por los factores climáticos. Además, se debe considerar la disponibilidad y acceso a los factores de producción y con ello se espera reducir la incertidumbre y dotar a los productores la posibilidad de mantener un ingreso por la producción y venta de sus cosechas.

1.1.2. El sector agrícola en el Ecuador

La agricultura es una actividad fundamental en los países en desarrollo, debido a que es una fuente generadora de empleo y una de las actividades principales que permite generar ingresos para los ecuatorianos mejorando así su economía (**Márquez, 2021**). En Ecuador el sector agrícola interviene en el aporte del 10 % al PIB (2017) y con un descenso del 5% en el 2020 (**Sánchez et al., 2020**). De acuerdo con el III Censo Nacional Agropecuario el 40% de la población vive en el área rural de los cuales el 54% aproximadamente trabaja en la agricultura ocupando un 27,7 % de superficie para esta actividad (**Chuncho et al., 2021**).

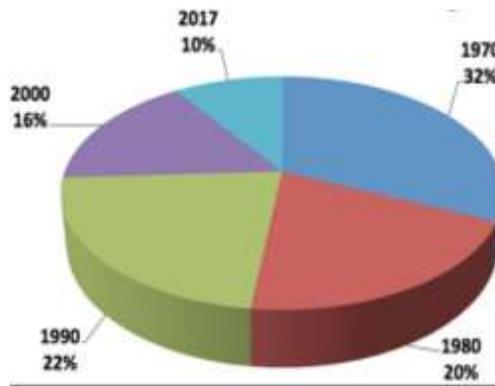


Figura 5. Contribución del sector agrícola en el PBI del Ecuador

Fuente: La Hora (2018).

Por otro lado, el sector agrícola se ve afectado por las pérdidas que se dan anualmente o por cada periodo de cultivo. Se calcula que las pérdidas alcanzan 150.542 ha de cultivos de los cuales el 52,9 % representan los cultivos permanentes. Las principales causas son las plagas, enfermedades de los cultivos, heladas y sequías (**Sánchez et al., 2018**).

Por otra parte, para la siembra de cultivos los agricultores se basan en el costo de oportunidad, es decir toman el riesgo de elegir la alternativa con la que no obtienen los mejores beneficios y como consecuencia se produce pérdidas económicas debido a una inminente reducción de los precios al momento de comercializar los productos por parte del agricultor (**Sanchez et al., 2016**).

La falta de planificación en el sector agrícola es cada vez más evidente y afecta a los agricultores. Los productos pueden llegar a precios muy bajos que no retribuyen la inversión empleada. Es así que, por medio de modelos matemáticos se espera generar alternativas para la producción, generando escenarios que se relacionen con la disponibilidad de alimentos y la seguridad alimentaria.

1.1.3. El sector Agrícola en Tungurahua

Tungurahua es una provincia integrada por 590 600 habitantes, de los cuales el 40,9% se encuentran en las zonas urbanas y el 59,1% en la zona rural. Es una provincia en la que la agricultura emplea directa e indirectamente al 27,61% del total de la población (Naranjo, 2019). Por otro lado, el 19,04% se encuentra vinculado a industrias manufactureras, el 16,88% a la venta de productos al por mayor y menor y el 11,54% a otras actividades. (ver Figura 6).

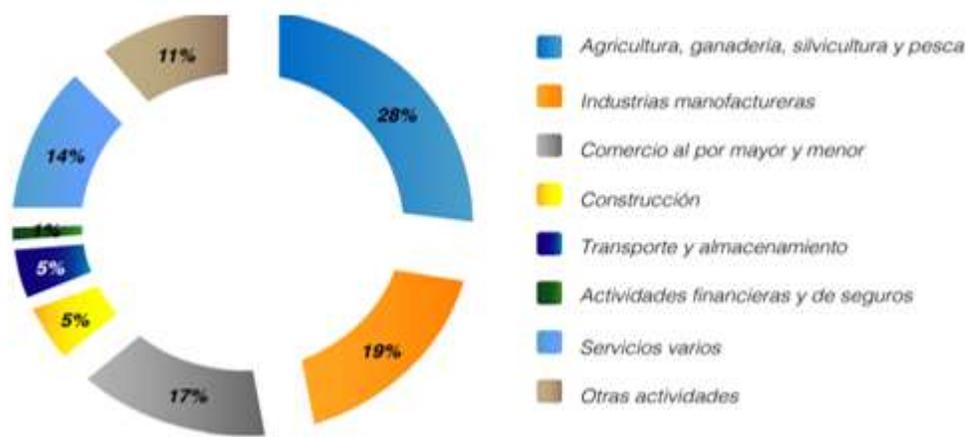


Figura 6. Población Económicamente Activa (PEA) según el porcentaje de actividades.

Fuente: Naranjo (2019).

La provincia cuenta con una superficie de 3.386 km² de los cuales 2.018,29 km² comprende zonas habitadas y cultivadas. De esta extensión el 50% compone la tierra cultivable (Naranjo, 2019). La distribución política se encuentra en nueve cantones, los mismo que tienen una variedad de productos agrícolas que se pueden sembrar debido a la diversidad de suelos que tiene cada uno de ellos. Los principales productos que se producen son: las papas, zanahoria, remolacha, tomate, col, lechuga, brócoli, fresas, mora, mandarina y aguacate (Pilla, 2014).

1.1.4. Sector agrícola en Píllaro

En últimos años se ha evidenciado una serie de problemas que está atravesando el sector agrícola en Píllaro como son las plagas, sequías y poca planificación en la producción agrícola que conlleva a la alza de precios de algunos productos y a la baja de otros (**Montatixe & Eche, 2021**). Debido a que los agricultores optan por los cultivos de sus productos en función del costo de oportunidad. Es decir, todos quieren producir el producto que se encuentre a mayor precio en esa temporada. Por lo cual se tiene como consecuencia el exceso de oferta de un mismo producto y a la vez que las personas opten por sembrar un mismo producto afectando la diversidad y disponibilidad de productos y a través de esto la seguridad alimentaria (**Gobierno Provincial de Tungurahua, 2021**).

- **Sistema de producción agrícola de Píllaro**

El sistema de producción agrícola de Píllaro se caracteriza por la rotación de cultivos, como son: papa, maíz, mora y diferentes hortalizas. El 57% de personas que se dedican a la agricultura son de género femenino. Los productos cultivados son destinados en un 29% a la comercialización local e interprovincial y el 15% para el autoconsumo. Mediante la aplicación de cultivos mixtos se logra conservar los suelos, la rentabilidad y la productividad de alimentos. De igual forma la variedad y disponibilidad de productos contribuye a una buena alimentación, la cual beneficia el desarrollo de la seguridad alimentaria (**Franco et al., 2021**). (ver Figura 6).

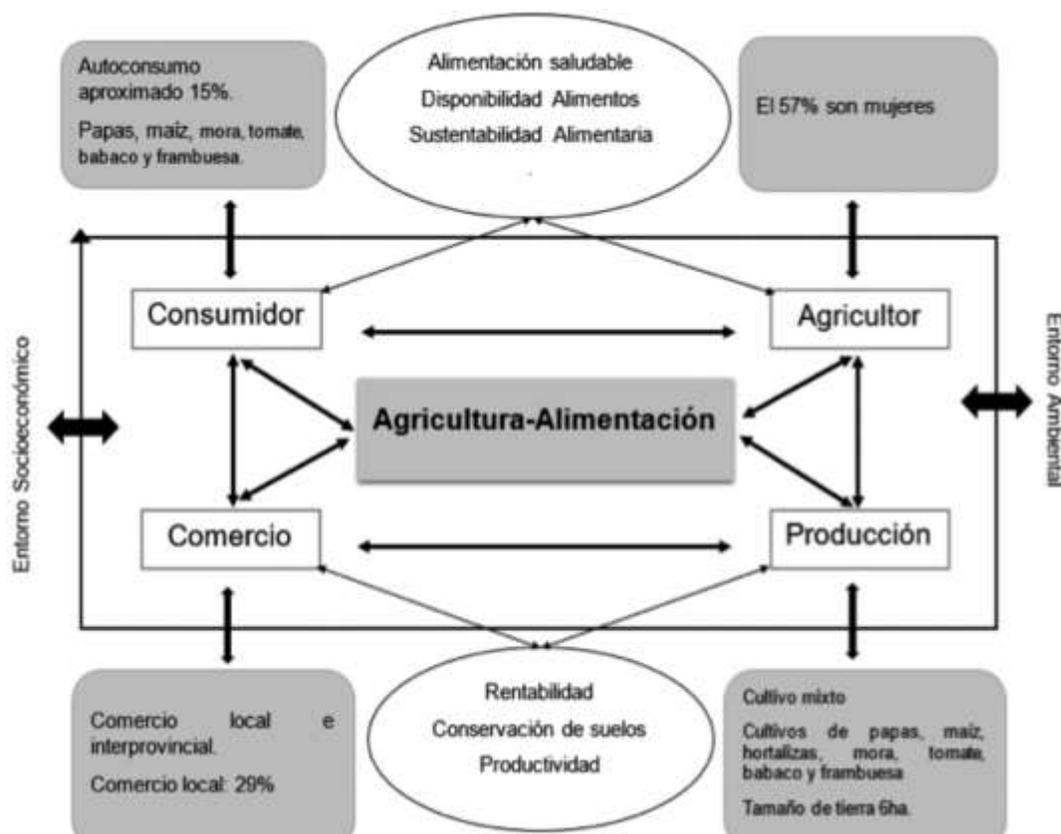


Figura 7. Modelo agroalimentario de diversificación media.

Fuente: Franco et al. (2021).

Con la finalidad de mejorar el sistema de producción agrícola actual del cantón Píllaro se busca implementar modelos matemáticos en la planificación agrícola. Debido a que estos modelos permiten recrear escenarios de la naturaleza en función de determinadas variables como tenencia de tierra, mano de obra, sistemas de riego e inversión. El uso de estos modelos busca una producción optimizada, sostenible y eficaz (Ramírez, Cárdenas, & Ruiz, 2018).

Además, mediante el uso de estos modelos se puede disminuir la sobreproducción de cultivos y a su vez mejorar la diversidad de productos agrícolas en un mismo sector. También aumentar la productividad de los cultivos y alcanzar un equilibrio en la obtención de productos agrícolas (Ramírez, Cárdenas, & Ruiz, 2018).

Mediante la planificación de producción hay que asegurar que todos los alimentos estén disponibles y a un precio accesible cuando el consumidor lo requiera. Favoreciendo a la economía tanto del productor como del consumidor y beneficiando así la seguridad alimentaria de las personas mediante la disponibilidad y acceso seguro a alimentos **(Candelaria et al., 2011)**.

La propuesta del uso de modelos matemáticos surge debido a que es más sencillo trabajar con modelos que con sistemas reales, bien sea por recursos humanos o económicos limitados. Es por esto por lo que, mediante el uso de programas matemáticos, símbolos y ecuaciones se puede representar los componentes y el funcionamiento del sistema. Obteniendo resultados predictivos para conocer y enfrentar de mejor manera el problema de la investigación **(Candelaria et al., 2011)**.

Por otro lado, para alcanzar un sistema agrícola planificado se puede mencionar el plan de cultivo que hace referencia a la cantidad de tierra ocupada por los diferentes productos agrícolas por cada año y su distribución en una misma área de terreno. Es importante tener en cuenta el tipo de suelo, el alimento que se vaya a cultivar y las necesidades de los consumidores en cada época del año **(Dury et al., 2011)**.

1.1.5. Seguridad Alimentaria

Los tres pilares fundamentales de la seguridad alimentaria es la disponibilidad, acceso y consumo saludable de alimentos **(Lozada, 2021)**. Según la **FAO et al. (2020)** se estima que para 815 millones de personas en el mundo se ve afectada su seguridad alimentaria y para el 2050 esta cifra se prevé que llegara a los 2.000 millones si no se toman las medidas correspondientes. Datos que permite conocer que a pesar de no afectar por igual a todos los individuos es un problema a nivel global **(Iberdrola, 2022)**. La seguridad alimentaria

se ha visto afectada en los últimos años por la pobreza de varios sectores, la escases de recursos, cambios ambientales, alteraciones del suelo y por la escases y precios elevados de algunos productos agrícolas. Además de los efectos socioeconómicos que surgen a partir de la pandemia, razones por las que no todas las personas tienen fácil acceso a los alimentos **(Laorden, 2016)**.

No obstante, para garantizar la seguridad alimentaria es muy importante aumentar la capacidad de distribución adecuada, acceso y compra de alimentos. Por lo cual es imprescindible la obtención de variedad de productos y en cantidades suficientes para cubrir las necesidades de la población **(Lozada, 2021)**. Esto está relacionado con la aplicación de técnicas agrícolas planificadas que permitan una mayor disponibilidad y diversidad de alimentos que permitan mejorar la dieta de los consumidores, beneficiando así su seguridad alimentaria **(Andrade, 2020)**.

1.1.6. Principales términos que comprenden la investigación.

1.1.7. Seguridad Alimentaria

Se conoce de la existencia de seguridad alimentaria cuando toda la población tiene acceso tanto físico como económico y social a alimentos seguros, nutritivos, de calidad y en cantidades suficientes. Es decir, están disponibles para su aprovechamiento en todo momento, dependiendo de las preferencias y de los hábitos de consumo de cada persona **(Mazón & Uset, 2019)**.

1.1.8. Planificación agrícola

La planificación en la agricultura posibilita realizar un trabajo más efectivo, facilitando al agricultor el conocimiento de cuándo, dónde, cómo y qué cultivo debe sembrar en un tiempo determinado con la finalidad de maximizar la producción y venta de estos.

Además, la planificación permite valorar si las técnicas son convenientes o no de usarse, optimizando así los recursos requeridos para cada producto (**Toshiaki, 2012**).

1.1.9. Modelo

Es la representación gráfica o numérica de un sistema real, actividad o algún proceso de forma que permite explicar, analizar y predecir un fenómeno o probables escenarios del futuro. Recalcando las características y variables que el interesado considere de mayor importancia. Así también un modelo permite controlar las características y variables con la finalidad de llegar al resultado esperado. Los modelos son económicos e importantes para unificar la teoría con datos experimentales (**Pérez et al., 2017**).

1.1.10. Modelo de simulación

La simulación de modelos representa un conjunto de ecuaciones, el cual incluye procesos y variables de un fenómeno real y mediante el análisis de estos se logra conocer el comportamiento de las diferentes variables implicadas en el modelo a simular. La simulación permite conocer los cambios que pueden ocurrir al manipular alguna variable y mediante esto garantizar una solución a un determinado problema, o la vez establecer alternativas adecuadas para el objetivo deseado. Se puede realizar de forma económica y rápida mediante el uso de programas digitales (**Candelaria et al., 2011**).

1.1.11. Programación Lineal

Es uno de los métodos más eficientes de cómputo matemático que permite maximizar o minimizar una función que está sujeta a variables, y estas a su vez a diversas limitaciones o restricciones expresadas por medio de ecuaciones. En la actualidad la optimización se realiza para determinar soluciones a los problemas en los que se deba tomar alguna

decisión para mejorar la productividad o encontrar un plan óptimo de ejecución (Quintero et al., 2020).

1.1.12. Requerimiento de Tierra

El requerimiento de tierra es la cantidad de tierra necesaria para cada tipo de cultivo en la producción agrícola. En donde se puede realizar diferentes actividades y técnicas para el tratamiento de suelo, esto requiere de diferentes acciones de los agricultores (FAO, 2021).

1.1.13. Disponibilidad de tierra

Es la cantidad total de hectáreas de superficie de tierra fértil disponible para que los agricultores puedan sembrar sus productos. En Ecuador la superficie utilizada tanto para la agricultura y la ganadería es del 19% del territorio, que representa 4.872.049,88 hectáreas aproximadamente (Pilataxi, 2016).

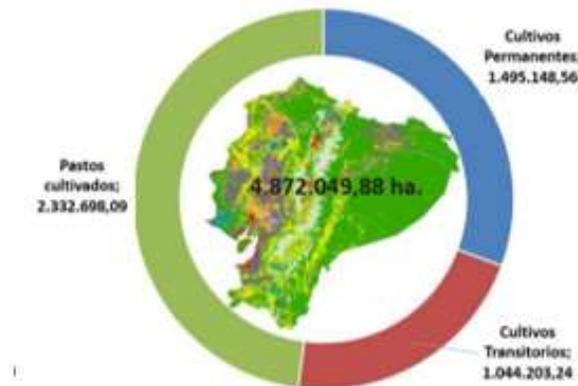


Figura 8. Uso de Superficie Agropecuaria 2016 en ha.

Fuente: Pilataxi (2016).

1.1.14. Requerimiento de agua

Representa el agua necesaria de suministrar a los cultivos por medio de sistema de riego, asegurando que los productos agrícolas tengan las óptimas condiciones de crecimiento y producción. La cantidad de agua requerida para el riego varía dependiendo de diversos factores como el clima, tipos de suelo y de cultivos **(Ruíz et al., 2011)**.

1.1.15. Disponibilidad de agua

Es la cantidad de agua que se encuentra disponible para que los agricultores puedan acceder a ella de forma rápida y segura para el riego de sus cultivos o actividades relacionadas, A nivel mundial y en el Ecuador el agua disponible que es destinada al sector agrícola es alrededor del 70% del agua dulce que posee el planeta **(Nieto et al., 2018)**.

1.1.16. Requerimiento de mano de obra

Menciona la cantidad de personas que son necesarias para realizar los trabajos requeridos para cierta actividad, en el caso de la agricultura acciones como labranza, siembra, cultivo, riego, cosecha, almacenamiento y transporte de los productos agrícolas **(Maletta, 2020)**.

1.1.17. Disponibilidad de mano de obra

Es la cantidad de trabajadores que se encuentran disponibles para realizar cierta actividad en un tiempo y lugar determinado. La mano de obra es de suma importancia debido a que sin la misma no se lograría la producción de alimentos. Esto tendría como consecuencia que los productos no lleguen hasta los hogares de las personas que los consumen **(Madariaga & Rivera, 2014)**.

1.1.18. Requerimiento de inversión

Incluye la cantidad de recursos tanto económicos, materiales y humanos que se requiere para llevar a cabo las actividades necesarias en el sector agrícola, con el objetivo de obtener beneficios y ganancias de dicha labor **(FAO, 2014)**.

1.1.19. Disponibilidad de inversión

La disponibilidad de inversión representa un monto de dinero y recursos que una persona tiene a su disposición para manejarlos con facilidad cuando sean necesarios y son destinados de acuerdo con la producción de cultivos que se desee conseguir **(Prieto, 2018)**.

1.2. Revisión de la literatura

1.2.1. Uso de modelos aplicados a la planificación agrícola.

Los modelos se han utilizado en diversas disciplinas, permitiendo conocer las características y funcionamiento de escenarios, así como para la planificación y manejo de diferentes sistemas. Son muy utilizados ya que permiten describir o explicar el comportamiento de un sistema analizado **(Hernández et al., 2009)**. El uso de modelos matemáticos facilita la comprensión de sistemas aun cuando estos tienen muchos factores o son de gran tamaño. Posibilitan el análisis de aspectos tanto tecnológicos como ambientales y económicos para predecir el rendimiento de productos agrícolas **(Segovia, 2021)**. Debido a que la modelación permite obtener una representación previa de la manipulación de variables y el uso de los recursos que se emplean con la finalidad de modificarlas o ajustarlas según sea el resultado que se desea alcanzar **(Martínez et al., 2011)**.

El sector agrícola enfrenta cada vez más retos, a causa de cambios ambientales, crecimiento de la población, bajos recursos y rendimiento de la producción (**Najafabadi et al., 2018**). Por lo que, se busca conocer los efectos de los diferentes factores que participan dentro de la agricultura con la finalidad de encontrar nuevas alternativas de mejora (Pravia, 2009). Por lo cual, día a día es necesario una herramienta que permita la toma de decisiones. Por ende, los modelos de simulación para la agricultura son de mayor utilidad para seleccionar la alternativa óptima con la que se pueda minimizar los recursos requeridos y maximizar los precios de comercialización (**Aguilar, 2020**).

1.2.2. Modelos de producción Agrícola

Existen dos clases de modelos más utilizadas en la agricultura: los modelos predictivos y los modelos mecanicistas. Los primeros son modelos descriptivos que provienen de datos observados con los que se puede valorar la producción final de un cultivo y se expresan como ecuaciones de regresión, generalmente (**Rodríguez et al., 2018**). Como, por ejemplo, el modelo de regresión lineal que describe la respuesta de los cultivos a los fertilizantes o al cambio climático (**Fernández, 2015**).

Mientras que los modelos mecanicistas pueden explicar la fisiología de los cultivos considerando factores como temperatura, fotosíntesis y uso de radiación, además de imitar procesos químicos – físicos y describir las repuestas que se obtiene (**Rodríguez et al., 2018**). Un ejemplo de esta clase es el modelo de integral térmica que posibilita la determinación de la tasa de crecimiento de los cultivos en base a la temperatura (**Fernández, 2015**).

1.2.3. Análisis de Estudios previos sobre la planificación agrícola.

El estudio de **Olubode (2006)** se enfoca en el modelo exportador, el cual comprende el uso de recursos a nivel de granja por medio de programación matemática positiva que permitió el desarrollo de un modelo del sector agrario con el uso de datos regionales y a nivel de finca, simulando los factores de riesgo en los productos agrícolas y ganaderos, así como la distribución de tierra, uso de recursos y rendimiento de producción. En la investigación se incluyeron granjas grandes y pequeñas con la finalidad de evaluar como difieren las respuestas entre estas, mediante la simulación de escenarios y los impactos que podrían tener estos como el precio y producción de los cultivos. De igual manera tomando en cuenta algunas limitaciones como la restricción de recursos y calidad de suelos.

Para conocer más sobre el modelo de agricultura familiar se puede mencionar el estudio realizado por **Franco-Crespo & Sumpsi (2017)** acerca de “el impacto de las políticas de precios de agua de riego para las granjas agroalimentarias en Ecuador”, este trabajo presenta la simulación de escenarios mediante programación matemática positiva (PMP), con la finalidad de analizar el impacto económico y los efectos que tienen las políticas de precios de agua en diferentes cultivos del Ecuador. De igual manera evalúa las consecuencias de los costos de agua sobre los ingresos de los agricultores y los beneficios de la optimización del consumo de esta en los sistemas de riego.

El desarrollo de este trabajo de investigación fue realizado mediante datos recopilados a través de encuestas y entrevistas a varios agricultores. Los datos obtenidos fueron modelados con el sistema General Algebraic Modeling System (GAMS) y solventados con el solucionador numérico CONOPT3. La simulación de escenarios fue ejecutada por medio del modelado de Análisis de Sistema Agroalimentario (AFSAM) que permite la maximización de ingresos de los cultivadores, tomando en cuenta las restricciones de los recursos utilizados para la producción de los diferentes productos.

Castro & Hétier (2015) en su investigación menciona que los modelos matemáticos pueden representar relaciones entre cualidades y cantidades del suelo y los cultivos que pueden agruparse en base a la modelización para obtener resultados en base a los cuales se puede realizar una comparación con el sistema actual y lo que se quiere alcanzar.

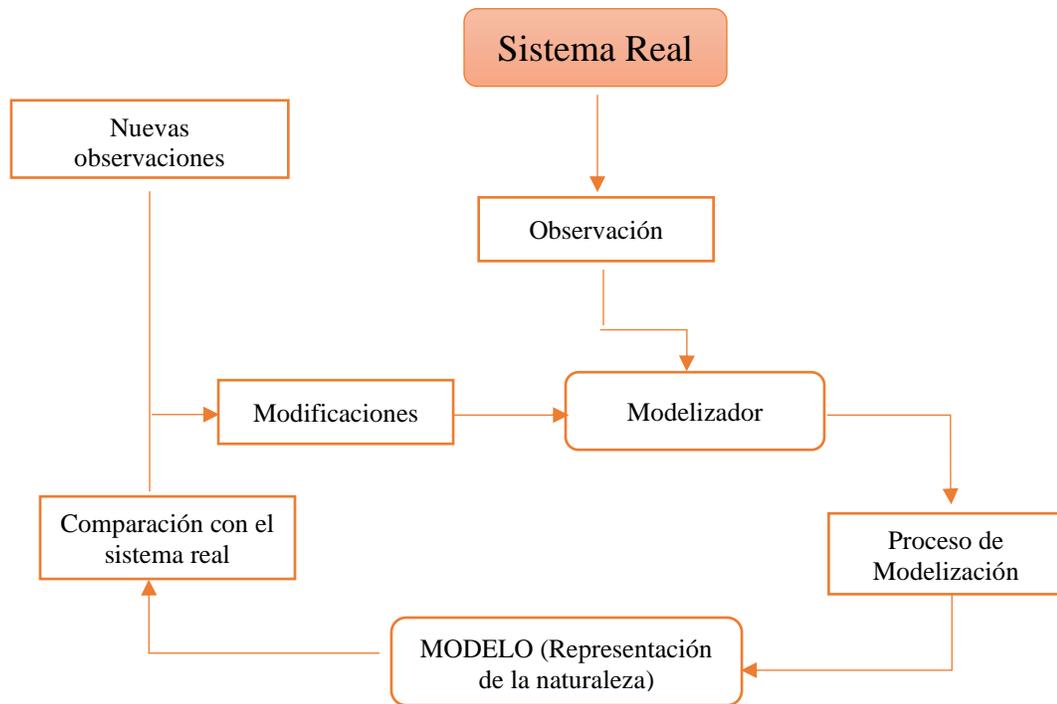


Figura 9. Esquema de modelización.

Fuente: Castro & Hétier (2015).

Esta investigación también hace referencia a que los modelos pueden ser ejecutados mediante ecuaciones simples. Pero que sean las adecuadas con la finalidad de que estas simulen resultados satisfactorios, relacionando las variables y factores que influyen en el modelo. De igual forma da a conocer las limitaciones del uso y desarrollo de modelos, entre los cuales menciona que existen numerosos modelos que se pueden aplicar lo que implica que los investigadores deben estar preparándose constantemente. De igual forma contiene algunas ventajas de los modelos como: el hecho de que son eficientes, rápidos y generalmente de bajo costo. Además, permiten conocer el efecto a futuro, se puede emplear la modelización antes de recurrir a la aplicación de algún método (**Castro & Hétier, 2015**).

La modelación en procesos agrícolas ha sido implementada en los últimos tiempos debido a que es más sencillo trabajar con la modelos que experimentar en sistemas reales. Por esto la planificación agrícola se ha convertido en una actividad común sustentable y es útil en cuanto a la predicción de resultados utilizando factores específicos **Candelaria et al. (2011)**.

De igual manera específica tipos de modelos en base a su función:

Tabla 1. Tipos de modelos basados en su función

Tipo	Característica
Por su función	
Descriptivos	Describe características del fenómeno en estudio, se puede realizar a través de entrevistas personales, encuestas, observación participante, etc.
Explicativos	Busca explicar las causas del fenómeno de estudio, basada en la obtención de muestras representativas. El análisis de datos se realiza mediante diseños experimentales.
Predictivos	Se toma datos obtenidos anteriormente y se basa en procesos etnográficos, estocásticos y simulación.

Fuente: Candelaria et al. (2011).

La metodología propuesta busca obtener como resultados en el mejoramiento de la producción, optimizando los recursos económicos, humanos y ambientales como preparación de la tierra, riego, mano de obra, control de plagas, cosecha y almacenamiento. A la vez, se logra incrementar los ingresos de los agricultores en la comercialización de sus productos **Candelaria et al. (2011)**.

La modelación matemática también se ha empleado en la toma de decisiones que ayuden a una planificación agrícola acertada. Es decir, se ha aplicado una función objetivo con sus respectivas restricciones, mediante la cual se pueda determinar la cantidad de cultivos óptimos a ser sembrados, tomando en cuenta todos los recursos disponibles para la actividad agrícola como el agua, la inversión, crédito, entre otros (**León, 2017**).

Los modelos matemáticos permiten conocer que tipos de cultivos y las parcelas necesarias que se debe sembrar de cada una de ellas con el objetivo de aumentar los ingresos de los agricultores. Esta planificación se la realiza cada vez que se vaya a dar inicio al ciclo de producción. Los modelos propuestos en esta investigación para la planificación de cultivos funcionaron de manera eficaz debido a que se obtuvieron soluciones rápidas y exactas (**Cid, 2012**).

Roche et al. (2003) emplea un modelo de programación utilizado para la planificación de fincas que determina la distribución de cultivos y busca resolver problemas de cómo organizar los cultivos, cuando volverlos a sembrar. El principal objetivo del modelo propuesto en este trabajo fue la planificación de la tierra óptima para el cultivo, maximizando la cantidad de producción y la disponibilidad de productos para la población.

En cambio, **Crosson et al. (2005)** establece la planificación de los sistemas de producción ganadera, los mismos que tienen un conjunto de restricciones y alternativas de manejo. El modelo utilizada es el de la Grange Beef que ayuda a encontrar el escenario óptimo basado en los recursos utilizables, como agua, tierras para pastoreo, cereales y las limitaciones como el costo de los insumos, precio de los cereales, labranza de las tierras para pastoreo, clima, producción y precio de comercialización. Mediante la aplicación de todas estas características y variables se puede obtener diferentes escenarios de los cuales se elegirá

el óptimo para aplicarlo en sistemas reales.

Los modelos matemáticos también son utilizados en investigaciones de optimización de uso de tierra, mediante métodos de evaluación económica y esto a su vez usan indicadores de ingresos y rendimiento que buscan una maximización del ingreso bruto. El rendimiento de cada cultivo en un área determinada es conocido como unos de los principales indicadores en la agricultura.

Estos indicadores también se pueden emplear para la planificación de fertilidad de los suelos, el cultivo de productos y para conocer los resultados económicos que proporcionan los cultivos. La aplicación de métodos de evaluación económica se realiza para encontrar una ordenación sostenible del uso de tierras, aprovechando su potencial de producción. Por medio de ello el abastecimiento de productos de buena calidad en los mercados, además de ayudar al incremento de fuentes de trabajo y a la economía de los sectores rurales (**Taratula et al., 2019**).

Por otro lado, **Louhichi et al. (2010)** presenta un modelo agrícola bioeconómico (BEFM) por medio del cual propuso la evaluación el impacto económica de sistemas agrícolas y ambientales antes y después de la aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura. El BEFM permite evaluar emisiones al medio ambiente producto de la agricultura, así como los efectos que trae el trabajo de campo para los cultivos en la naturaleza. Los modelos bioeconómicos también consiguen estimar el rendimiento de sistemas agrícolas. Estos modelos son aplicados por que permiten conocer las decisiones de gestión de recursos y las alternativas que se pueden utilizar para las posibilidades de producción buscando maximizar la cantidad de producción de una granja tomando en cuenta varias restricciones que se pueden presentar en el transcurso del tiempo.

Los modelos matemáticos también son utilizados en la agricultura para el manejo de cultivos en ambientes controlados con la finalidad de monitorear el rendimiento y el consumo de recursos de los cultivos. Estos modelos permiten predecir los efectos que tienen ciertas restricciones con las plantas como la intensidad de la luz, temperatura del aire, cierre del dosel, tiempo de cosecha y humedad relativa. En este trabajo se aplicó el modelo de cascada de energía que es un modelo explicativo que abarca ecuaciones multivariadas mediante la utilización de curvas de datos experimentales (**Amitrano et al., 2020**).

La investigación realizada por **Knowler (2002)** señala que los modelos bioeconómicos pueden emplearse para distinguir los efectos que produce los cambios en la calidad del ambiente en la pesca, estos modelos pueden ser estáticos o dinámicos. Donde se debe tomar en cuenta los factores que influyen en la calidad del ambiente, en las ganancias económicas, en el uso de insumos ambientales y en el crecimiento de una cosecha. Los modelos estáticos pueden ser aplicados para maximizar los beneficios a corto plazo o el equilibrio a largo plazo.

Este modelo no tiene en cuenta el ajuste de un tamaño óptimo de stock. Mientras que en los modelos dinámicos se requiere un estricto control de las variables como el esfuerzo de pesca y población que son expresados en función del tiempo. Sin embargo, los modelos más utilizados en estos casos son los modelos bioeconómicos estáticos debido a que este incorpora la variable hábitat en su modelo empírico.

La investigación realizada por **Beznosov et al. (2019)** sugiere el uso de la modelización económica y matemática como mecanismos económicos que benefician el ahorro de recursos, costos de producción y eficiencia de métodos empleados para la producción en la agricultura. Para el desarrollo de estos modelos se debe tomar como base diferentes características como tipos, fertilidad y condición de suelos, pérdidas de productos, calidad

de los cultivos y la seguridad del ambiente. Mediante la aplicación de esta modelización donde se emplearon diferentes ecuaciones, incluyendo la función objetivo se puede planificar que los recursos necesarios estén disponibles en un periodo determinado, así como controlar la demanda de productos variados y los costos de producción.

Deepa et al. (2020) aplica un modelo estadístico multivariante, el cual fue realizado con la selección de tierras donde sembraban tres diferentes cultivos tomando en cuenta los factores que influían en cada uno de ellos. Para el desarrollo del modelo se seleccionaron tres tipos de cultivos, una función objetivo y 26 factores, datos obtenidos de la tierra experimental y mediante encuestas a los agricultores mediante los cuales se obtiene la información necesaria para llevar a cabo la aplicación del modelo y obtener los resultados buscados. Sin embargo, existe la limitación de que en los problemas de decisión solo se puede aplicar un limitado número de restricciones y alternativas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Aplicar modelos matemáticos para la determinación de zonas de producción en el cantón Píllaro para garantizar la seguridad alimentaria

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer el sistema de producción actual de los alimentos del cantón Píllaro.
- Diseñar un modelo matemático que permita plantear la producción de alimentos de forma planificada y garantizar la seguridad alimentaria.
- Determinar el impacto en la producción de alimentos de un modelo de programación lineal
- Estimar la seguridad alimentaria por la modelación de la producción.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

En este capítulo se diseña un modelo matemático que permita determinar las zonas de producción del cantón Píllaro. Tomando en cuenta diferentes factores que intervienen en la producción agrícola como la disponibilidad de tierra, agua, mano de obra, capital e inversión. Este trabajo se realiza con datos obtenidos con anterioridad en encuestas y serán analizados mediante el programa matemático GAMS principalmente y complementado con el uso de otros programas como Microsoft Excel y SPSS.

El desarrollo de este trabajo de investigación se empleará la programación lineal, un método deductivo con modelos predictivos y con enfoque cuantitativa-descriptiva, cuyo nivel es no experimental, en el que intervienen variables dependientes como la variable tierra y factores de producción agrícola, como el riego, mano de obra, capital e inversión **(Hazell & Norton, 1986)**.

2.1. Área de estudio

El área de estudio de las zonas de producción comprende el cantón Píllaro ubicada en la provincia de Tungurahua, es el segundo cantón más poblado con el 25.5% de habitantes, siendo el primero Ambato **(Récalc, 2010)**. Píllaro es un cantón que tiene suelos fértiles, climas variados que van desde semitrópicos en los sectores bajos y climas muy fríos en los páramos. Este sector se dedica principalmente a la agricultura, con el cultivo de diferentes productos, principalmente papás, tomate de árbol, col, mora, manzana, granadilla, claudia, pera y durazno. Por lo cual es un lugar donde el comercio de productos es una de las principales fuentes de ingresos para los residentes de este cantón **(HORA, 2013)**.



Figura 10. Ubicación del área de estudio (cantón Píllaro) en Tungurahua
Ambato digital, (2019)

2.2. Análisis de Información Recopilada

La información se recopiló a través de una encuesta semiestructurada con preguntas cerradas que incluye información de: edad, género, disponibilidad de tierra, acceso a agua de riego, actividades agrícolas que desarrollan las personas, tipos y rendimiento de cultivos, ingresos, egresos de producción y seguridad alimentaria del cantón Píllaro de la Provincia de Tungurahua. Estas encuestas fueron aplicadas a 85 agricultores.

El tipo de muestreo utilizado para la selección de la muestra fue de tipo no probabilístico, debido a que los modelos de optimización matemática no requieren de muestras grandes de información. En el muestreo no probabilístico la muestra no es estadísticamente representativa, son casuales e informales y se fundamentan en la información general sobre las variables de una población (**Otzen & Manterola, 2017**).

Con los datos obtenidos de las encuestas aplicadas se ejecutará el diseño de un modelo

matemático para la determinación de zonas de producción en el cantón Píllaro, con el uso del programa informático General Algebraic Modeling System (GAMS), con la hoja de cálculo Microsoft Excel y el programa estadístico SPSS.

2.3. Diseño del modelo

La base del diseño del modelo es la función de programación lineal de la granja (**Hazell & Norton, 1986**) que permite maximizar los beneficios, sin dejar de lado las restricciones que se presentan en la agricultura. La función Objetivo es:

$$\max Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Tal que;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i$$
$$X_j \geq 0,$$

Donde:

X_j = Nivel de la j-ésima actividad agrícola, donde **n** es el número de posibles actividades.

C_j =Margen bruto previsto de la j-ésima actividad

a_{ij} =Cantidad de recurso requerido para producir una unidad de la j-ésima actividad, donde **m** es el número de recurso.

b_i =Cantidad del i-ésimo recurso disponible de tierra o días de trabajo.

Función objetivo adaptada

La función objetivo que se utilizó para el presente trabajo se basa en el modelo desarrollado por (**Castillo, 2020**). Con la cual se propone maximizar el rendimiento de un

área de producción mediante la función objetivo y varias restricciones y recursos disponibles.

$$\max Z = \sum_{j=1}^n Rend * Xi - cost$$

Donde:

Z= Función objetivo

Rend= Relación entre cantidad de producto obtenido por metro cuadrado de terreno y el tamaño total del mismo.

Xi= Precio

Cost=Costo de inversión

Restricciones:

La función objetiva presentada anteriormente está sujeta a ciertas restricciones en base a la disponibilidad de recursos. De igual manera este modelo matemático abarca la variable tierra y otros factores de producción como el riego, mano de obra, capital e inversión, las mismas que fueron tomadas y adecuadas a las ecuaciones del estudio de (**Castillo, 2020**).

• **Restricción de tierra**

$$\sum_j^n reqtierra * Xi \leq dt$$

Donde:

reqtierra= Requerimiento de tierra

Xi=Precio

dt= Disponibilidad de tierra

- **Restricción de riego** Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

$$\sum_j^n reagua * Xi \leq da$$

Donde:

reqagua= Requerimiento de agua

Xi=Precio

da= Disponibilidad de agua

- **Restricción de mano de obra**

$$\sum_i^N reqmano\ de\ obra * Xi \leq mo$$

Donde:

- **Reqmano de obra**= Requerimiento de mano de obra

Xi=Precio

dmo= Disponibilidad de mano de obra

- **Restricción de capital**

$$\sum_i^N recapital * Xi \leq dc$$

Donde:

reqcapital= Requerimiento de agua

Xi=Precio

dc= Disponibilidad de agua

• **Restricción de inversión**

$$\sum_i^N reinversión * Xi \leq di$$

Donde:

reqinversión= Requerimiento de agua

Xi=Precio

di= Disponibilidad de agua

• **Condición de no negatividad**

$$Xi \geq 0$$

2.4. Elaboración de Resultados e interpretación

Para el desarrollo de resultados se utiliza el programa GAMS (General Algebraic Modeling System) diseñado principalmente para resolver problemas de sistemas no lineales y lineales. En donde se introduce el modelo y mediante un solver se obtiene una solución óptima. El sistema permite optimizar tiempo debido a que puede trabajar con sistemas de gran tamaño y en este programa se pueden manipular fácilmente las variables, obteniendo así nuevos resultados en pocos segundos (**Barrera & Tarapuez, 2010**).

La programación matemática con el uso de GAMS permite la modelación de panoramas que muestren el impacto de las variables sobre las zonas de producción y por medio de esto encontrar las mejores áreas en las que se puedan cultivar cada producto, mejorando así la seguridad alimentaria del Cantón Píllaro.

2.5. Medición de indicadores de seguridad alimentaria.

Es fundamental conocer el estado en el que se encuentra la seguridad alimentaria de un sector determinado, por lo cual su medición mediante indicadores es necesario para vigilar sus resultados y los cambios producidos al aplicar la modelación de producción, en este caso se utilizarán los indicadores de disponibilidad alimentaria (Figuroa, 2005).

Tabla 2. Indicadores de Disponibilidad

Indicador	Definición	Unidad	Operación
Suministro de energía Alimentaria	Suministro de energía de los alimentos disponibles en el sector para consumo en un año versus el requerimiento promedio de energía de las personas	$\frac{Kcal}{día}$	$\frac{\frac{Kcal}{día}}{Requerimiento\ de\ energía} * 100$
Producción global de Alimentos	Producción del sector en un año específico en relación con la producción de un determinado período	-	$\frac{Producción\ Anual}{Producción\ por\ período}$
Rendimiento por hectáreas de cultivos	Cantidad de cultivos producidos por cada hectárea sembrada	-	$\frac{Cantidad\ producida\ de\ cultivo}{Área\ de\ Cultivo}$

(García & Pérez, 2016).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cantón Píllaro cuenta con suelos fértiles, climas variados y fuentes de agua de riego que permiten la producción agrícola en este sector. La agricultura es una de las actividades principales de los pobladores del cantón. Y es la base de la economía de este lugar, mediante el trabajo de los agricultores en los cultivos (La Hora, 2013).

Los datos se obtuvieron a partir de encuestas realizadas a 85 agricultores diferentes zonas del cantón Píllaro.

3.1. Caracterización de la población

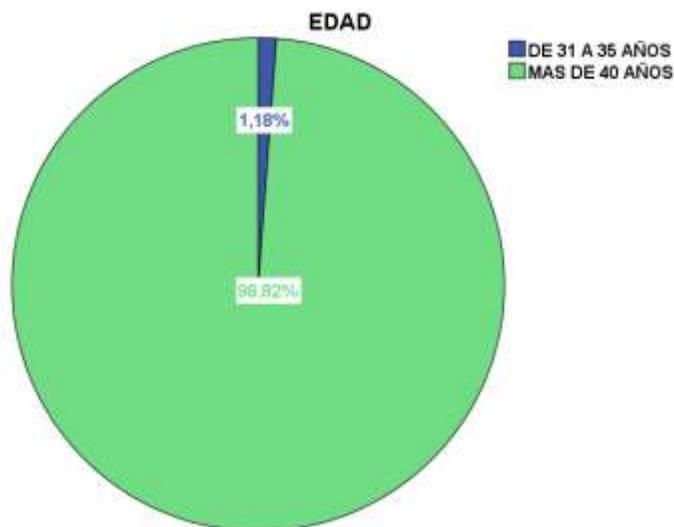


Figura 11. Edad de los agricultores

La Figura 11 se evidencia que el 98,82% de personas tienen edad superior a los 40 años, y el 1,18 % de agricultores entre los 31-35 años, por lo cual se puede conocer que las personas que se dedican a la agricultura principalmente son los mayores.

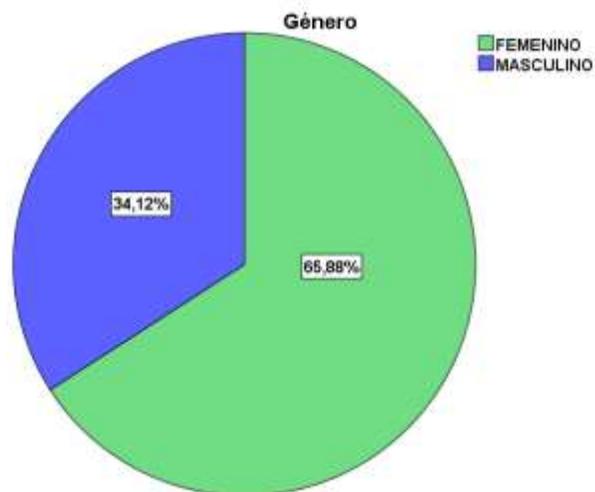


Figura 12. Género de los agricultores

En la Figura 12 se evidencia que el 65.88% de los agricultores son mujeres y el 34,12% son hombres. Dando a conocer que la participación del género femenino en la agricultura es muy importante para impulsar la actividad agrícola.

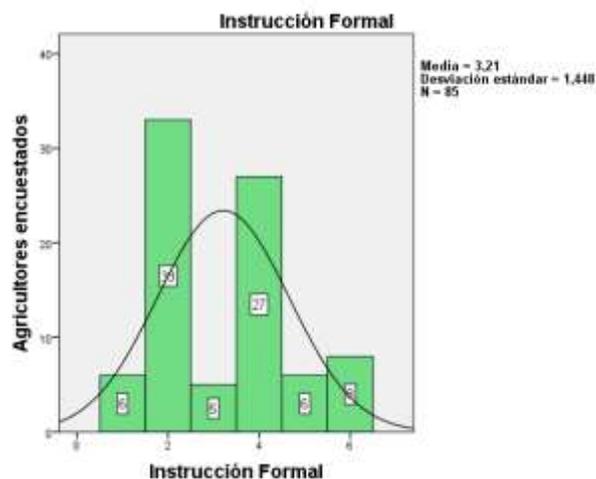


Figura 13. Instrucción formal de los agricultores

En cuanto a la instrucción formal la Figura 13 muestra que 33 personas culminaron la primaria, 27 la secundaria, 8 también la universidad. Por otro lado, las personas que no terminaron ni la primaria ni secundaria son 5 y las que no poseen estudios son 6. Estos datos pueden relacionarse a las posibilidades socioeconómicas de las personas a acceder a la educación.

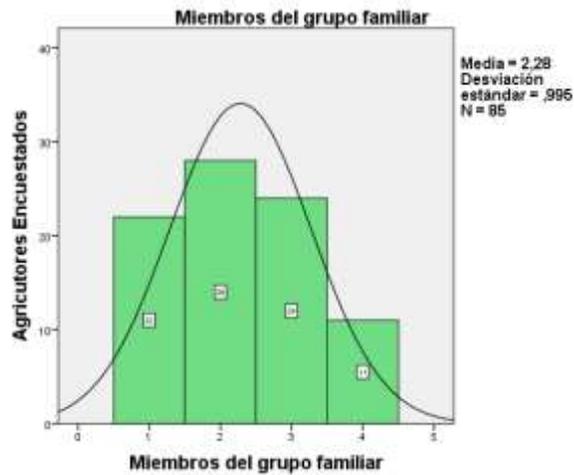


Figura 14. Miembros del grupo familiar de los agricultores encuestados

En la Figura 14 se puede observar que 32,9% de los agricultores encuestados forman un grupo familiar de 3-4 miembros, seguido del 28,2% que tienen familias integradas por 5 y 6 miembros, 25,9% de individuos de 1-2 integrantes y el 12,9% de agricultores forman familias de más de 6 miembros.

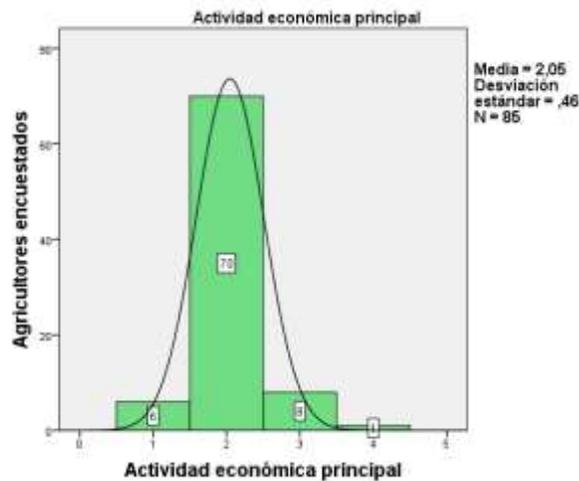


Figura 15. Actividad principal de los agricultores

Los resultados en la Figura 15 indican que el mayor porcentaje de las personas se dedican a la agricultura como actividad principal, siendo el 82,4% que tiene como fuente de su economía el cultivo de diversos productos agrícolas. Mientras que el 9,4% se dedica a

realizar otro tipo de actividades como albañilería y plomería, el 7,1% a trabajos de oficina y el 1,2% a trabajos de ventas, siendo estas su principal fuente de ingresos.

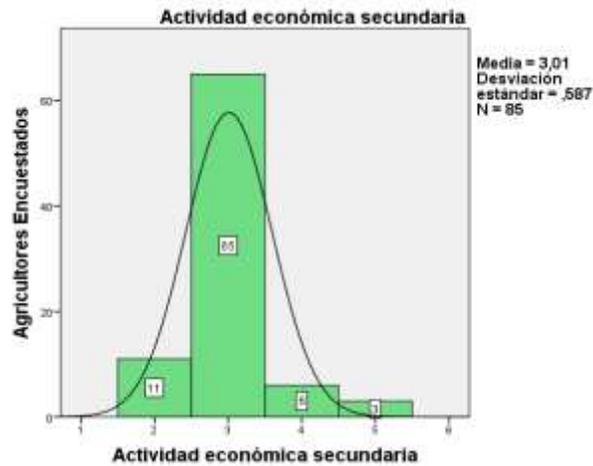


Figura 16. Actividad secundaria de los agricultores

Al ser la mayoría de los encuestados agricultores, el mayor porcentaje 76,5% de ellos se dedican netamente a esta actividad por ende no realizan ninguna actividad secundaria. Mientras que las personas que tienen como actividad principal otro tipo de trabajo optan por la agricultura como una fuente de ingreso secundaria siendo el 12,9%, mientras que el 7,1% realiza trabajos como albañilería, plomería, trabajos de guardia y el 3,5% se dedica al sector de ventas además de la agricultura.

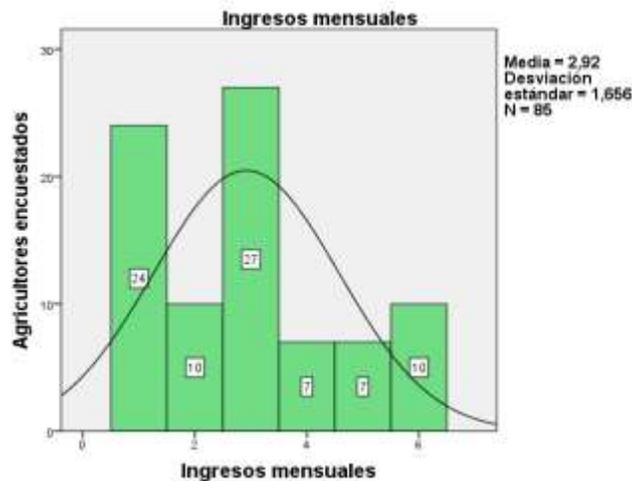


Figura 17. Ingresos mensuales de los agricultores

La Figura 17 presenta que el 28,2% de agricultores tienen ingresos mensuales menores a 100 dólares, el 31,8% entre 100 - 200 dólares, el 8,2% entre 200-300, los cuales pueden relacionarse al bajo rendimiento de los productos agrícolas, debido a pérdidas por plagas, heladas, sistemas de riego y también a los bajos precios en la comercialización y la poca demanda de productos. Mientras que alrededor del 11,8% de personas logran cantidades entre 400 y 600 \$, estos valores pueden ser resultado de la mejor planificación, tratamiento de cultivos, mayor producción y venta de sus productos.

3.1.1. Sistema de Producción Actual

En la actualidad la producción agrícola se ha visto afectada por distintos factores medioambientales, por medio de los cuales se ha evidenciado una disminución en la cultivo de algunos productos y la sobreproducción de otros. Causando variaciones evidentes de precio y la disminución de la demanda de algunos productos por parte de los consumidores. Por otro lado la planificación de cultivos es deficiente en función de las necesidades de los pobladores del cantón (**Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019**).

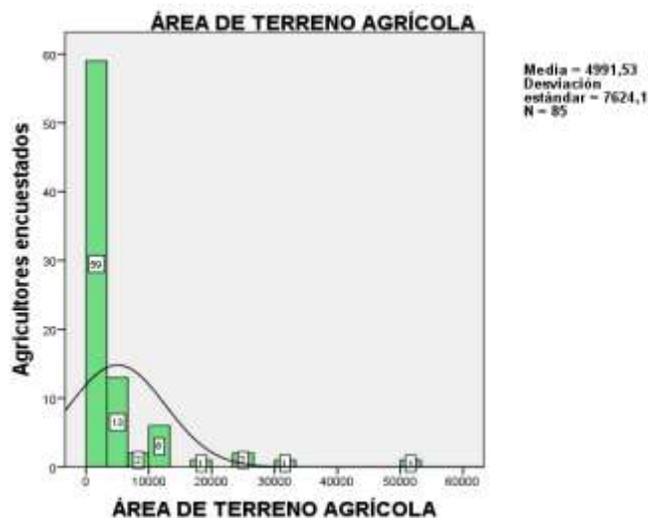


Figura 18. Área de terreno agrícola de los agricultores

En la Figura 18 se evidencia que la cantidad de terreno correspondiente a todos los agricultores es muy variada debido a que algunos tienen pequeñas cantidades y otros grandes tamaños de tierra, estas cantidades varían desde 80 hasta 50.000 m². Sin embargo, 48,2% de personas coinciden en la tenencia de 1.600 - 6.400 m² de terreno destinados para la actividad agrícola.

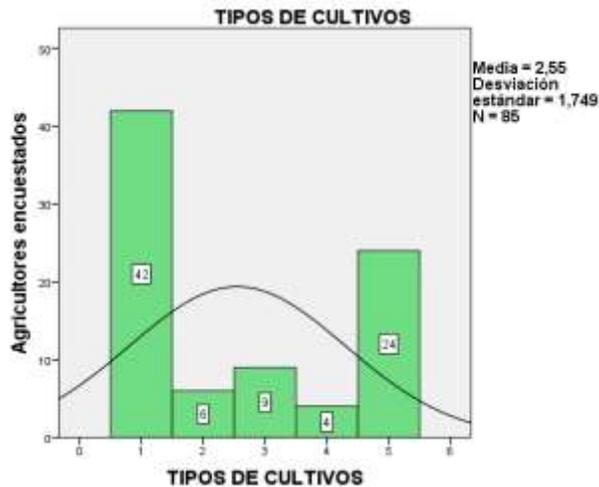


Figura 19. Tipos de cultivos que siembran los agricultores

La Figura 19 muestra que 42 los de los agricultores encuestados se dedican principalmente al cultivo de maíz, esto puede darse debido a que la inversión para el cultivo es menor en comparación con otros tipos de productos. Así como el trabajo que se realiza es menos forzado en comparación con la siembra de papas. Por otro lado 6 personas se dedican al cultivo de mora, 9 a la producción de papa, 4 de tomate de árbol y 24 personas se dedican al cultivo de otros productos tales como habas, arveja, zambo, frejol, tomate de riñón, lechuga, col, etc. Basándose en el conocimiento y habilidades que tienen para el cultivo de determinado producto.

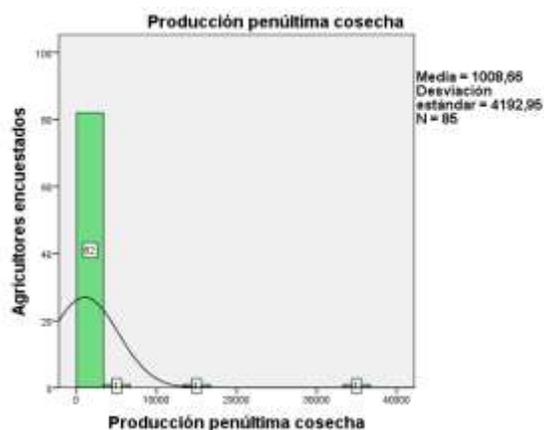


Figura 20. Producción penúltima cosecha

En cuanto a la producción que obtuvieron los agricultores en su penúltima cosecha se puede evidenciar en la Figura 20 que la producción varía desde los 7 a 36367 kg de producto, e incluso se tienen resultados de 0 kg debido a que algunos de los encuestados perdieron su producción a causa de plagas, heladas o por otro lado era su primera producción.

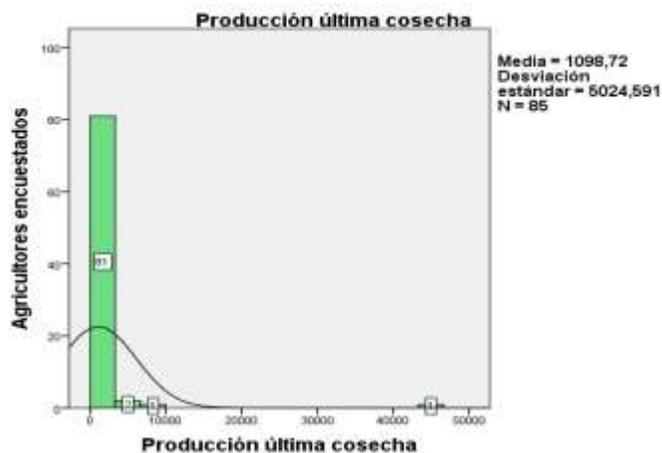


Figura 21. Producción última cosecha

Para conocer la producción de la última cosecha se describe la Figura 21, donde se observa que las cantidades obtenidas son mayores a la cosecha anterior debido a que algunas de las personas encuestadas obtuvieron desde 11 hasta 45.455 kg de producto dependiendo del área cosechada, rendimiento y producto cultivado, mientras que de igual forma otras

no lograron cosechar nada debido a las pérdidas que se presentaron en la siembra.

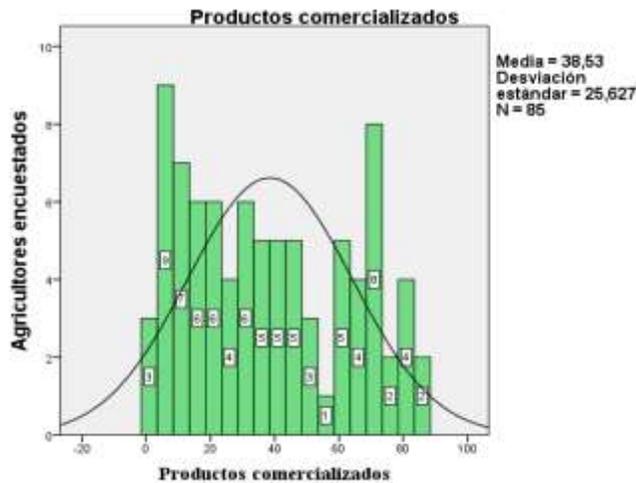


Figura 22. Productos comercializados

Los resultados en la Figura 22 indican que existen varios tipos de productos que son comercializados, entre ellos se encuentran la papa, maíz, mora, tomate de árbol, babaco, remolacha, lechuga, uvilla, brócoli, zambo, cebolla, arveja, ajo, aguacate, hierva, incluyendo cuyes, conejos, gallinas, chanchos, ganado, leche y queso. Siendo los productos más comúnmente comercializados de los agricultores las papas, maíz, mora, leche y cuyes.

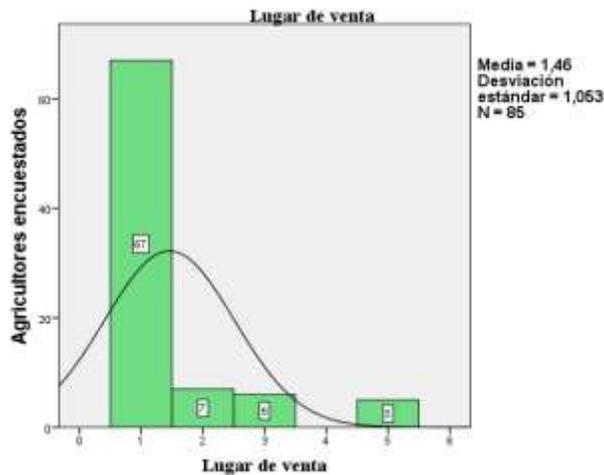


Figura 23. Lugar de venta

En el caso del lugar de venta evidenciado en la Figura 23 la mayor parte de las personas siendo estas 67 lo realizan en el mismo cantón, optimizando costos en vehículos de carga y transporte. Mientras que 7 de ellas lo realizan en otros cantones cercanos, por la existencia de mayor demanda de sus productos y por ende mejores precios. 6 lo hacen tanto en el mismo cantón y fuera de este buscando las mejores oportunidades de comercialización de sus productos y 5 no vende sus cultivos en ningún lugar debido a que utilizan sus productos para autoconsumo.

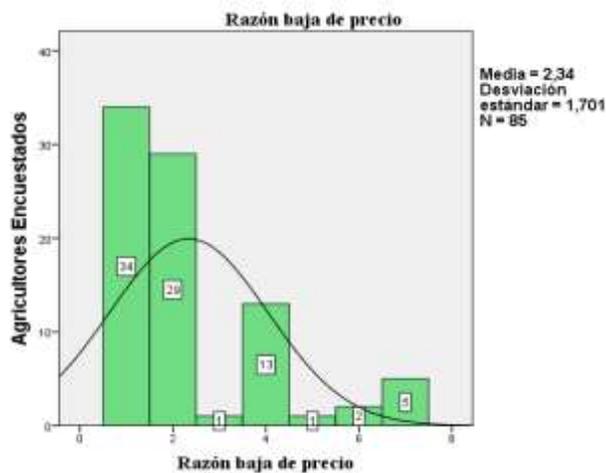


Figura 24. Razón baja de precio

En la actualidad la baja de precios de los productos agrícolas ha sido evidente en el cantón Píllaro, esto debido a diferentes razones que mencionan los agricultores y se presentan en la Figura 24. Para la mayoría de ellos siendo el 40% la principal causa es el exceso de producción de un alimento, por ende, no se puede vender a un precio apropiado, para el 34,1% la competencia que surge al ingresar productos de otros cantones causando de igual manera un exceso de comercialización de algunos productos. Por otro lado, el 15,3% de las personas comentan que es debido a que los compradores no tienen el dinero suficiente para adquirir los productos necesarios y otras personas opinan que el precio de los productos se mantiene.

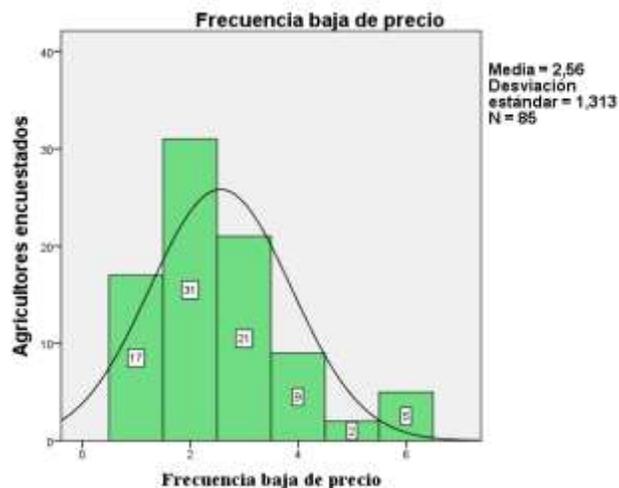


Figura 25. Frecuencia de baja de precio

En base a las razones analizadas en la figura anterior la frecuencia de baja de precio de los productos agrícolas se da casi siempre para el 36,5% de los agricultores, para el 20% de ellos esto sucede siempre, el 24,7% opina que son algunas veces, el 10,6% pocas veces, que no pasa nunca es mencionado por el 2,4% y para el 5,9% ninguna de estas opciones. Datos que se presentan en la Figura 25.

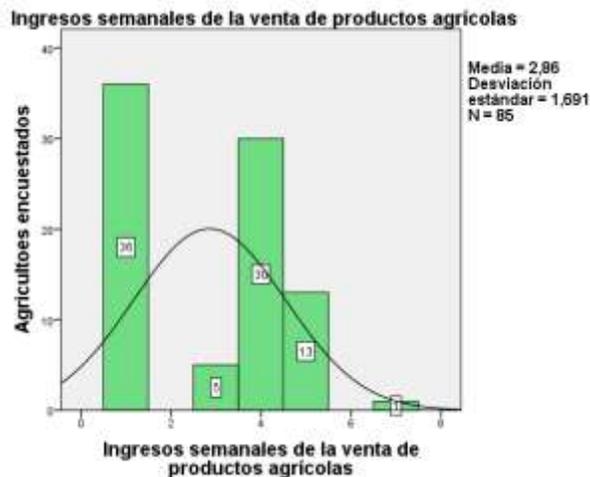


Figura 26. Ingresos semanales venta de productos agrícolas

En cuanto a los ingresos semanales procedentes de la venta de productos agrícolas se puede observar en la Figura 26 que la mayor parte de personas, siendo estas el 42,4% tienen ingresos menores a 25 USD, seguido de 35,3% que obtienen entre 25-100 USD,

algunas de ellas alcanzan valores mayores a 200, y otras utilizan los productos para autoconsumo por lo que no generan ningún ingreso, sabiendo que la agricultura es la actividad principal para la mayoría de personas se evidencia que los ingresos de la venta de estos productos para la gran parte de ellos no es muy rentable.

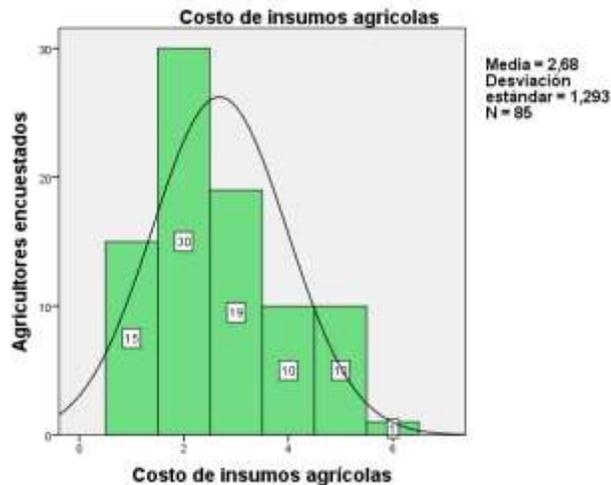


Figura 27. Costo de insumos agrícolas

De los ingresos que tienen los agricultores de la venta de sus productos agrícolas tienen que invertir en la compra de insumos, dependiendo del área y producto a cultivar. Los resultados de la Figura 27 ilustran que el 17,6% de personas gastan alrededor de 100 dólares, el 35,3% entre 100 - 300, el 11,8%, entre 600 – 1000, el 35,3% de 100 -500 y el 1,2% de campesinos más de 5.000 USD.

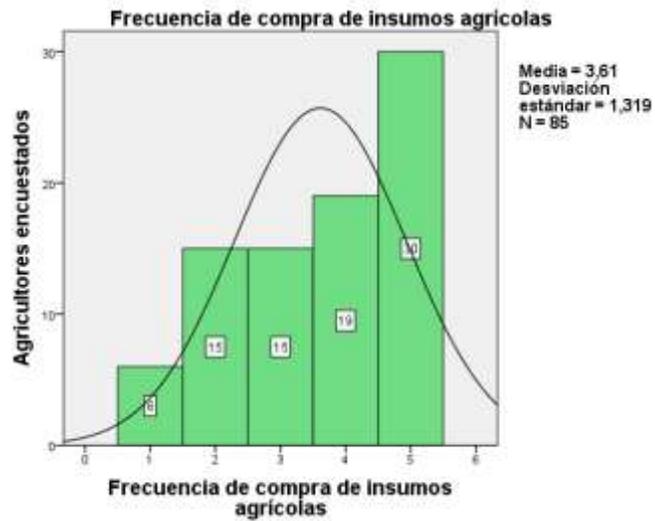
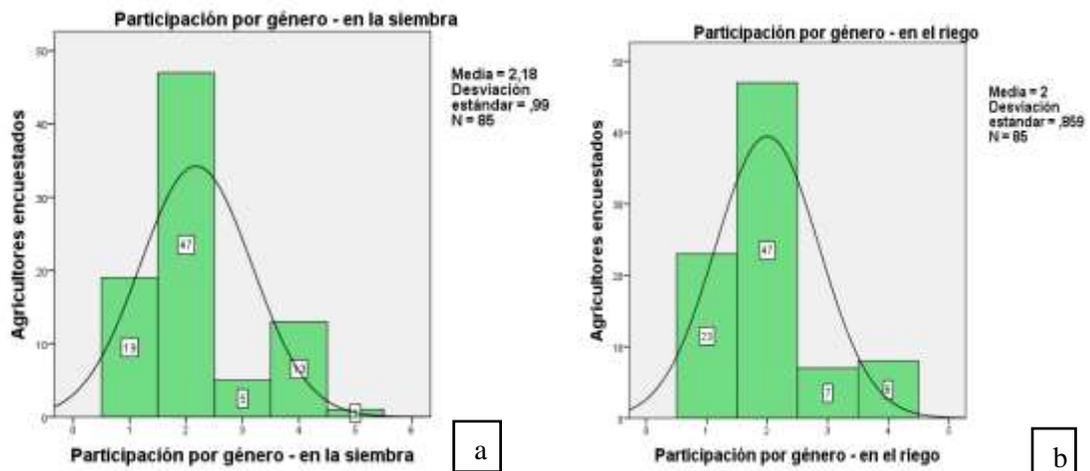


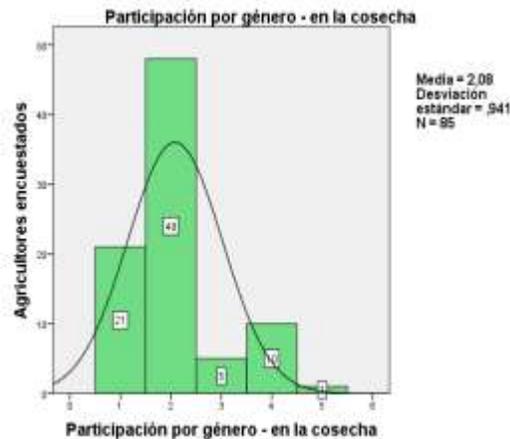
Figura 28. Frecuencia de compra de insumos agrícolas

La frecuencia de compra de insumos agrícolas se expone en la Figura 28, donde 35,3% de las personas encuestadas adquieren los insumos más de cuatro veces al año, el 22,4% cuatro veces al año. Esto depende del tipo de cultivo y cuidado que requiera cada uno de ellos para evitar las plagas y alcanzar un rendimiento óptimo de producción.

3.1.2. Mano de obra en la producción agrícola

En la agricultura una de las variables importantes e imprescindibles para el desarrollo de esta actividad es la mano de obra. Debido a que por medio de esta se consigue la preparación, cultivo y comercialización de productos agrícolas.





c

Figura 29. Participación por género en la siembra (a), riego (b) y cosecha (c) de productos agrícolas

La Figura 29 (a) expone la participación por género en la siembra de productos agrícolas, siendo el género femenino el que tiene mayor participación con el 55,3% de mujeres quienes se dedican a esta labor, seguido de los hombres que se encuentran dentro del núcleo familiar con un 22,4% y otros hombres contratados con el 15,3%. De igual forma se pueden observar resultados similares en la participación de género tanto en el riego como en la cosecha de los cultivos como muestran la Figura 29(b) y 29(c).

3.1.3. Agua de riego

El agua de riego es de gran importancia para el óptimo desarrollo de los productos agrícolas. Se puede obtener de diferentes fuentes tales como canales, vertientes de agua naturales, tanques reservorios y agua de lluvia (Álvarez, 2019).

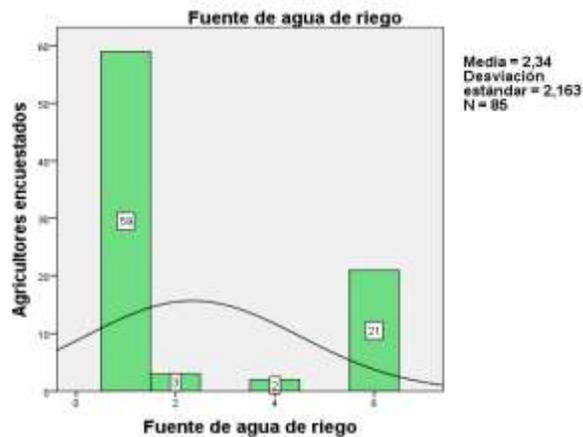


Figura 30. Fuente de agua de riego

En la Figura 30 consta que el 69,4% de los agricultores cuenta con canales de riego para sus cultivos, mientras que el 3,5% utiliza el agua de ríos, quebradas o esteros, el 2,4% recolecta el agua de lluvia para utilizarla posteriormente en sus sembríos y el 24,7% tiene como fuente directa el agua de lluvia para que sus productos consuman el agua que necesitan. En el caso de los agricultores que no cuentan con canales de riego o reservas de agua para regadío, sus cultivos se pueden ver afectados en las épocas de sequía, trayendo como consecuencias bajos rendimientos de producción.

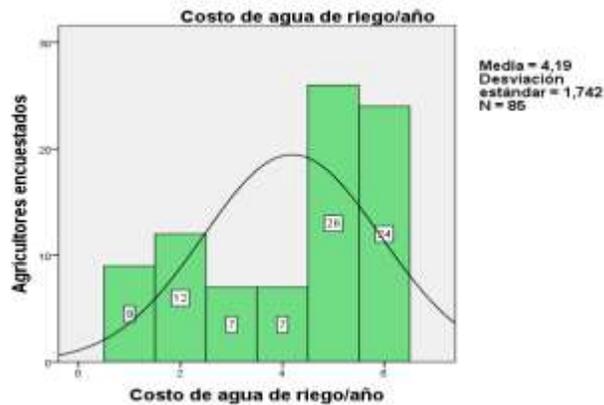


Figura 31. Costo de agua de riego por cada año

La Figura 31 ilustra que las personas que cuentan con canales de riego el costo que deben pagar por el agua que utilizan es menor de 5 USD para el 10,6% de los agricultores, mientras que el 14,1% paga entre 5-10 USD, el 8,2% tiene que cubrir el costo de 11-20

USD, el 30,6% de personas invierte más de 20 USD/año por agua de riego y los demás agricultores no tienen que cancelar ningún valor debido a que el agua que utilizan es de otras fuentes. En cuanto a inversión las personas que no tienen acceso a sistemas de riego reflejan un ahorro. Sin embargo, se pueden ver afectados en tiempos de sequía.

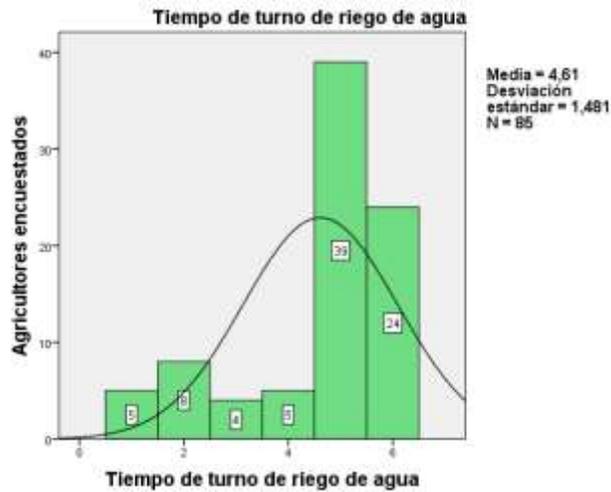


Figura 32. Tiempo de turno de riego de agua

La Figura 32 presenta que el 5,9% de agricultores cuenta con menos de una hora para el agua riego para sus cultivos, el 9,4% tiene 2 horas de agua, el 4,7% tiene turnos de 3 horas, el 5,9% de 4 horas y el 45,9% de ellos cuentan con más de 4 horas para esta actividad. Por otro lado, el 28,2% corresponde a las personas que utilizan otras fuentes de agua de riego. El tiempo que los agricultores disponen para el riego puede variar dependiendo de la organización y la estructuración del sistema de riego de cada comunidad.

3.1.4. Seguridad alimentaria

La disponibilidad, economía, accesibilidad, y consumo de productos saludables son la base de la seguridad alimentaria. Esta se da cuando la población puede acceder de manera segura a alimentos nutritivos para una adecuada nutrición y mejor estilo de vida (FAO et al., 2020).

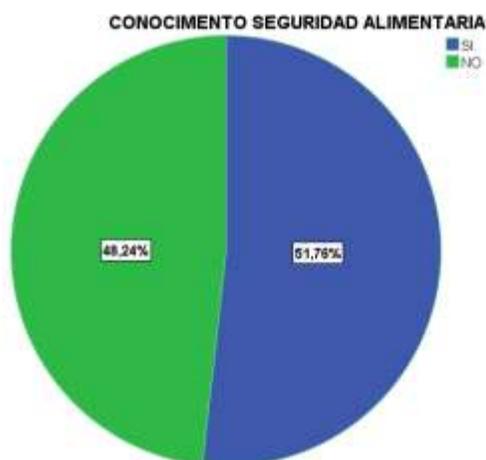


Figura 33. Conocimiento de Seguridad Alimentaria

En cuanto a la seguridad alimentaria en la Figura 33 se describe que el 51,76% de agricultores si tienen conocimiento del tema, mientras que el 48,24% no tienen conocimiento. Esto puede deberse a que varias de las personas encuestadas no culminaron sus estudios o a su vez el sistema educativo no incluye temas de seguridad alimentaria en su malla educativa.



Figura 34. Producción destinada a la venta

Los agricultores al tener como actividad principal y fuente de ingresos la actividad agrícola venden sus productos en el cantón y otros lugares. La Figura 34 presenta que el 3,5% vende de 1-3 partes de su producción, el 9,4% de personas de 4-6 partes, el 62,4%

de ellos comercializa de 7-9 partes siendo la mayoría, el 1,2 vende todos los productos que cosecha y el 17,6% no vende o no cosecha nada al ser su primera siembra o por otro lado al destinarla para autoconsumo.

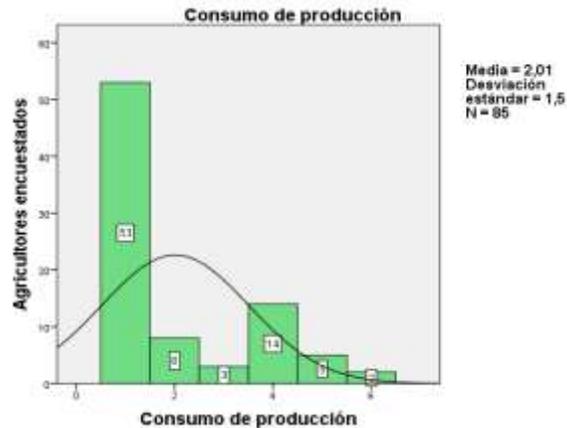


Figura 35. Producción destinada al consumo

Los agricultores aparte de direccionar sus productos a la venta también los utilizan para su propio consumo, dividiendo la producción en 10 partes se puede conocer a partir de la Figura 35 que el 62,3% de las personas consumen de 1-3 de ellas, mientras que el 9,4% consumen entre 4-6 partes, el 3,5 consume entre 7-9 partes, el 16,5% de personas destinan todos sus cultivos a su alimentación y el 5,9% de ellos no han consumido nada de sus productos debido que toda la producción se perdió y fue la primera que realizaron.

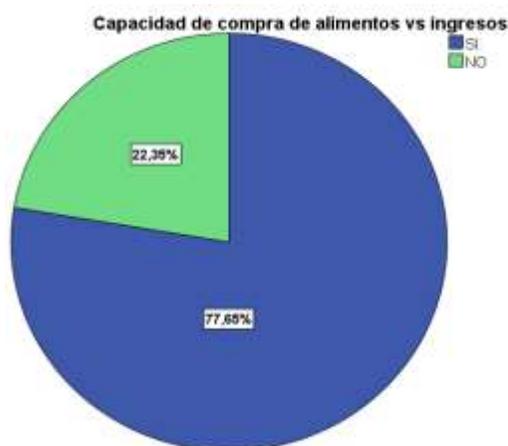


Figura 36. Capacidad de compra de alimentos vs ingresos de los agricultores

La Figura 36 expone que para el 77,6% de agricultores los ingresos que obtienen son los suficientes para la compra de alimentos que requieren, mientras que al 22,4 % no le alcanza el dinero y por ende los alimentos que adquiere no son los suficientes para satisfacer sus necesidades, viendo influenciada de forma negativa la seguridad alimentaria familiar.

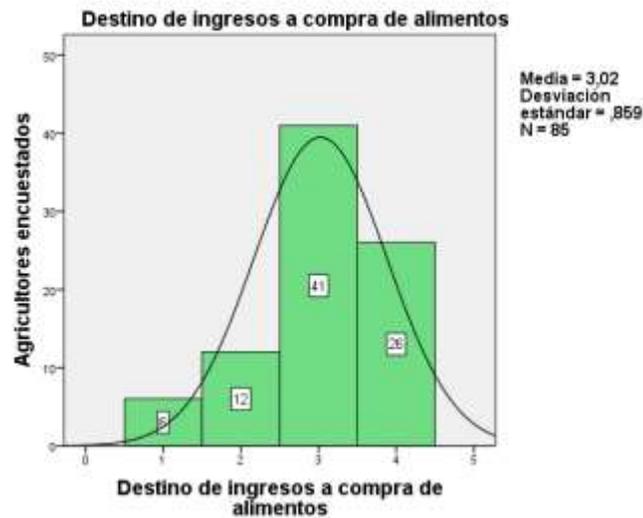


Figura 37. Destino de ingresos a compra de alimentos

En cuanto al dinero que invierten los agricultores en la compra de alimentos la Figura 37 representa que el 7,1% de ellos destina todos sus ingresos a la alimentación, estas personas cuentan con ingresos de otros familiares que contribuyen con los gastos de los otros servicios básicos, o su vez tienen varias fuentes de ingreso ajenas a la agricultura. Mientras que el 14,1% invierte un poco más de la mitad, el 48,2% la mitad y el 30,6% menos de la mitad, esto debido a que por su cuenta deben invertir también en la compra de insumos agrícolas para sus próximos cultivos. Además, en la educación, salud, vestimenta de los miembros de su familia y en los servicios básicos.

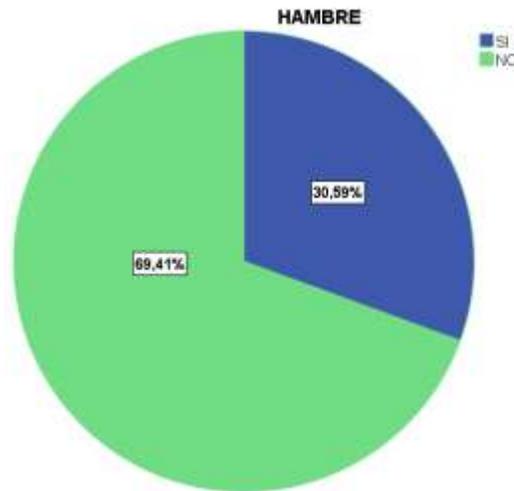


Figura 38. Hambre de los agricultores

En cuanto al hambre en la Figura 38 se observa que el 69,4% de agricultores no han pasado por esta situación, mientras que 30,6% si, esto se puede ser debido a diferentes factores como falta de ingresos para cubrir las necesidades de alimentación, los impactos de la pandemia en la economía o perdida de sus cultivos, afectando de manera significativa a la seguridad alimentaria de los agricultores.

Niveles de producción y gastos por cultivo

En la Tabla 3 y Figura 39 a 42 se presenta la superficie de terreno sembrada en ha, el nivel de rendimiento en kg/ha y producción en kg. Además de los costos de insumos agrícolas y agua de riego e ingresos de venta semanal de varios productos como maíz, mora, tomate de árbol, papa y otros cultivos. Datos obtenidos como resultado de las encuestas realizadas a 85 agricultores del cantón Píllaro obteniendo como resultado que los productos que tiene más niveles de producción y rendimiento son la papa y el maíz.

Tabla 3. Datos de superficie, producción, rendimiento, costos de insumos y agua de regadío e ingresos por venta de productos.

Tipos de producción	Tipos de cultivos	Superficie (ha)	producción (kg)	Rendimiento (kg/ha)	Costos de insumos agrícolas de producción (USD)	Costo de agua de riego (USD)	Ingreso semanal de la venta de productos agrícolas (USD)	
Pequeña	0,01-0,5 ha	Maíz	0,20	320,88	1596,94	603,33	9,43	51,90
		papa	0,19	3219,70	16233,77	1316,67	15,17	100,67
		mora	0,14	158,47	1100,47	260,00	6,80	31,20
		tomate de árbol	0,17	107,55	620,46	350,00	24,33	26,00
		otros	0,20	152,57	764,88	757,90	11,95	44,79
Mediana	0,51-1 ha	maíz	0,67	272,73	409,09	383,33	3,17	38,50
		papa	0,64	1636,36	2556,81	450,00	30,00	65,00
		mora	-	-	-	-	-	-
		tomate de árbol	0,64	454,55	710,23	450,00	30,00	13,00
		otros	0,66	26,54	40,22	350,00	24,33	54,33
Grande	> 1 ha	maíz	2,03	1772,73	874,70	1166,67	25,17	70,33
		papa	3,14	22727,28	7237,99	1725,00	24,00	81,50
		mora	1,92	307,27	160,04	200,00	30,00	150,00
		tomate de árbol	-	-	-	-	-	-
		otros	1,28	113,64	88,78	425,00	15,00	65,00

En la Tabla 3 se han clasificado los cultivos por tipos de producción pequeña (0,01-0,5 ha), mediana (0,51-1 ha) y grande (> 1 ha) en base a la extensión de terreno. Los resultados obtenidos son un promedio de los datos analizados en las encuestas a 85 agricultores. El cultivo de maíz y papa son cultivados en tamaños más grandes de tierra y por lo tanto la cantidad de producto y el valor de rendimiento son más altos. De igual manera la inversión que deben efectuar tanto para la compra de consumos agrícolas y el agua de regadío son más elevados.

Por otro lado, el tomate de árbol, mora y otros productos son cultivados en extensiones de terreno más pequeñas y por ende tienen menor producción y los costos de inversión de igual forma son menores en comparación con la producción de maíz y papa.

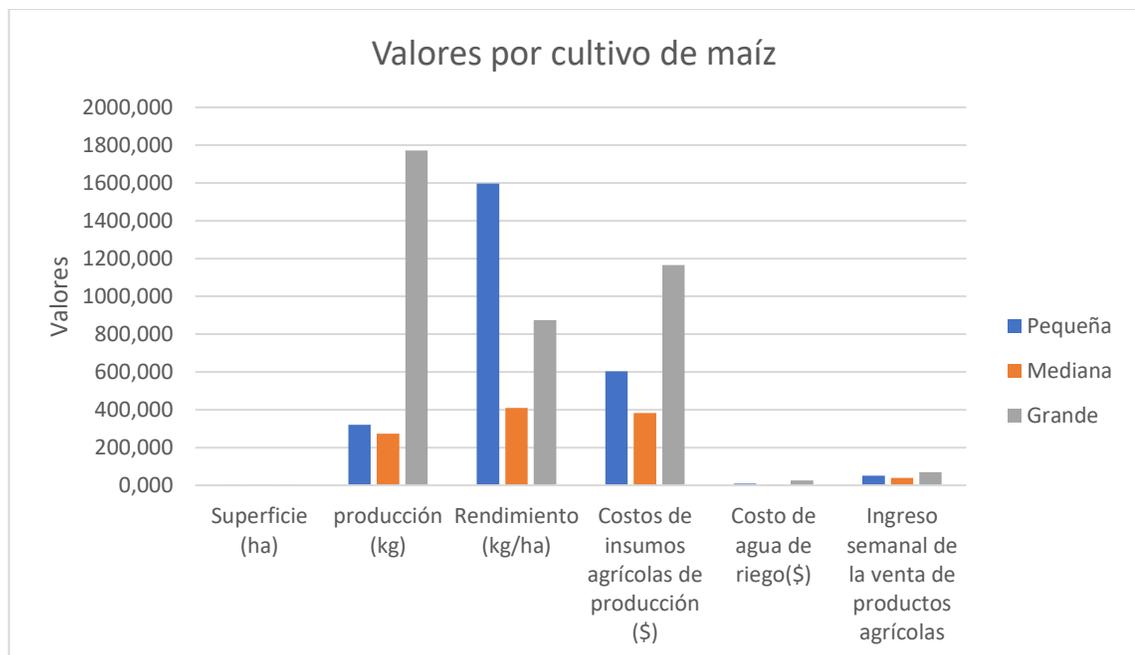


Figura 39. Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de maíz.

En la Figura 39 se expone los valores obtenidos de la producción de maíz, donde se puede evidenciar que la producción fue mayor en superficies grandes de terreno al igual que el rendimiento y la inversión necesaria para este producto.

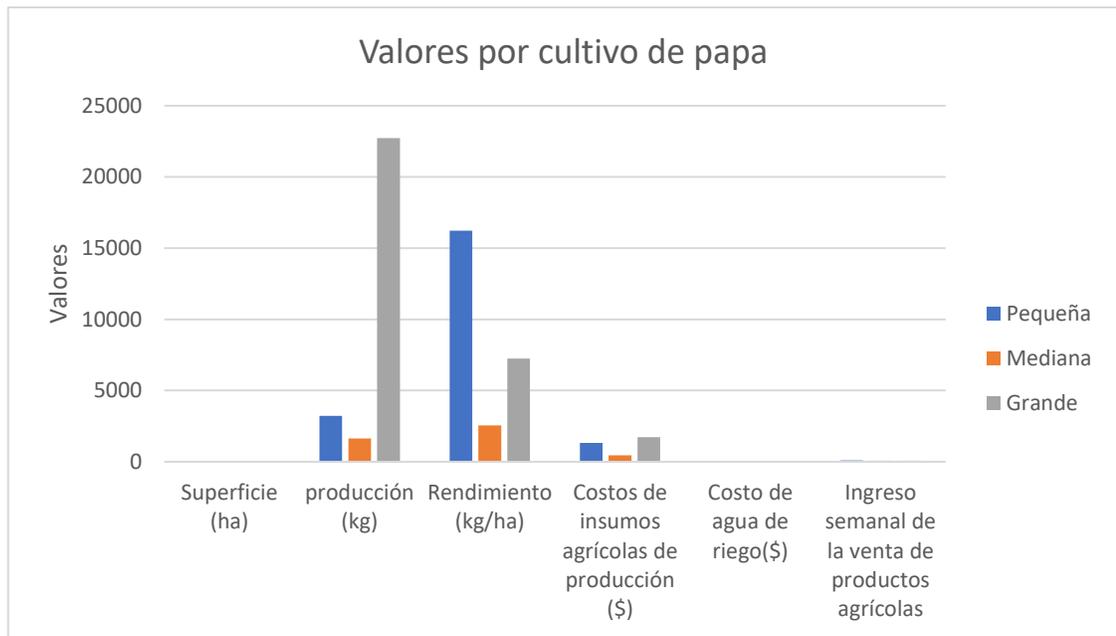


Figura 40. Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de papa.

La Figura 40 presenta los resultados obtenidos de la producción de papa, donde se puede evidenciar que la producción fue mayor en superficies grandes de terreno al igual que el rendimiento y los costos de inversión de insumos agrícolas necesarios para este producto.

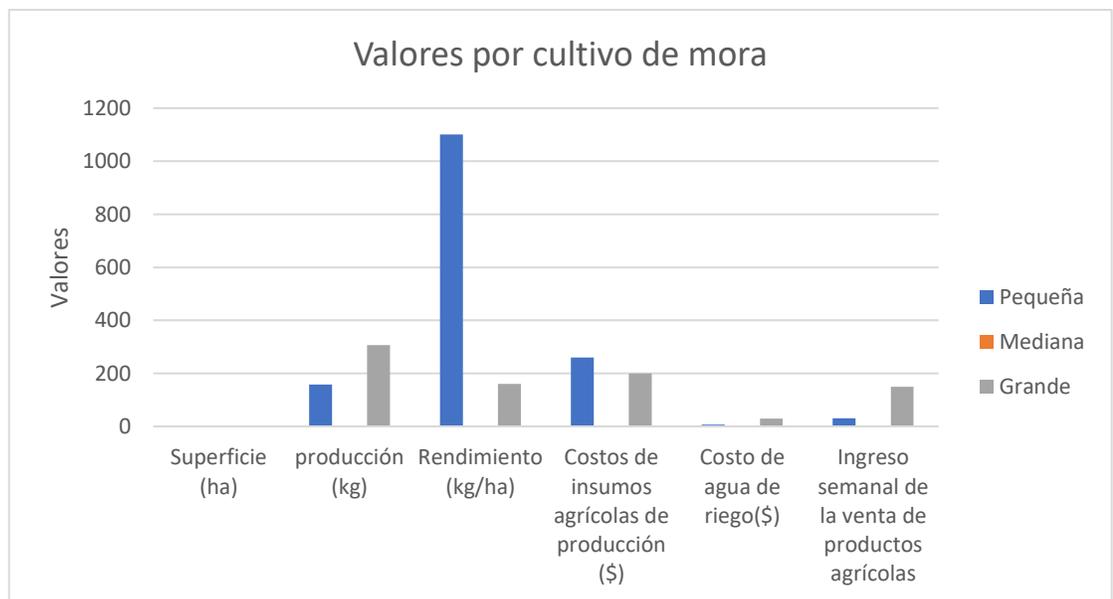


Figura 41. Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de mora.

La Figura 41 presenta los valores obtenidos de la producción de mora, donde se puede evidenciar que la producción fue mayor en superficies grandes de terreno, pero la inversión en cuanto a insumos agrícolas fue menor que en los cultivos de pequeñas extensiones de terreno, de igual forma el mayor rendimiento se presenta en el cultivo de pequeñas cantidades de tierra. Por otro lado, se observa que este producto no fue sembrado en terrenos de extensiones medianas.

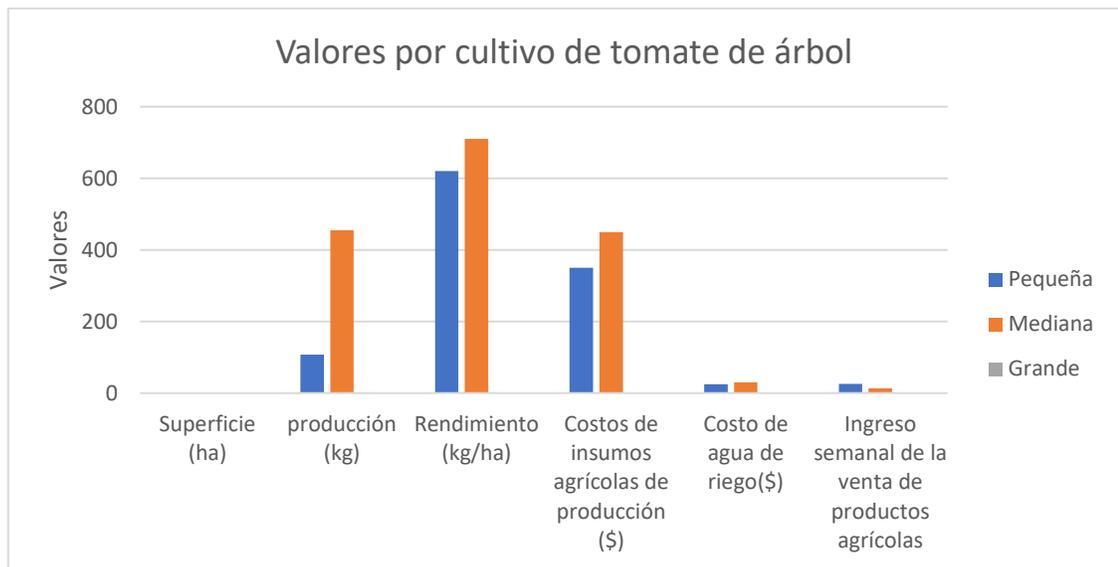


Figura 42. Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de tomate de árbol.

En la Figura 42 se expone los valores obtenidos de la producción de maíz, donde se puede evidenciar que la producción fue mayor en superficies medianas de terreno al igual que el rendimiento y la inversión necesaria para este producto. Sin embargo, el ingreso obtenido de este producto fue menor en comparación con la producción en áreas pequeñas de terreno. Por otro lado, se observa que este producto no fue sembrado en terrenos de extensiones grandes

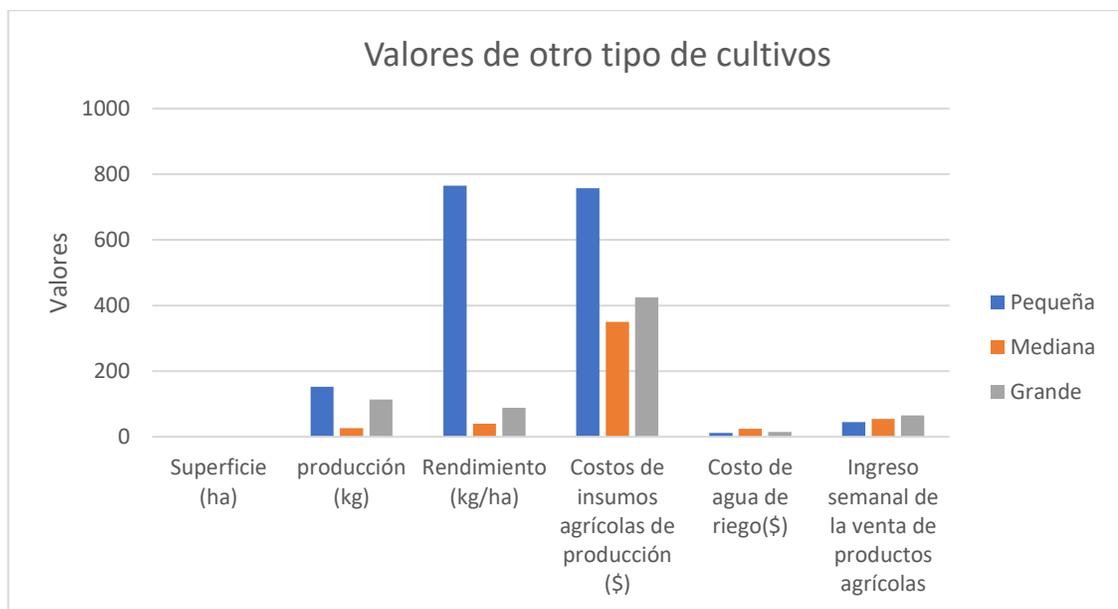


Figura 43. Superficie ha, Rendimiento kg/ha, Costos de inversión de insumos agrícolas y agua de riego USD e ingresos semanales de venta de otros cultivos.

En la Figura 43 se observa los resultados obtenidos de la producción otros tipos de cultivos donde se puede evidenciar que la producción fue mayor en superficies pequeñas de terreno al igual que los costos de inversión de insumos agrícolas necesarios para este producto. Sin embargo, los ingresos obtenidos fueron mayores en la producción en tamaños más grandes de tierra.

3.2. Diseño del modelo matemático

Se tomó como base a Hazell & Norton (1986) en el cual se expone el modelo agrícola de programación lineal que describe el plan de finca donde se plantea encontrar el mayor margen bruto posible, es decir maximizar la función objetivo pero sin quebrantar ninguna de las restricciones. De igual forma se tomó en relación el estudio (Franco-Crespo, 2017), en cual propone un modelo matemático de programación positiva para analizar los efectos

de variación de precio y consumo de agua.

Función Objetivo

Esta función se basa en la planificación de zonas de producción del cantón Píllaro, con la cual se propone maximizar el rendimiento de un área de producción, tomando como restricciones la tierra, mano de obra, capital, riego e inversión. La ecuación planteada se describe a continuación:

$$\max Z = \sum_{j=i}^n (tc, n), (prodn_{tc,n} * precio_{tc,n} - costos_{tc,n}) * xc_{tc,n}$$

Donde:

z =Función objetivo

$prodn_{tc,n}$ = producció de cada tipo de cultivo

$precio_{tc,n}$ =Precio de ingreso de cada cultivo

$costos_{tc,n}$ =costos de producción (insumos agrícolas, agua de riego) por cada tipo de cultivo.

tc =Tipo de cultivo

x =Factor de producción

Restricciones

El modelo matemático tiene varias condiciones como disponibilidad de tierra, disponibilidad de riego, disponibilidad de capital e inversión y disponibilidad de mano de obra.

- **Requerimiento de tierra**, en vista de la cantidad de terreno para cada tipo de cultivo.

$$\sum_j^n ((tc, n), reqtierra * xc_{tc,n} \leq dt$$

- **Restricción de riego**, en vista de la cantidad de agua para cada tipo de cultivo

$$\sum_j^n ((tc, n), reqagua_{tc,n} * xc_{tc,n} \leq da$$

- **Restricción de mano de obra**, en vista de la cantidad de jornaleros que se necesita para cada tipo de cultivo.

$$\sum_i^N ((tc, n), reqmano\ de\ obra_{tc,n} * xc_{tc,n} \leq dmo$$

- **Restricción de capital**, en vista del dinero disponible para la producción de cada tipo de cultivo.

$$\sum_i^N ((tc, n), recapital_{tc,n} ** xc_{tc,n} \leq dc$$

- **Restricción de inversión**, en vista de los costos de producción de cada tipo de cultivo.

$$\sum_i^N ((tc, n), reinversión_{tc,n} * xc_{tc,n} \leq di$$

Donde:

reqtierra= Tierra requerida para el cultivo de cada tipo de producto

dt= Tierra disponible para cada tipo de cultivo

reqagua = Agua requerida para cada tipo de cultivo

dagua= Agua disponible para cada tipo de cultivo

reqmano de obra Mano de obra requerida para cada tipo de cultivo

dmo = Mano de obra disponible para cada tipo de cultivo

reqcapital= Capital requerido por cada tipo de cultivo

dc= Capital disponible por cada tipo de cultivo

reqinversión= Inversión requerida por cada tipo de cultivo

di= Inversión disponible por cada tipo de cultivo

Determinación de zonas de producción del cantón Píllaro mediante el uso de GAMS

Tabla 4. Variable tierra

Tipo de producción	Mínimo	Nivel	Máximo	Marginal
pequeña	-INF	11,5689	1156,7700	.
mediana	-INF	.	1156,7700	.
grande	-INF	27,7653	1156,7700	.

Tabla 5. Variable riego

	Mínimo	Nivel	Máximo	Marginal
Ene	-INF	113,7103	1200,0000	.
Feb	-INF	218,1771	1200,0000	.
Mar	-INF	252,6176	1200,0000	.
Abr	-INF	263,1105	1200,0000	.
May	-INF	263,0700	1200,0000	.
Jun	-INF	177,4316	1200,0000	.
Jul	-INF	181,4922	1200,0000	.
Agos	-INF	240,0596	1200,0000	.
Sept	-INF	269,6701	1200,0000	.
Oct	-INF	289,4528	1200,0000	.
Nov	-INF	274,4711	1200,0000	.
Dic	-INF	118,5172	1200,0000	.

La Tabla 5 muestra que acorde al modelo usado en GAMS todos los meses del año exponen valores óptimos para cumplir con el requerimiento de riego para los diferentes cultivos en el cantón Píllaro. Debido a que los agricultores cuentan con sistemas de agua de riego para sus cultivos.

Tabla 6. Variable mano de obra

Mínimo	Nivel	Máximo	Marginal
-INF	2406,3222	8000,0000	.

De acuerdo con la Tabla 6 la mano de obra para el cultivo de maíz, tomate de árbol, mora, papa y otros productos agrícolas, en jornales requeridos por año es de 2406,3222 jornales, en esta ocasión no presenta deficiencia de mano de obra en el cantón, debido a son explotaciones de producción familiar.

Tabla 7. Variable inversión

Producto	Producción	Superficie	Inversión
mora	pequeña	11,5689	4.286,92
mora	grande	5,7844	692,92
papa	grande	21,9808	6.121,72

En la Tabla 7 se analiza la cantidad de inversión necesaria para cultivar la cantidad de hectáreas requeridas para optimizar el rendimiento del cultivo de mora y papa en sus respectivas extensiones de terreno.

Tabla 8. Variable Producción

Producto	Producción	Mínimo	Nivel	Máximo	Marginal
maíz	pequeña	.	.	+INF	-465,3589
maíz	mediana	.	.	+INF	-266,0720
maíz	grande	.	.	+INF	-404,4060
mora	pequeña	.	11,5689	+INF	.
mora	mediana	.	.	+INF	EPS
mora	grande	.	5,7844	+INF	.
papa	pequeña	.	.	+INF	-415,2240
papa	mediana	.	.	+INF	-103,8360
papa	grande	.	21,9808	+INF	.
tomate de árbol	pequeña	.	.	+INF	-265,1540
tomate de árbol	mediana	.	.	+INF	-90,9450
tomate de árbol	grande	.	.	+INF	EPS

Respecto a la producción de cultivos aplicando el modelo matemático y tomando tres tipos de producción pequeña, mediana y grande se obtuvo los resultados que presenta la Tabla 8, donde los cultivos de mora en pequeñas y grandes superficies de terreno obtuvieron mayores rendimientos de producción al igual que el cultivo de papa en extensiones grandes de tierra. Para los recursos disponibles de producción, la superficie de terreno sembrada de mora en la producción de tipo pequeña (0-0,5ha) debería alcanzar el total de

11,5689 ha, producción grande (>1ha) a 5,7844 ha y en el caso de la papa 21,9808 ha en tamaños grande de terreno.

3.3. Medición de indicadores se seguridad alimentaria

1. Suministro de Energía Alimentaria

$$SEA = \frac{\frac{\text{Kcal}}{\text{día}} \text{ disponibles}}{\text{Requerimiento de energía}} * 100$$

SEA=148 kcal/día

Tabla 9. Kcal de los productos cultivados en el cantón Píllaro

Alimentos disponibles	kcal por cada kg
maíz	980,00
mora	570,00
tomate	350,00
papa	770,00
otros	
col	0,25
lechuga	0,15
brócoli	280,00
coliflor	0,25
remolacha	0,43
zambo	280,00
cebolla	320,00
aguacate	0,60
arveja	0,81
babaco	220,00
tomate de riñón	180,00
leche	0,42
queso	4,02
pollo	1070,00
total, kcal otros alimentos	2356,93

La Tabla 9 muestra la cantidad de kcal por kg que tiene cada uno de los alimentos porque son cultivados en el cantón Píllaro, estos datos fueron obtenidos a partir de encuestas realizadas a 85 agricultores para conocer los productos agrícolas que producían en este

sector y posteriormente fueron utilizados para el cálculo del Suministro de Energía Alimentaria con la finalidad de medir este indicador de seguridad alimentaria.

Datos:

(kcal)/día disponibles=1582761,50

Requerimiento energético promedio por familia= 576121,5

$$SEA = \frac{1582761,50}{576121,5} * 100$$

$$SEA=2,75 * 100$$

$$SEA=275\%$$

Tabla 10. Suministro de Energía Alimentaria - datos encuestas

Alimentos disponibles	kcal por cada kg	Total, de producción en kg	kcal de toda la producción
maíz	980,00	21899,12	214611,38
mora	570,00	4663,14	26579,90
tomate	350,00	4754,04	16639,14
papa	770,00	132818,20	1022700,14
otros	2356,90	12823,24	302230,94
kcal disponibles de alimentos			1582761,50
SEA			2,75

Tabla 11. Suministro de Energía Alimentaria -datos GAMS

Alimentos disponibles	kcal por cada kg	Total, de producción en kg	kcal de toda la producción
maíz	980,00	21899,12	214611,38
mora	570,00	15277,5	87081,75
tomate	350,00	4663,14	16320,99
papa	770,00	201005,82	1547744,81
otros	2356,90	12823,240	302230,94
kcal disponibles de alimentos			2167989,87
SEA			3,76

La Tabla 10 presenta el resultado obtenido del Suministro de Energía Alimentaria con un valor de 275%, con el cual se evidencia que la cantidad de kcal que los alimentos cultivados proveen son suficientes para satisfacer el consumo diario requerido de una familia. Sin embargo, al aplicar los modelos matemáticos para maximizar la producción se observa en la tabla 11 que el suministro de Energía Alimentaria aumenta a 376%, lo que indica que la seguridad alimentaria de la población aumenta en base a este valor.

2. Producción global de alimentos

Tabla 12. Producción global de Alimentos - datos encuestas

Alimentos disponibles	Productos cultivados por período (kg)	Producción Anual (kg)	Producción Global
maíz	21899,12	21899,12	1
mora	777,19	2331,57	3
tomate	792,34	4754,04	6
papa	66409,10	132818,20	2
otros	3205,81	12823,24	4
Producción global de alimentos			3,2

Tabla 13. Producción global de Alimentos - datos GAMS

Alimentos disponibles	Productos cultivados por período (kg)	Producción Anual (kg)	Producción Global
maíz	21899,12	21899,12	1
mora	2546,25	7638,75	3
tomate	792,34	4754,04	6
papa	100502,91	201005,82	2
otros	3205,81	12823,24	4
Producción global de alimentos			3,2

En la Tabla 12 se evidencia que la producción global permite un abastecimiento de hasta 3 veces a la población. Estos datos fueron obtenidos de las encuestas realizadas en base a la producción total en kg de cada tipo de producto que cultivan los agricultores. De igual

manera al aplicar el modelo matemático en la Tabla 13 se obtienen el mismo resultado en cuanto a la producción Global de Alimentos.

3. Rendimiento por hectáreas de cultivo

Calculo demostrativo del rendimiento de cultivo de maíz

$$R = \frac{\text{Cantidad producida de cultivo}}{\text{Área de Cultivo}}$$

Cantidad promedio producida de cultivo de maíz= 521,408 kg

Área de cultivo=0,528 ha

$$R = \frac{521,408 \text{ kg}}{0,528 \text{ ha}}$$

$$R = 986,9803497$$

Tabla 14: Rendimiento del cultivo de maíz, tomate de árbol, mora y otros productos por el total de hectáreas de terreno cultivadas - datos encuestas

Cultivo	Superficie total (ha)	Producción total (kg)	Rendimiento total (kg/ha)
Maíz	22,19	21899,12	986,98
Tomate de árbol	1,16	777,19	669,99
Mora	2,64	792,34	300,13
Papa	8,11	66409,10	8188,55
otro	8,33	3205,81	384,85

Tabla 15: Rendimiento del cultivo de maíz, tomate de árbol, mora y otros productos por el total de hectáreas de terreno cultivadas - datos GAMS

Cultivo	Superficie total (ha)	Producción total (kg)	Rendimiento total (kg/ha)
Maíz	22,19	21899,120	986,980
Tomate de árbol	1,16	777,190	669,991
Mora	2,64	2546,25	964,489
Papa	8,11	100502,910	12392,467
otro	8,33	3205,810	384,851

Productos agrícolas	Producción en (kg) encuestas	Producción en (kg) bibliografía	Rendimiento en (kg/ha) encuestas	Rendimiento en (kg/ha) bibliografía
maíz	21899,12	133128	986,98	6000,00
mora	777,19	68150	669,99	58750,00
Tomate de árbol	792,34	8242,08	300,13	3122,00
papa	66409,1	389280	8188,55	48000,00
otros	3205,81	64974	384,85	7800

Tabla 16. Comparación de la producción y rendimiento obtenido en base a las encuestas y bibliografía - datos encuestas

Productos agrícolas	Producción en (kg) GAMS	Producción en (kg) bibliografía	Rendimiento en (kg/ha) GAMS	Rendimiento en (kg/ha) bibliografía
maíz	21899,12	133128,00	986,98	6000,00
mora	777,19	68150,00	669,99	58750,00
Tomate de árbol	2546,25	8242,08	964,49	3122,00
papa	100502,91	389280,00	12392,47	48000,00
otros	3205,81	64974,00	384,85	7800,00

Tabla 17. Comparación de la producción y rendimiento obtenido en base a las encuestas y bibliografía - datos GAMS

En la Tabla 14 se presentan los resultados obtenidos del rendimiento total de cada tipo de producto por área de terreno, donde se puede evidenciar que el cultivo de maíz es el producto principalmente sembrado y de igual manera tienen valores altos de producción y rendimiento, seguido de la papa. Por otro lado, con rendimientos más bajos se presenta la mora, tomate de árbol y otro tipo de productos agrícolas en los cuales están incluidos las hortalizas. De forma similar en la Tabla 15 se observa que, aplicando el modelo matemático, los resultados de rendimiento total del maíz y papa son mayores en comparación con los otros productos sembrados (mora, tomate y hortalizas). Por otro lado, la Tabla 16 muestra los resultados obtenidos de rendimiento y producción en base a las encuestas realizadas y bibliografía, donde se evidencia que los valores obtenidos de rendimiento que obtienen los agricultores del cantón Píllaro son menores a los investigados, esto puede ser por diferentes factores como tipo y manejo de suelos, uso de fertilizantes, plagas, cambio climático, etc. La Tabla 17 presenta que el rendimiento de mora y papa incrementa al aplicar el modelo matemático pero la producción de los cultivos en comparación con bibliografía sigue siendo menor. Sin embargo, de existir más recursos como el agua se podría incrementar la cantidad de producción y por lo tanto el rendimiento.

Discusión de resultados

En base a la información recopilada se evidencia que la planificación en la producción agrícola es un factor importante en la producción de cultivos, debido a que por medio de esta se logra aumentar el rendimiento y la eficiencia del trabajo. Mediante la organización de cultivos en tiempos oportunos (JICA, 2012). Por lo cual en el presente estudio se presenta un modelo matemático para la determinación de zonas de producción en el cantón Píllaro para garantizar la seguridad alimentaria.

Para determinar las zonas de producción de diferentes cultivos en cantón Píllaro se recolectó información a partir de encuestas realizadas a 85 agricultores y se utilizó en el programa GAMS, donde a través del modelo matemático obtenido a partir del estudio de **Hazell & Norton (1986)** en el cual presenta el modelo agrícola de programación lineal se exponen los resultados obtenidos en las tablas (4,5,6,7 y 8). De acuerdo con el estudio realizado por **Candelaria, Rosado, et al. (2011)** el uso de modelos matemáticos dentro de la actividad agrícola aparece como una opción de planificación e investigación, ya que mediante estos modelos se logra predecir el comportamiento de escenarios de producción de plantas o animales con diferentes alternativas de recursos disponibles.

En el cantón Píllaro los productos más cultivados son el maíz, la papa, el tomate de árbol y la mora (Figura 18). De los cuales la papa y el maíz presentan mayor cantidad de producción y rendimiento por hectárea de cultivo y por ende la inversión en insumos agrícolas necesarios para estos productos son más elevados (Figura 38 a 42). De igual forma son los productos que más ingresos generan para los agricultores, sin embargo, no siempre el precio de venta recompensa la inversión de siembra. Eso debido a varias razones de baja de precio como: la sobreproducción de productos, la competencia de otros vendedores que ingresan de otros cantones y la falta de dinero por parte de los compradores para adquirir estos productos (Figura 23).

Según la **FAO (2019)** la falta de planificación de cultivos, baja productividad de algunos productos, costos altos de los insumos agrícolas y volatilidad de precios afectan la disponibilidad y diversidad de alimentos lo que puede afectar la seguridad alimentaria de los pobladores. Al relacionar esto con la situación de producción actual de Píllaro se puede determinar que hace falta implementar medidas que permitan la obtención de variedad de alimentos, en cantidades suficientes y precios accesibles para los consumidores.

Con el fin de conocer las zonas de producción agrícola en el cantón Píllaro se aplicó un modelo matemático. En la planificación agrícola la aplicación de modelos que permiten

simular procesos asociados a su eficacia, son útiles y de gran importancia para predecir resultados y tomar decisiones que garanticen la optimización de la producción agrícola **(Hernán, 2018)**. Se obtuvo como resultados que el cultivo de mora y papa según modelo son los que presentan mayor oportunidad de producción para los agricultores. En vista de que produciendo 11,5689 ha de explotación pequeña y 5,7844 de grande en el caso de la mora y 21,9808 en el tipo grande de cultivo de papa, se puede aprovechar los recursos disponibles de producción como tierra, mano de obra, agua de riego e inversión. (ver Tabla 8).

Para la optimización de recursos utilizados en la agricultura es una acción fundamental en la agricultura debido a que engloba la demanda tanto de agricultores, consumidores y medio ambiente. A través de la optimización de recursos disponibles y los mecanismos de cultivo se obtiene alimentos de calidad, mejores rendimientos de producción, reducción de inversión y conservación del medio ambiente **(FAO, 2016)**.

El cultivo de mora en extensiones pequeñas y grandes al igual que la papa en superficies grandes de terreno, por su rendimiento aportan a la seguridad alimentaria de los pobladores (Tabla 15). La papa requiere poca agua para su cultivo y alcanza más alimentos por hectárea que cualquier otro producto. Además, es el tercer alimento más consumido por las personas a nivel mundial que contribuye a los ingresos de millones de personas y de igual manera a la seguridad alimentaria de estas **(CIP, 2021)**. La mora es un producto comúnmente cultivado en Tungurahua debido a que es un producto rentable, destacado y tradicional que tiene gran acogida para el cultivo por los agricultores y dado que es un producto que posee nutrientes (vitaminas, antioxidantes y minerales) es beneficioso para el consumidor **(La Hora, 2022)** .

Para conocer la seguridad alimentaria del Cantón Píllaro se plantearon tres indicadores de seguridad alimentaria. El primer indicador representa el Suministro de Energía Alimentaría (SEA) por persona. Para determinar este indicador se consideró el consumo

de kcal requeridas de las familias de los 85 agricultores, de los cuáles se observa en la Figura 14 que están constituidos un 32,9% por 3-4 integrantes familiares. Para el cálculo de las kcal disponibles se tomó en cuenta los productos que cultivaban y comercializaban en el cantón Píllaro como se expone en la Figura 22. En cuanto al valor del SEA para este caso es de 275% como se presenta en la Tabla 5, el cual indica que la disponibilidad del total de la producción de alimentos es plena ya que supera el 110%. Según **Jiménez et al. (2013)** reporta en su estudio que cuando los requerimientos calóricos son mayor a estos límites (110%) la disponibilidad es satisfactoria-plena, entre 110-100% es inestable y si llega a valores de 100-90% es insuficiente, para valores menores de 90% es crítica.

Por otro lado, tenemos la producción global de alimentos del sector en la tabla 6 como segundo indicador de disponibilidad alimentaria. El resultado fue de 3,2 lo que representa que la cantidad de alimentos que los agricultores obtienen del cultivo de sus productos es suficiente cumplir con la seguridad alimentaria de sí mismos y sus familias, además que al obtener el triple de producción de la que requieren para su alimentación, el excedente puede ser comercializado a personas del mismo cantón o de cantones cercanos a Píllaro como se muestra en la Figura 33 que el 62,4% de personas dedican de 7-9 partes de sus cultivos a la venta en lugares cercanos, garantizando mediante esto la seguridad alimentaria de más personas.

Sin embargo es importante considerar que además de la disponibilidad física el precio de los alimentos también es un factor importante en el abastecimiento y demanda de estos (**FAO, FIDA, OPS, 2020**). Debido a que los precios bajos representan menores ingresos a los agricultores y como consecuencia no podrían producir más productos. Por otro lado los precios bajos benefician a los consumidores mejorando la capacidad de compra (**FAO, FIDA, OMS, 2021**). Es por esto por lo que se busca un equilibrio en los costos de compra y venta de alimentos para asegurar que todas las personas puedan acceder a la cantidad suficiente de alimentos.

Para la obtención de los datos de rendimientos en base a la bibliografía se tomó los datos de toneladas cultivadas por hectárea, mismas que fueron transformadas a kg y seguido se calculó el rendimiento para comparar los valores. Con respecto al tercer indicador sobre el rendimiento por hectáreas de cultivo, se entiende que este es menor al reportado en estudios como se observa en la Tabla 8.

Existen diferentes factores que afectan el rendimiento de los cultivos tales como: la degradación de suelos, plagas, sistemas de producción, tecnología utilizada, usos de insumos agrícolas, sistemas de riego, contaminación y el clima (**Espinosa, 2016**). De acuerdo a estudios realizados por **Zambrano & Arias (2021)** en el cual la producción de maíz alcanza un rendimiento calculado de 6 toneladas (T) que representa en 22,188 ha una producción de 986,980 y un rendimiento de 6000.

Para el caso del tomate de árbol según **Moreno et al. (2020)** se produce 5,87 T que para 1,160 ha presenta 68150 kg de producto y un rendimiento de 58750, para la mora **Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020)** reporta que se obtiene un promedio de 4 toneladas que en 2,64 T se obtiene 10560 con un rendimiento de 4000, para la papa una producción de 48 toneladas con un rendimiento de 48000 (**Chuquizán, 2019**) y para los otros productos que hace referencia a diferentes tipos de hortalizas **Cabrera & Jarque (2015)** expone una producción de 7,8 toneladas con un rendimiento calculado de 7800. Sin embargo, en base a los indicadores uno y dos se conoce que el bajo rendimiento de estos productos no afecta la disponibilidad de alimentos para los pobladores, pero si trae como consecuencia pérdidas de dinero y afecta a la economía de los agricultores, lo que podría afectar al acceso de alimentos por la falta de ingresos y con esto a la seguridad alimentaria de estas personas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Con el modelo matemático aplicado se determina que el tamaño de las explotaciones de producción del cantón Píllaro que son óptimas para el cultivo de productos agrícolas y que favorecen la seguridad alimentaria son las pequeñas y grandes. Como resultado los cultivos de mora en extensiones pequeñas y grandes y papa en grandes superficies de terreno son los productos que mayor rendimiento y beneficios generan y de igual forma aportan a la seguridad alimentaria de los pobladores.

Con los datos obtenidos a partir de las encuestas realizadas a los 85 agricultores se identificaron los niveles de producción, rendimiento, utilización de mano de obra, inversión en insumos agrícolas y agua e ingresos de la venta por semana de los cultivos de maíz, mora, tomate de árbol, papa y otros productos del cantón Píllaro. Es así como existe una mayor participación de mano de obra de mujeres con una edad que promedia por encima de los 35 años.

En cuanto a los cultivos el maíz y la papa son los productos más cultivados y que registran mayores rendimientos e ingresos de la venta de estos. Por otro lado, el costo de inversión tanto en insumos agrícolas y agua de riego es mayor en comparación con producción de mora, tomate de árbol y otros cultivos. De igual forma en base a la encuestas se obtuvo que los precios de los productos tienden a bajar por diversas razones como sobreproducción, competencia de productos de otros sectores y por otro lado el dinero insuficiente para la compra de los alimentos por parte de los consumidores.

La explotación pequeña y grande si aporta a la seguridad alimentaria. Como tal las cifras al momento de aplicar el modelo matemático para la determinación de las zonas de producción muestran que la mora y papa aportan más en cuanto a la seguridad alimentaria debido a que traen más beneficios para el agricultor en cuanto a producción, rendimiento y por lo mismo mayor ingresos. Para los consumidores mayor disponibilidad y acceso a esto alimentos garantizando así su seguridad alimentaria.

Con el empleo de GAMS se ejecutó un modelo matemático para planificar zonas de producción agrícola, el modelo de programación calculó el tamaño de explotación de cultivos requeridos para optimizar los recursos disponibles e incrementar el rendimiento de producción.

El resultado obtenido de los indicadores uno y dos de seguridad alimentaria permite reportar que, la producción de alimentos agrícolas cultivados es suficientes para cumplir con la disponibilidad, acceso y demanda de los consumidores y por medio de ello garantizar la seguridad alimentaria de la población. Por lo cual la agricultura familiar y campesina es importante debido a que aporta alimentos para toda la población. En cuanto al tercer indicador de seguridad alimentaria se evidencia que no cumple con los valores de rendimiento encontrados en bibliografía para su comparación, siendo los obtenidos menores a los registrados en estudios anteriores.

4.2. Recomendaciones

- Para estudios posteriores se recomienda tomar una muestra más representativa en cuanto a agricultores para de esa forma obtener datos más precisos sobre la situación actual de la producción del cantón Píllaro.

- Continuar investigando sobre la producción agrícola en el cantón Píllaro y los factores que la afectan con la finalidad de aportar con más información para mejorar en sistema de producción agrícola.
- Tomar en consideración el análisis de otros indicadores de seguridad alimentaria con el fin de conocer más sobre este tema en el cantón Píllaro, ya que es un asunto de mucha importancia para el bienestar de la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, L. (2020). *Programación lineal: resolución de un problema de maximización de beneficios por el método simplex*.
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15289/1/E-8285_MERINO%20GALARZA%20BILLY%20ANTHONY.pdf
- Álvaro, G. (2019). *Importancia del agua de riego en la agricultura*.
<https://www.fertibox.net/>
- Ambato digital. (2019). *Simulacro digital alcaldes de Tungurahua 2019*.
<https://www.ambatolibertad.com/noticias-ambato/sondeo-alcaldes-de-tungurahua-2019/>
- Amitrano, C., Battista, G., Pascale, S., Roupheal, Y., & Micco, Verónica. (2020). *Crop Management in Controlled Environment Agriculture (CEA) Systems Using Predictive Mathematical Models*. *Sensors*, 11. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/11/3110#cite>
- Andrade, V. (2020). *Identificación de modelos de producción sostenible de alimentos en el cantón Píllaro como aporte a la soberanía alimentaria* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31574/1/AL_754.pdf
- Aranjo, M. (2019). *El sector agropecuario de América Latina necesita más y mejores datos*. Banco de Desarrollo de América Latina .
<https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2019/01/el-sector-agropecuario-de-america-latina-necesita-mas-y-mejores-datos/>
- Arcéo, N., Fernández, A., & González, M. (2019). *El mercado de trabajo en el modelo agroexportador en Argentina: el papel de la inmigración*. *SCIELO*, 26.
<https://doi.org/https://doi.org/10.18232/alhe.952>
- Ballara, M., Damianović, N., & Valenzuela, R. (2012). *Mujer, agricultura y seguridad alimentaria: una mirada para el fortalecimiento de las políticas públicas en América Latina*.
<http://www.marcelaballara.cl/genydes/2012%20Mujer,%20agricultura%20y%20seguridad%20alimentaria%20Ballara%20Damianovic%20Valenzuel.pdf>
- Banco Mundial. (2019, September 23). *Agricultura y alimentos*.

- <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview#1>
- Banco Mundial. (2020, November 12). *Los sistemas agropecuarios y alimentarios de América Latina y el Caribe están listos para una profunda transformación*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/11/12/agriculture-food-systems-latin-america-caribbean-changes>
- Barrera, S., & Tarapuez, J. (2010). *GAMS Aplicado a las Ciencias económicas* .
- Beznosov, G. A., Skvortsov, E. A., Semin, A. N., Nekrasov, K. B., Ziablitckaia, N., & Nabokov, V. I. (2019). Economic and mathematical modeling in the system of precision agriculture. *Journal of International Transactions in Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies*, 10. https://tuengr.com/Vol10_4.html
- Bula, A. (2020). Importancia de la agricultura en el desarrollo socioeconómico. *Puente Académico*, 3–6. <https://observatorio.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/08/Importancia-de-la-agricultura-en-el-desarrollo-socio-econ%C3%B3mico.pdf>
- Candelaria, B., Ruiz, O., Gallardo, F., Pérez, P., Martínez, A., & Vargas, L. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* , 14, 999–1007. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n3/v14n3a4.pdf>
- Castillo, D. (2020). “*La política pública agropecuaria en la estructura del sector lechero de Cotopaxi.*”
- Castro, I., & Hétiér, J. (2015). *Modelización y experimentación en agronomía*. Consejo de Publicaciones de La Universidad de Los Andes . https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-12/010065645.pdf
- Chuncho, L., Uriguen, P., & Apolo, N. (2021). *Ecuador: análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018*. UPSE, 8. <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/547/502>
- Cid, N. (2012). *Planificación de la producción agrícola y manejo eficiente del agua en un sistema de irrigación*. <http://eprints.uanl.mx/2674/1/1080224602.pdf>
- CIP. (2021). *Potato in Asia*. Potato in Asia.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZScTLWhrkCY>

- Crosson, P., Kiely, O., Mara, B., & Wallace, B. (2005). *The development of a mathematical model to investigate Irish beef production systems*. *ELSEVIER*, 332–360.
- Chuquizán, Y. (2019). “*Pérdidas de tubérculos de papa (Solanum tuberosum L.), en la fase de cosecha, en la comunidad El Solferino, cantón Huaca, provincia del Carchi.*” [http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6413/E-UTB-FACIAG-ING-AGRON-000180.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La producción total de la,32qq%2F1qq de semilla sembrada](http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6413/E-UTB-FACIAG-ING-AGRON-000180.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20producci3n%20total%20de%20la%20semilla%20sembrada).
- Deepa, N., Khan, M., Prabadevi, B., Vicent, D., Madikunta, P., & Gadekallu, T. (2020). Multiclass Model for Agriculture Development Using Multivariate Statistical Method. *IEEE Access*, 8, 183749–183758. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9212353>
- Dury, J., Schaller, N., García, F., Reynaud, A., & Berguez, J. (2011). Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agron. Sustain.*, 32, 567–580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13593-011-0037-x>
- El Universo. (2020). *Productos agrícolas de la Sierra a precios ínfimos, por bajo consumo*. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/08/nota/8076631/productos-agricolas-sierra-precios-infimos-bajo-consumo/>
- Espinosa, J. (2016). Factores que limitan el potencial de rendimiento del maíz de polinización abierta en campos de pequeños productores de la Sierra de Ecuador. *SIEMBRA*, 3. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.262>
- FAO. (2014). *Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (BEFS RA) Manual de Usuario presupuesto agrícola*. <https://www.fao.org/3/bp850s/bp850s.pdf>
- FAO. (2016). *Agricultura sostenible Una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*. <https://www.fao.org/3/i5754s/i5754s.pdf>
- FAO. (2018). *Proyecciones sobre la alimentación y la agricultura hasta el año 2050*.
- FAO. (2019). *Agricultura y seguridad alimentaria: La contribución del OIEA*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/tc/Agricul-Span.pdf>

- FAO. (2021). *Mecanización Agrícola Sostenible*. <https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/guidelinesoperations/cropproduction/es/>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2020). *La seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo*. <https://www.fao.org/3/ca9699es/CA9699ES.pdf>
- FAO, FIDA, OMS, P. y U. (2021). *Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una mejor nutrición y dietas asequibles y saludables para todos*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb5409es>
- FAO, FIDA, OPS, W. y U. (2020). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb2242es>
- Fénelus, W. (2016). *Desarrollo agrícola en Latinoamérica y el Caribe: un análisis institucional*. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5829/1/AGN-2016-T015.pdf>
- Fernández, J. (2015). *Modelos matemáticos aplicados a la agricultura*. <https://www.fastcompany.com/3062052/feeding-the-world-with-math>
- Figuroa, D. (2005). *Medición de la seguridad alimentaria y nutricional*. *Respyn*, 6. <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/147>
- Franco-Crespo, C. D. (2017). *Evaluación de los efectos de aplicación de una política de gestión del agua de riego en los agricultores de dos zonas del Ecuador* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://1library.co/document/qvjvk4gq-evaluacion-efectos-aplicacion-politica-gestion-riego-agricultores-ecuador.html>
- Franco-Crespo, C. D., & Sumpsi, J. M. (2017). The Impact of Pricing Policies on Irrigation Water for Agro-Food Farms in Ecuador. *Sustainability*, 9, 1–19.
- Franco, C., Andrade, V., & Baldeón, S. (2021). Identificación de modelos de producción sostenible de alimentos en el cantón Píllaro como aporte a la soberanía alimentaria. *IDESIA*, 39, 125–134. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292021000300125&script=sci_arttext
- García, A., & Pérez, J. (2016). Marco conceptual de la medición de seguridad alimentaria (sa): análisis comparativo y crítico de algunas métricas. *Agroalimentaria*, 22. <https://www.redalyc.org/journal/1992/199251019004/html/>
- Gobierno Provincial de Tungurahua. (2021, April 16). *Estrategia agropecuaria de*

- tungurahua*. Ambato. <https://www.tungurahua.gob.ec/index.php/proyectos-hgpt/produccion/estrategia-agropecuaria-de-tungurahua>
- Hazell, P., & Norton, R. (1986). *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture* (M. Wayne, Ed.; Vol. 43). Macmillan.
- Hernán, L. (2018). *Modelo de optimización multi-objetivo para la programación de la producción agrícola a pequeña escala en Santander, Colombia* [Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173926.pdf>
- Hernández, N., Soto, F., & Caballero, A. (2009). Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. *Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. SCIELO*, 30. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100014
- Iberdrola. (2022). *a importancia de la seguridad alimentaria: ¿qué factores la ponen en peligro?* <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/que-es-seguridad-alimentaria>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2015). Modelos de simulación y herramientas de modelaje. *IICA*. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3045/BVE17068957e.pdf;jsessionid=B2FFFC91B132E48A6EBFC0B4BE97F247?sequence=1>
- JICA. (2012). *Proyecto para el Apoyo a Pequeños Agricultores en la Zona Oriental*. https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/farm_06.pdf
- Jiménez, M., Aliaga, C., Sifontes, Y., Vázquez, M., Ramírez, G., Madrid, L., Herrera, M., Reyes, A., Elzakem, E., Herrera, H., & Bernal, J. (2013). Valores de referencia de energía para la población venezolana. *SCIELO*, 4. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222013000400003
- Knowler, D. (2002). A Review of Select Bioeconomic Models with Environmental Influences in Fisheries. *Bioeconomics*, 4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1021151809501>
- Lampadia. (2018). *La agricultura de hoy en el mundo*. lampadia.com/analisis/recursos-naturales/la-agricultura-de-hoy-en-el-mundo/
- La Hora. (2013). *Píllaro, una tierra rica en agricultura*. <https://lahora.com.ec/noticia/1101540588/pllaro-una-tierra-rica-en-agricultura>

- La Hora. (2018, April 28). *La importancia de la agricultura en el Ecuador*.
<https://lahora.com.ec/loja/noticia/1102152925/la-importancia-de-la-agricultura-en-el-ecuador>
- La Hora. (2022). *Ecuador: Producción de mora, un potencial en Tungurahua*.
https://elproductor.com/2017/11/ecuador-produccion-de-mora-un-potencial-en-tungurahua/?fbclid=IwAR06oBdvNe40x55sOwmIXogVuq8dQU3LXpHh6JTm17XBjl0etBq2t3DSH_E#
- Laorden, C. (2016). *Efectos en la pobreza y la seguridad alimentaria*.
<https://elpais.com/especiales/2016/planeta-futuro/seguridad-alimentaria/>
- León, D. (2017). *Elaboración de una guía de planificación técnica y financiera para el cultivo de la cebolla de bulbo (allium cepa). Estudio de caso*.
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2040/1/TGT-691.pdf>
- Louhichi, K., Kannelopoulos, A., Zander, P., Flichman, G., Hengsdijk, H., Meuter, E., Andersen, E., Belhouchette, H., Blanco, M., Borkowski, N., Heckeley, T., Hecker, M., Li, H., Lansink, A. O., Stokstad, G., Thorne, P., Keulen, H. van, & Ittersum, M. K. van. (2010). A Generic Bio-Economic Farm Model for Environmental and Economic Assessment of Agricultural Systems. *Environmental Management*, 46, 862–867. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00267-010-9588-x.pdf>
- Lozada, L. (2021). *Análisis comparativo de la dieta alimentaria en un segmento de población de familias del sector urbano y rural de los cantones Ambato y Píllaro*. [Universidad Técnica de Ambato].
https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32079/1/AL_770.pdf
- Madariaga, V., & Rivera, J. (2014). *Disponibilidad de mano de obra en la agricultura de la comuna de punitaqui, provincia del limarí, región de coquimbo, chile*.
http://agrouls.cl/wp-content/uploads/2018/08/Tesis-Juan_Rivera_Valeria_Madariaga_17_01_2014_final.pdf
- Maletta, H. (2020). *Requerimientos de mano de obra en la agricultura peruana*.
<https://core.ac.uk/download/pdf/51208968.pdf>
- Marquéz, J. (2021). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020. *INEC*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-

2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf

- Martínez, B., Ruiz, O., López, F., Pérez, P., Martínez, Á., & Vargas, L. (2011). Application of simulation models in agricultural research and planning, a review. *SCIELO*, 14. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300004
- Martínez, L. (2013). *La agricultura familiar en Ecuador*. https://flacsoandes.edu.ec/sites/default/files/%25f/agora/files/la_agricultura_familiar_en_el_ecuador.pdf
- Mazón, A., & Uset, F. (2019). Estimación del nivel de seguridad alimentaria en estudiantes universitarios, Santo Domingo 2019. *AVANCES*, 21, 323–324.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019, September 9). *Agricultura, la base de la economía y la alimentación*. <https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la-alimentacion/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). *Píllaro: Analizan situación actual de la producción de la papa*. <https://www.agricultura.gob.ec/pillaro-analizan-situacion-actual-de-la-produccion-de-la-papa/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Cadena Productiva de la Mora*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/2020-09-30> Cifras Sectoriales.pdf
- Montatixe, C., & Eche, M. (2021). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *SIEMBRA*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>
- Mora, C. (2017, January 16). *Producción Agrícola Por Regiones Del Ecuador*. <https://es.scribd.com/document/336842121/Produccion-Agricola-Por-Regiones-Del-Ecuador>
- Moreno, C., Molina, I., Ortiz, J., Peñafiel, C., & Moreno, R. (2020). Cadena de valor en la red de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en Ecuador1. *Agronomy Mesoamerican*, 31. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36887>
- Najafabadi, M., Ziaee, S., Nicouei, A., & Borazjani, M. (2018). Modelo de programación matemática (MMP) para la optimización de decisiones de patrones regionales de cultivo: un estudio de caso. *ELSIEVER*, 222–232.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.006>
- Naranjo, F. (2019). *AgendaTungurahua*.
https://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2020/Agenda_Tungurahua2019-2021.pdf
- Nieto, C., Quishpe, B., Pazmiño, E., & Rosero, S. (2018). Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. *Copyright & License*, 10–11.
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1427/3555#info>
- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2012). *Modelos ecológicos y resilientes de producción agrícola para el siglo xxi*.
<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/160641/140511>
- Olubode, O. (2006). *Farm-Level Resource Use and Output Supply Response: A Free State Case Study*.
<http://scholar.ufs.ac.za:8080/bitstream/handle/11660/1447/OlubodeAOO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, F., Sepúlveda, D., Salazar, R., & Sepúlveda, D. E. (2017). *Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía* (F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, & D. E. Sepúlveda, Eds.; ECORFAN). 2017.
https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20Matematicas%20aplicadas%20a%20la%20Agronomia%20T-I/HCMA_TI.pdf
- Pilataxi, C. (2016). *Módulo Ambiental de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2016*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2016/informe_ejecutivo_ESPAC_2016.pdf
- Pilla, M. (2014). : “*la actividad agrícola y su impacto en el desarrollo económico local en la parroquia salasaka, cantón pelileo, provincia tungurahua en el año 2014.*”
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/21014/1/T2848i.pdf>
- Pinzón, E. (2019). *Influencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro al cambio climático en el cantón Shushufindi* .

- <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6871/1/T2964-MCCSD-Pinzon-Influencia.pdf>
- Pravia, V. (2009). *Uso de los elementos de agricultura de precisión y modelos de simulación para la incorporación de la dimensión espaciotemporal en la investigación de cultivos agrícolas*: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1794/1/0029pra.pdf>
- Prieto, A. (2018). *Disponibilidad de Recursos y Eficiencia Preproductiva* . https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_reas/r142_03.pdf
- Prieto, K. (2019). *El estado de la seguridad alimentaria en los hogares de la provincia de Tungurahua*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29933/1/T4577e.pdf>
- Quicaña, E. (2020). *Sector rural y desarrollo local en América Latina y el Caribe*. <https://www.ilo.org/americas/temas/sector-rural-y-desarrollo-local/lang-es/index.htm>
- Quintero, M., Torres, A., Pérez, B., Zaldívar, Á., & Vizcay, D. (2020). Optimización de la producción de recursos para el aprendizaje electrónico a través de herramientas matemáticas. *Ingeniería Agrícola* , 10. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586264607008/html/>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). *Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio*. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Ramírez, V., Cárdenas, D., & Ruíz, S. (2018). Programación o planeación de actividades o recursos en la agricultura. Una revisión de Literatura. *SCIELO*, 1794–1237, 15, 74–75. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v15n30/1794-1237-eia-15-30-73.pdf>
- Ramírez, V., Cárdenas, D., & Ruiz, S. (2018). Programación o planeación de actividades o recursos en la agricultura. Una revisión de literatura. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237, 15, 74–75. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v15n30/1794-1237-eia-15-30-73.pdf>
- Récalc, C. (2010). *El proyecto Píllaro ¿Iniciado por la voluntad del Estado, deseado por la de las comunidades rurales, terminado en favor de quién?*
- Roche, A., Larduet, R., Mederos, A., & Verena, O. (2003). Modelo de programación lineal para la planificación de fincas maximizando la cantidad de personas a alimentar.

Dialnet, 1(0717–9103), 59–62.

- Rodríguez, O., Florido, R., & Varela, M. (2018). Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en Cuba. *SCIELO*, 39. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000100018
- Rosendo, A., Herrera, F., Vizcarra, I., & Baca, N. (2019). Desarrollo territorial rural: agricultura y migración en el sur del Estado de México. *SCIELO*, 19. <https://doi.org/https://doi.org/10.22136/est20191207>
- Ruíz, O., Arteaga, R., Vázquez, M., López, R., & Ontivetos, R. E. (2011). Requerimiento de riego y predicción del rendimiento en gramíneas forrajeras mediante un modelo de simulación en Tabasco, México. *SCIELO*, 45. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000700001
- Sabourin, E., Patrouilleau, M., Le, F., Vázquez, L., & Niederle, P. (2017). *Políticas públicas a favor américa latina y el caribe* (r. Marczal, ed.; vol. 1). Fao. https://inta.gob.ar/sites/default/files/e._sabourin_et_al_2017_politicas_publicas_a_favor_de_la_agroecologia_en_alyec.pdf
- Salcedo, S., & Guzmán, L. (2014). Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: *FAO*. <https://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>
- Sanchez, P., Balanzategui, R., & Balanzategui, R. (2016). *El precio justo en los productos agrícolas en Ecuador*. <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2016/precio-justo.html>
- Sánchez, M., Freire, C., Mayorga, F., & Vayas, T. (2020). *Sector agrícola ecuador*. <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Diagn%C3%B3stico-sector-agr%C3%ADcola-Ecuador.pdf>
- Segovia, P. (2021). Importancia de los modelos de simulación para la agricultura. *Diario Uach*. <https://diario.uach.cl/importancia-de-los-modelos-de-simulacion-para-la-agricultura/>
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2014, January 24). *I Foro Climático regional se desarrollará en Pillaro*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/i-foro-climatico-regional-se-desarrollara-en->

pillaro/#

- Sonnino, A., & Ruane, J. (2013). *La innovación en agricultura como herramienta de la política de seguridad alimentaria: el caso de las biotecnologías agrícolas*. https://www.researchgate.net/profile/Andrea-Sonnino-2/publication/263443721_La_innovacion_en_agricultura_y_las_biotecnologias_agricolas_como_herramientas_de_las_politicas_de_seguridad_alimentaria/links/572362cc08aef9c00b811147/La-innovacion-en-agricultura-y-las-biotecnologias-agricolas-como-herramientas-de-las-politicas-de-seguridad-alimentaria.pdf
- Suquilanda, M. (2016). *Análisis comparativo de los modelos de producción agroalimentaria del Ecuador. En teoría y práctica de la soberanía alimentaria*. <http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec/prueba/servicios/wp-content/uploads/2016/05/An%C3%A1lisis-de-Modelos-Agroalimentarios-Ing.-Manuel-Suquilanda.pdf>
- Taratula, R., Oleksandra, K., Zoriana, R., & Svitlana, M. (2019). Application of mathematical modelling for optimization of land-use management. *Sciéndo*, 27, 59–68. <https://sciendo.com/article/10.2478/remav-2019-0025>
- TEC. (2018). *Desafíos para lograr una agricultura más sostenible, El reto del agro en latinoamérica*. Tecnología de Costa Rica. <https://www.tec.ac.cr/pensis/articulos/desafios-lograr-agricultura-mas-sostenible-reto-agro-latinoamerica>
- Terán, C. (2020). El modelo económico agroexportador, el origen de la producción agroexportadora colonial a la banca particular republicana. *Boletín Academia Nacional de Historia*, 98, 11–38.
- Toshiaki, K. (2012). *Guía Técnica sobre Mejoramiento de Administración Agrícola para Pequeños Agricultores*. Proyecto Propa-Oriente. https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/farm_06.pdf
- Unctad. (2013, November 20). *Datos y Cifras*. <https://unctad.org/es/press-material/datos-y-cifras>
- Zambrano, C., & Arias, M. (2021). Productividad y precios de maíz duro pre y post Covid-19 en el Ecuador. *SCIELO*, 4. [83](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-</p></div><div data-bbox=)

36202021000400143#:~:text=El Banco Central del Ecuador,de las 6 TM%2FHa.

Anexos

Código ejecutado en GAMS

GAMS 36.2.0 r433180e Released Sep 3, 2021 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
02/09/22 13:17:34 Page 1

General Algebraic Modeling System

Include File Summary

SEQ	GLOBAL TYPE	PARENT	LOCAL FILENAME
1	1 INPUT	0	0 C:\Users\admin\Desktop\Resultados.gms
2	318 STOP	1	318 C:\Users\admin\Desktop\Resultados.gms

COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 36.2.0 r433180e WEX-WEI
GAMS 36.2.0 r433180e Released Sep 3, 2021 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
02/09/22 13:17:34 Page 2

General Algebraic Modeling System

Equation Listing SOLVE variacion Using LP From line 315

---- objjt =E=

objjt.. 465.3589*xc(maiz,pequeno) + 266.072*xc(maiz,mediano) +
404.406*xc(maiz,grande) - 18.8896*xc(mora,pequeno) - 340.7952*xc(mora,grande) +
415.224*xc(papa,pequeno) + 103.836*xc(papa,mediano) - 4638.616*xc(papa,grande) +
265.154*xc(tomate,pequeno) + 90.945*xc(tomate,mediano) + z =E= 0 ; (LHS = 0)

---- eq_land =L=

eq_land(pequeno).. xc(maiz,pequeno) + xc(mora,pequeno) + xc(papa,pequeno) +
xc(tomate,pequeno) =L= 1156.77 ; (LHS = 0)

eq_land(mediano).. xc(maiz,mediano) + xc(mora,mediano) + xc(papa,mediano) +
xc(tomate,mediano) =L= 1156.77 ; (LHS = 0)

eq_land(grande).. xc(maiz,grande) + xc(mora,grande) + xc(papa,grande) +
xc(tomate,grande) =L= 1156.77 ; (LHS = 0)

---- eq_wat =L=

$$\begin{aligned} \text{eq_wat(Ene).. } & 5.49*\text{xc}(\text{maiz,pequeno}) + 5.49*\text{xc}(\text{maiz,mediano}) + 5.49*\text{xc}(\text{maiz,grande}) \\ & + 2.246*\text{xc}(\text{mora,pequeno}) + 2.246*\text{xc}(\text{mora,mediano}) + 2.246*\text{xc}(\text{mora,grande}) + \\ & 3.4*\text{xc}(\text{papa,pequeno}) + 3.4*\text{xc}(\text{papa,mediano}) + 3.4*\text{xc}(\text{papa,grande}) + \\ & 4.51*\text{xc}(\text{tomate,pequeno}) + 4.51*\text{xc}(\text{tomate,mediano}) + 4.51*\text{xc}(\text{tomate,grande}) =L= \\ & 1200 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{eq_wat(Feb).. } & 3.87*\text{xc}(\text{maiz,pequeno}) + 3.87*\text{xc}(\text{maiz,mediano}) + 3.87*\text{xc}(\text{maiz,grande}) \\ & + 5.53*\text{xc}(\text{mora,pequeno}) + 5.53*\text{xc}(\text{mora,mediano}) + 5.53*\text{xc}(\text{mora,grande}) + \\ & 5.56*\text{xc}(\text{papa,pequeno}) + 5.56*\text{xc}(\text{papa,mediano}) + 5.56*\text{xc}(\text{papa,grande}) + \\ & 9.6*\text{xc}(\text{tomate,pequeno}) + 9.6*\text{xc}(\text{tomate,mediano}) + 9.6*\text{xc}(\text{tomate,grande}) =L= 1200 ; \\ & (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{eq_wat(Mar).. } & 6.6*\text{xc}(\text{maiz,pequeno}) + 6.6*\text{xc}(\text{maiz,mediano}) + 6.6*\text{xc}(\text{maiz,grande}) + \\ & 5.754*\text{xc}(\text{mora,pequeno}) + 5.754*\text{xc}(\text{mora,mediano}) + 5.754*\text{xc}(\text{mora,grande}) + \\ & 6.95*\text{xc}(\text{papa,pequeno}) + 6.95*\text{xc}(\text{papa,mediano}) + 6.95*\text{xc}(\text{papa,grande}) + \\ & 9.39*\text{xc}(\text{tomate,pequeno}) + 9.39*\text{xc}(\text{tomate,mediano}) + 9.39*\text{xc}(\text{tomate,grande}) =L= \\ & 1200 ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

$$\text{---- eq_mo =L=}$$

$$\begin{aligned} \text{eq_mo.. } & 48*\text{xc}(\text{maiz,pequeno}) + 48*\text{xc}(\text{maiz,mediano}) + 48*\text{xc}(\text{maiz,grande}) + \\ & 69*\text{xc}(\text{mora,pequeno}) + 69*\text{xc}(\text{mora,mediano}) + 69*\text{xc}(\text{mora,grande}) + \\ & 55*\text{xc}(\text{papa,pequeno}) + 55*\text{xc}(\text{papa,mediano}) + 55*\text{xc}(\text{papa,grande}) + \\ & 137*\text{xc}(\text{tomate,pequeno}) + 137*\text{xc}(\text{tomate,mediano}) + 137*\text{xc}(\text{tomate,grande}) =L= 8000 \\ & ; (\text{LHS} = 0) \end{aligned}$$

$$\text{---- eq_crop1 =L=}$$

$$\text{eq_crop1(pequeno).. } \text{xc}(\text{maiz,pequeno}) =L= 320.87 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop1(mediano).. } \text{xc}(\text{maiz,mediano}) =L= 272.7 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{eq_crop1(grande).. } \text{xc}(\text{maiz,grande}) =L= 1772.7 ; (\text{LHS} = 0)$$

$$\text{---- eq_crop2 =L=}$$

$$\text{eq_crop2(pequeno).. } \text{xc}(\text{mora,pequeno}) =L= 158.46 ; (\text{LHS} = 0)$$

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

$$\text{eq_crop2(grande).. } \text{xc}(\text{mora,grande}) =L= 307.27 ; (\text{LHS} = 0)$$

---- eq_crop3 =L=

eq_crop3(pequeno).. xc(papa,pequeno) =L= 3219.2 ; (LHS = 0)

eq_crop3(mediano).. xc(papa,mediano) =L= 1236.3 ; (LHS = 0)

eq_crop3(grande).. xc(papa,grande) =L= 22727.2 ; (LHS = 0)

---- eq_crop4 =L=

eq_crop4(pequeno).. xc(tomate,pequeno) =L= 107.4 ; (LHS = 0)

eq_crop4(mediano).. xc(tomate,mediano) =L= 454.5 ; (LHS = 0)

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

---- eq_calb_ag =L=

eq_calb_ag(maiz,pequeno).. xc(maiz,pequeno) =L= 23.13771354 ; (LHS = 0)

eq_calb_ag(maiz,mediano).. xc(maiz,mediano) =L= 56.687398173 ; (LHS = 0)

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

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

GAMS 36.2.0 r433180e Released Sep 3, 2021 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
02/09/22 13:17:34 Page 3

General Algebraic Modeling System
Column Listing SOLVE variacion Using LP From line 315

---- xc

xc(maiz,pequeno)

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

465.3589 objjt

1 eq_land(pequeno)

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(pequeno)
1 eq_calb_ag(maiz,pequeno)

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

266.072 objjt
1 eq_land(mediano)
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(mediano)
1 eq_calb_ag(maiz,mediano)

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

404.406 objjt
1 eq_land(grande)
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(grande)
1 eq_calb_ag(maiz,grande)

REMAINING 9 ENTRIES SKIPPED

---- z

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

GAMS 36.2.0 r433180e Released Sep 3, 2021 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
02/09/22 13:17:34 Page 4

General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE variacion Using LP From line 315

MODEL STATISTICS

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

GENERATION TIME = 0.375 SECONDS 4 MB 36.2.0 r433180e WEX-WEI
GAMS 36.2.0 r433180e Released Sep 3, 2021 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows -
02/09/22 13:17:34 Page 5

General Algebraic Modeling System
Solution Report SOLVE variacion Using LP From line 315

SOLVE SUMMARY

MODEL variacion	OBJECTIVE z
TYPE LP	DIRECTION MAXIMIZE
SOLVER CPLEX	FROM LINE 315