



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA  
PRODUCTIVA DEL MAÍZ EN EL CANTÓN DE SANTA ELENA,  
PROVINCIA SANTA ELENA”**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**AUTOR:**

**CRUZ FLORES JOHANNA ANILEY**

**TUTOR:**

**BUENAÑO BUENAÑO EDISON**

La Libertad, Ecuador

2023

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**“PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA  
CADENA PRODUCTIVA DEL MAÍZ EN EL CANTÓN DE  
SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORA:**

**CRUZ FLORES JOHANNA ANILEY**

**TUTOR:**

**ING. BUENAÑO BUENAÑO EDISON NOE, MSc**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2023**

**UPSE**

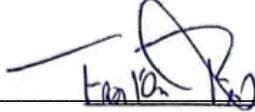
# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Cruz Flores Johanna Aniley**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Industrial**.

## TUTOR

f.   
Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, Mgrt.

## DIRECTOR DE LA CARRERA

f.   
Ing. Reyes Soriano Franklin Enrique, MSc.

La Libertad, a los 15 días del mes de diciembre del año 2023.

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Ing.

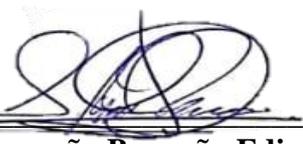
Buenaño Buenaño Edison Noe, MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación/Estudio de caso (escoger según sea el caso) “PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA PRODUCTIVA DEL MAÍZ EN EL CANTÓN DE SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA”, elaborado por la Srta. CRUZ FLORES JOHANNA ANILEY, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniera Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

**TUTOR**

f.   
**Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, MSc.**

La Libertad, a los 15 días del mes de diciembre del año 2023.

# DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Cruz Flores Johanna Aniley**

## DECLARO/DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Propuesta de Dinámica de Sistemas para la cadena productiva del maíz en el Cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena**” previo a la obtención del título de **Ingeniera Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi/nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, me/nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**La Libertad, a los 15 días del mes de diciembre del año 2023.**

**AUTORA**

f.   
Cruz Flores Johanna Aniley

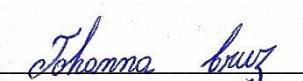
# AUTORIZACIÓN

Yo, **Cruz Flores Johanna Aniley**

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, “**Propuesta de Dinámica de Sistemas para la cadena productiva del maíz en el Cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**La Libertad, a los 15 días del mes de diciembre del año 2023.**

**AUTORA:**

f.   
Cruz Flores Johanna Aniley

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

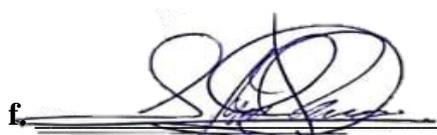
En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA PRODUCTIVA DEL MAÍZ EN EL CANTÓN DE SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA”**, elaborado por la Srta. **CRUZ FLORES JOHANNA ANILEY**, egresada de la carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniera Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 4% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.



Atentamente,

FIRMA DEL TUTOR

  
f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Buenaño Buenaño Edison, MSc.**

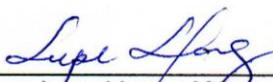
# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

## CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Mgtr. Lupe Llangarí Morocho, por medio de la presente tengo a bien **CERTIFICAR:** Que he revisado el trabajo de titulación con el tema “**PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA PRODUCTIVA DEL MAÍZ EN EL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA**”, elaborado por la Srta. **JOHANNA ANILEY CRUZ FLORES**, con cédula de identidad No. 2450261850, previo a la obtención del título de Ingeniera Industrial.

El presente trabajo investigativo de titulación ha sido escrito de acuerdo a las normas gramaticales y de sintaxis vigente de la lengua española.

Certificación que otorgo para fines académicos pertinentes.



Dra. Lupe Llangarí Morocho, Mgtr.

C.I. 0913153979

Celular: 0985667292

Registro SENESCYT No. 1050-12-86029483

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a Dios por dotarme de inteligencia, fortaleza y perseverancia para alcanzar una meta más en mi vida profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional y sacrificios incansables que se han convertido en la fuerza impulsora detrás de cada logro.

Gracias por ser mi fuente de inspiración y por alentarme en los momentos difíciles.

A mi tutor, por su valiosa orientación, y a mis compañeros de clases por la motivación constante que me permitieron culminar con éxito esta importante etapa de mi vida.

*Johanna Aniley Cruz Flores*

## **DEDICATORIA**

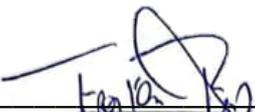
El presente proyecto de investigación le dedico con profundo amor y gratitud a mis padres, quienes han sido pilares fundamentales en esta etapa académica y me han inculcado desde el inicio valores de perseverancia y dedicación.

A mis hermanas quienes han estado presente y me han apoyado incondicionalmente en todo momento.

Y a mis abuelos que, aunque ya no estén físicamente fueron parte fundamental de mi desarrollo profesional.

*Johanna Aniley Cruz Flores*

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Franklin Enrique Reyes Soriano, Mgtr.**

DIRECTOR DE CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

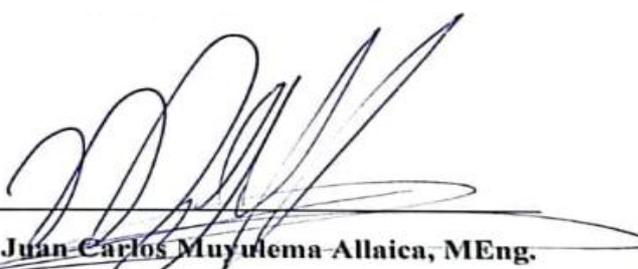
**Ing. Víctor Matías Pillasagua, MSc.**

DOCENTE ESPECIALISTA

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Edison Noe Buenaño Buenaño, MSc.**

DOCENTE TUTOR

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Juan Carlos Muyulema Allaica, MEng.**

DOCENTE GUIA UIC

# ÍNDICE GENERAL

<b>PORTADA.....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>v</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>vi</b>
<b>CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....</b>	<b>vii</b>
<b>CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA .....</b>	<b>viii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>x</b>
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>xix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
1.1. Antecedentes investigativos.....	8
1.2. Estado del arte.....	11
1.2.1.Revisión del Modelo de Dinámica de Sistemas.....	29
1.2.2.Revisión de la Cadena Productiva .....	36
1.3. Recapitulación del Capítulo I.....	38

<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>39</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>39</b>
2.1. Enfoque de investigación .....	39
2.2. Diseño de investigación .....	39
2.3. Procedimiento metodológico .....	40
2.4. Población y Muestra.....	44
2.4.1. Población.....	44
2.4.2. Muestra.....	45
2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos (Adaptada a la unidad de análisis y tipo de estudio) .....	48
2.5.1. Métodos de recolección de datos .....	48
2.5.2. Técnicas de recolección de datos .....	49
2.5.3. Instrumentos de recolección de datos .....	50
2.6. Variables del estudio .....	50
2.6.1. Operacionalización de variables .....	51
2.7. Procedimientos para la recolección de datos .....	53
2.8. Plan de análisis e interpretación de resultados .....	54
2.9. Recapitulación del Capítulo II .....	55
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>56</b>
<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>56</b>
3.1. Marco de resultados .....	56
3.1.1.Confiabilidad y validez mediante el coeficiente Alfa de Cronbach.....	71
3.1.2.Verificación de la hipótesis o fundamentación de las preguntas de investigación. ....	73
3.1.2.1.Planteamiento de la hipótesis .....	73
3.1.2.2.Comprobación de hipótesis mediante análisis de varianza ANOVA.....	73
3.2. Propuesta de mejora .....	77
3.2.1.Tema.....	77
3.2.2.Introducción .....	77
3.2.3.Metodología .....	78
3.2.3.1.Identificación y articulación del problema.....	79
3.2.3.2.Hipótesis dinámica.....	81

3.2.3.3. Formulación del Modelo de Simulación .....	84
3.2.3.4. Validación del modelo .....	88
3.2.3.5. Formulación de políticas y evaluación.....	90
3.2.4. Presupuesto .....	92
3.3. Marco de discusión .....	96
3.4. Limitaciones del estudio .....	98
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>112</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Criterios de consulta.....	13
<b>Tabla 2.</b> Criterios de inclusión y exclusión.....	14
<b>Tabla 3.</b> Identificación de clústers.....	18
<b>Tabla 4.</b> Artículos más relevantes sobre modelados de dinámica de sistemas. ....	19
<b>Tabla 5.</b> Símbolos del Diagrama de Forrester.....	34
<b>Tabla 6.</b> Población de estudio. ....	45
<b>Tabla 7.</b> Muestra probabilística estratificada. ....	47
<b>Tabla 8.</b> Muestra estratificada con criterio estadístico de conveniencia. ....	48
<b>Tabla 9.</b> Operacionalización de variables. ....	51
<b>Tabla 10.</b> Plan de procesamiento de datos. ....	53
<b>Tabla 11.</b> Plan de análisis de interpretación.....	54
<b>Tabla 12.</b> Conformación de grupo de expertos .....	59
<b>Tabla 13.</b> Perfil de los expertos seleccionados.....	60
<b>Tabla 14.</b> Evaluación de expertos .....	60
<b>Tabla 15.</b> Análisis de Frecuencia de la validación por expertos .....	61
<b>Tabla 16.</b> Procesamiento de casos - IBM Statistics 25 .....	71
<b>Tabla 17.</b> Alfa de Cronbach .....	72
<b>Tabla 18.</b> Criterio de Fiabilidad .....	72
<b>Tabla 19.</b> Cálculo de datos para ANOVA.....	74
<b>Tabla 20.</b> Datos de ANOVA con Fisher calculado .....	76
<b>Tabla 21.</b> Rango de productividad .....	82
<b>Tabla 22.</b> Descripción de las variables.....	84
<b>Tabla 23.</b> Descripción de las variables (continua anterior).....	85
<b>Tabla 24.</b> Resultados de la simulación para los próximos 10 años .....	88
<b>Tabla 25.</b> Errores simulados de la superficie cosechada y producción de maíz .....	89
<b>Tabla 26.</b> Presupuesto .....	92
<b>Tabla 27.</b> Aportes por productor .....	93
<b>Tabla 28.</b> Ingreso anual .....	93
<b>Tabla 29.</b> Costos y Gastos anuales .....	93
<b>Tabla 30.</b> Utilidad anual .....	94
<b>Tabla 31.</b> Depreciación de vehículos.....	94
<b>Tabla 32.</b> Ingresos anuales por producción .....	94

<b>Tabla 33.</b> Utilidades anuales.....	94
<b>Tabla 34.</b> Flujo de caja anual para los años posteriores .....	95
<b>Tabla 35.</b> Periodo de recuperación de la inversión.....	95
<b>Tabla 36.</b> Cálculo de VAN, TIR y PR.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo de la metodología empleada. ....	12
<b>Figura 2.</b> Red de co-citaciones por autores. ....	15
<b>Figura 3.</b> Red por coocurrencia de palabras claves mediante el software VOSviewer. .....	16
<b>Figura 4.</b> Artículos clasificados de acuerdo con el año de publicación. ....	17
<b>Figura 5.</b> Artículos de acuerdo con el país de publicación. ....	17
<b>Figura 6.</b> Herramientas utilizadas.....	26
<b>Figura 7.</b> Softwares para el modelo de dinámica de sistemas.....	26
<b>Figura 8.</b> Técnicas para el estudio de investigación.....	27
<b>Figura 9.</b> Población de estudio.....	28
<b>Figura 10.</b> Bucles de retroalimentación positivo y negativo.....	32
<b>Figura 11.</b> Eslabones de una cadena productiva. ....	36
<b>Figura 12.</b> La cadena productiva y sus actores principales.....	37
<b>Figura 13.</b> Etapas del procedimiento metodológico de la investigación.....	41
<b>Figura 14.</b> Plan de evaluación.....	42
<b>Figura 15.</b> Etapas del modelado de dinámica de sistemas. ....	43
<b>Figura 16.</b> Fases de recolección de datos.....	49
<b>Figura 17.</b> Fases de la metodología de Ábaco de Régnier.....	50
<b>Figura 18.</b> Mapa Cantonal.....	57
<b>Figura 19.</b> Mapa de cobertura por cultivo.....	57
<b>Figura 20.</b> Desarrollo de preguntas.....	58
<b>Figura 21.</b> Resultados de Pregunta 1.....	63
<b>Figura 22.</b> Resultados de Pregunta 2.....	63
<b>Figura 23.</b> Resultados de Pregunta 3.....	64
<b>Figura 24.</b> Resultados de Pregunta 4.....	64
<b>Figura 25.</b> Resultados de Pregunta 5.....	65
<b>Figura 26.</b> Resultados de Pregunta 6.....	65
<b>Figura 27.</b> Resultados de Pregunta 7.....	66
<b>Figura 28.</b> Resultados de Pregunta 8.....	66
<b>Figura 29.</b> Resultados de Pregunta 9.....	67
<b>Figura 30.</b> Resultados de Pregunta 10.....	68
<b>Figura 31.</b> Resultados de Pregunta 11.....	68

<b>Figura 32.</b> Resultados de Pregunta 12.....	69
<b>Figura 33.</b> Resultados de Pregunta 13.....	69
<b>Figura 34.</b> Resultados de Pregunta 14.....	70
<b>Figura 35.</b> Subsistemas de la cadena productiva del maíz.....	79
<b>Figura 36.</b> Diagrama de Bucle Causal de la cadena productiva del maíz.....	83
<b>Figura 37.</b> Diagrama de Forrester de la cadena productiva de maíz en Anylogic. ...	86
<b>Figura 38.</b> Simulación de la cadena productiva de maíz en Anylogic.....	87
<b>Figura 39.</b> Superficie cosechada y producción de maíz.....	89
<b>Figura 40.</b> Escenario base .....	90
<b>Figura 41.</b> Incremento de la productividad .....	90
<b>Figura 42.</b> Escenario 2 - Analizar el impacto de los aspectos económicos. ....	91
<b>Figura 43.</b> Escenario 3 – Analizar el impacto de los aspectos ambientales.....	91

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexos 1.</b> Software Vosviewer.....	112
<b>Anexos 2.</b> Software Anylogic versión gratuita.....	112
<b>Anexos 3.</b> Cuestionario para la recolección de datos. ....	113
<b>Anexos 4.</b> Formato de validación de encuesta realizada por expertos. ....	116
<b>Anexos 5.</b> Validación realizada por expertos. ....	118
<b>Anexos 6.</b> Fiabilidad en software SPSS Statistics 24. ....	119
<b>Anexos 7.</b> Levantamiento de información. ....	121

# “PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA PRODUCTIVA DEL MAÍZ EN EL CANTÓN DE SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA”

**Autor:** Cruz Flores Johanna Aniley

**Tutor:** Ing. Buenaño Buenaño Edison, MSc.

## RESUMEN

Los modelos de dinámica de sistemas aplicados al ámbito agrícola han facilitado la comparación de aspectos sociales, económicos, productivos y medioambientales, permitiendo gestionar la toma de decisiones de manera estratégica con soluciones más eficientes y sostenibles. Debido a las limitaciones como presencia de plagas, cambios climáticos y falta de acceso a canales de comercialización que presenta el sector agrícola, específicamente el cultivo de maíz surgió la necesidad de proponer un modelo de dinámica de sistemas para simular las complejidades de la cadena productiva del maíz que permita optimizar su competitividad y sostenibilidad.

La metodología de este estudio de investigación tuvo un enfoque cuantitativo de tipo no experimental con diseño transversal descriptivo y correlacional.

Se emplearon cuestionarios para la recolección de información dirigido a 35 productores de maíz, los cuales pasaron por un proceso de validación mediante la metodología de Ábaco de Régnier y los resultados obtenidos cumplieron con las propiedades de confiabilidad, mediante el coeficiente de alfa de Cronbach que alcanzó un valor de 0.801 considerado como aceptable.

A partir de estos datos se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas para la optimización de la cadena productiva del maíz mediante el planteamiento de tres escenarios con un análisis de proyección de 10 años, que permitieron conocer que aumentar la productividad a 18 ton/ha logrará satisfacer la demanda y por ende incrementar los ingresos del agricultor. Implementar la propuesta implicará una inversión de \$11,908,31 con un periodo de recuperación inferior a dos años.

**Palabras claves:** *(Modelo de dinámica de sistemas, cadena productiva de maíz, optimización, simulación).*

# "SYSTEMS DYNAMICS PROPOSAL FOR THE CORN PRODUCTION CHAIN IN THE CANTON OF SANTA ELENA, SANTA ELENA PROVINCE".

**Author:** Cruz Flores Johanna Aniley

**Tutor:** Ing. Buenaño Buenaño Edison, MSc.

## ABSTRACT

System dynamics models applied to agriculture have facilitated the comparison of social, economic, productive, and environmental aspects, allowing for strategic decision making with more efficient and sustainable solutions. Due to limitations such as the presence of pests, climatic changes, and lack of access to marketing channels in the agricultural sector, specifically the corn crop, the need arose to propose a system dynamics model to simulate the complexities of the corn production chain in order to optimize its competitiveness and sustainability.

The methodology of this research study had a non-experimental quantitative approach with a descriptive and correlational cross-sectional design.

Questionnaires were used to collect information from 35 corn producers, which underwent a validation process using the Régnier Abacus methodology, and the results obtained met the reliability properties through Cronbach's alpha coefficient, which reached a value of 0.801, considered acceptable.

Based on these data, a system dynamics model was developed for the optimization of the corn production chain by means of three scenarios with a 10-year projection analysis, which showed that increasing productivity to 18 ton/ha will satisfy demand and therefore increase farmers' income. Implementing the proposal will imply an investment of \$11,908.31 with a payback period of less than two years.

**Key words:** *(System dynamics model, corn production chain, optimization, simulation).*

# INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se busca mejorar la eficiencia de la cadena productiva en el ámbito agroalimentario, mediante una integración y participación más sólida y efectiva para garantizar suministros confiables en términos de calidad y tiempo de entrega de los productos con la finalidad de fortalecer la competitividad de cada eslabón de la cadena, incrementando la eficiencia en la producción que va desde la generación de materias primas hasta su comercialización (García-Peña et al., 2012) ; (Sartori-Ruilova & Kometter, 2020).

Los estudios sobre las cadenas productivas se centran en la evaluación de la productividad y competitividad de varios sectores económicos, por lo tanto, en América Latina, el fortalecimiento de las cadenas productivas ha pasado a ser un aspecto importante para las iniciativas de promoción económica, fomentando la colaboración e implementación de estrategias con el fin de optimizar la competitividad empresarial (Reyes, et al., 2021).

En Ecuador, se han empleado iniciativas de colaboración entre el sector público y privado con el fin de fortalecer las cadenas productivas mediante emprendimiento e innovación, sin embargo, actualmente el manejo de las cadenas que van desde la cosecha hasta la comercialización se realiza de forma privada, lo cual ha provocado falta de contribución al desarrollo económico y sostenible de las comunidades (Castillo-Ortiz, 2022).

En el sector agrícola, se han aplicado modelos de dinámica de sistemas con el objetivo de permitir la comparación de aspectos sociales, económicos, productivos y medioambientales, e incluso se ha convertido en una herramienta necesaria para comprender y gestionar la toma de decisiones de los sistemas agrícolas de manera estratégica con soluciones más eficientes y sostenibles (Anacona Mopan et al., 2023). A nivel mundial, la aplicación de la dinámica de sistemas ha sido fundamental para solucionar problemas complejos y no lineales, que implica la utilización de técnicas cualitativas y cuantitativas con simulaciones por ordenadores, que además ha permitido mejorar la forma organizativa de los sistemas industriales ya que, al basarse en la continuidad del tiempo se logra obtener ventajas en la producción, en la demanda y en la planificación de inventarios (Ding et al., 2023) ; (Suryani, Dewi, et al., 2019).

En este contexto, Ibragimov et al., (2019), analizaron los principales impulsores del crecimiento de la productividad de la palma aceitera y sus impactos en factores asociados mediante la aplicación de un modelo de dinámica de sistemas para comprender los factores que influyen en el rendimiento y uso de la tierra en la industria del aceite de palma. Los resultados indicaron que la inversión en investigación y desarrollo, así como la implementación de automatización y mecanización permitió aumentar de manera significativamente el rendimiento hasta un 78,6% equivalente a 15,4 ton/ha y generar ahorros de hasta 27% en costos operativos.

En América del Sur, también se han realizado investigaciones enfocadas en mejorar la productividad del sector agrícola mediante la dinámica de sistemas, como el caso de Anacona-Mopan et al., (2023), quienes implementaron un modelo dinámico integral para evaluar mediante escenarios óptimos, las estrategias a largo plazo como acceso a crédito, prácticas logísticas y respaldo técnico gubernamental, con el objetivo de analizar los efectos en la mejora de productividad y rentabilidad de pequeños productores, como resultado de la aplicación de estas estrategias se proyectó un escenario donde la agricultura desarrollada permitió a los productores responder de manera efectiva a la demanda con productos de alta calidad.

En Ecuador, se dispone de evidencia empírica limitada sobre el sector agrícola con la metodología de dinámica de sistemas, sin embargo, Sampedro et al., (2020) emplearon esta herramienta para analizar el sistema alimentario de las Islas Galápagos, con el propósito de desarrollar escenarios futuros que permitieron evaluar los posibles efectos en las estructuras del sistema de abastecimiento de alimentos en esta región.

A nivel mundial, el maíz es considerado como un cultivo de gran relevancia en términos alimentarios y económicos donde su producción, comercio y consumo son factores que impactan significativamente la dinámica económica mundial. Actualmente, su producción agrícola supera los 1000 millones de toneladas métricas debido al incremento de las áreas dedicada a este sector, cabe destacar que entre los mayores productores del maíz están; el continente Americano con el 55% de la producción total, seguido de Asia, Europa y Oceanía (García-Lara & Serna-Saldívar, 2019).

En el Ecuador, el maíz es uno de los productos agrícolas más importantes con cobertura a nivel nacional que satisface las necesidades alimentarias y contribuye a la generación de empleo y desarrollo económico del país. Su producción cubre aproximadamente una superficie de siembra de más de 500 mil hectáreas y constituye con más del 2 % del PIB agrícola nacional (Hasang-Moran et al., 2021) ; (Ramírez-Flores et al., 2022).

La región de Litoral cuenta con una superficie de 284.700 ha sembradas de maíz duro seco, sin embargo, su productividad se ve afectada por factores como: escasa tecnificación de los productores, costos elevados de semilla certificada, inadecuados materiales genéticos usados en los agroecosistemas de producción, condiciones irregulares del sector, y falta de comercialización que impiden satisfacer la demanda actual (Albán et al., 2021); (MAG, 2022).

En Santa Elena, el cultivo del maíz se destaca por su elevada productividad en toda la provincia, de los tres cantones: Santa Elena, La Libertad y Salinas, sobresale el primero y que lleva el nombre de la provincia, cantón que posee seis parroquias productoras de maíz: Manglaralto, Colonche, Simón Bolívar, Santa Elena, Chanduy y San José de Ancón, la producción del maíz está destinada mayormente para fines de consumo humano y alimento animal, destacándose en el año 2022 con una superficie cosechada de 5.820 ha y generando una producción de 37073 ton/ha. (MAG, 2023).

Sin embargo, este sector económico se enfrenta a varios desafíos significativos como la falta de acceso a canales de comercialización, precios, desarrollo tecnológico, desarrollo limitado de los mercados de productos e insumos y falta de recursos destinados al sector agrícola (Caviedes-Cepeda, 2019).

Tales desafíos impactan la eficiencia y sostenibilidad de la producción del maíz, lo que destaca la necesidad de abordar de manera sistemática los factores que limitan el óptimo desarrollo de la cadena, con el fin de garantizar una producción eficiente y que satisfaga las demandas del mercado.

Debido a las prácticas actuales que no logran abordar de manera efectiva las variabilidades mencionadas y la falta de herramientas predictivas y de análisis de escenarios que dificultan la toma de decisiones y la planificación estratégica a largo plazo, se plantea la necesidad de desarrollar una propuesta de dinámica de sistemas

que permita modelar y simular las complejidades que intervienen en la cadena productiva del maíz con el fin de mejorar su competitividad y sostenibilidad.

La propuesta de implementar la dinámica de sistemas se plantea como una alternativa para optimizar la cadena productiva del maíz en el Cantón de Santa Elena, su importancia radica en la necesidad de abordar de forma integrada cada uno de los comportamientos futuros que se pueden presentar, con el objetivo de encontrar soluciones que no solo optimicen la producción de maíz, sino que además contribuyan al bienestar económico de los actores involucrados en la cadena.

Al incorporar un enfoque dinámico se busca comprender y modelar las interacciones que afectan la cadena a lo largo del tiempo, este enfoque transcendental permitirá establecer estrategias más eficaces y sostenibles para la productividad del maíz, mediante el desarrollo de tres escenarios que aborden los aspectos social, ambiental y económico de la cadena con un sistema de predicción de 10 años.

La viabilidad de esta propuesta se sustenta en la simulación de estos escenarios complejos que permitirán evaluar la eficacia de diversas intervenciones en la cadena antes de su implementación, reduciendo riesgos y optimizando recursos. En este contexto, se pretende cumplir con los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

Proponer un modelo de dinámica de sistemas para la optimización de la cadena productiva del maíz en el Cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena.

### **Objetivos Específicos**

- Desarrollar un estado arte mediante la implementación del método bibliométrico para sustento del tema de estudio.
- Estructurar un marco metodológico a partir de la investigación de modelos de dinámica de sistemas para su aplicación en la cadena productiva del maíz.
- Validar el modelo de dinámica de sistemas mediante el software Anylogic para verificar si resulta aplicativo para la optimización de la cadena productiva.

El estudio de investigación se encuentra estructurado por tres capítulos, de la siguiente manera:

### **Capítulo I:**

En esta sección, se describe la parte teórica de la investigación, en el que cada investigación previa se analizó y revisó meticulosamente mediante el método bibliométrico. Se examinaron artículos y revistas científicas para identificar las investigaciones más destacadas sobre la aplicación de la dinámica de sistemas en la cadena productiva del maíz. Los estudios seleccionados se utilizaron como base para desarrollar el estado de arte de la investigación.

### **Capítulo II:**

En el capítulo II, se abordó la parte metodológica del estudio, orientada a recopilar información y estadísticas fundamentales para la creación y simulación del trabajo de investigación. Se identificaron los métodos, técnicas e instrumentos empleados en el procesamiento y análisis de recolección de datos, junto con la descripción de la población y muestra de estudio. Estos elementos fueron esenciales para el desarrollo del estudio.

### **Capítulo III:**

Se desarrollan y analizan los datos obtenidos de las herramientas y técnicas empleadas para el estudio de investigación, se elabora la propuesta del modelo de dinámica de sistemas, y se da respuesta al cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

La dinámica de sistemas (DS), propuesta por Jay Forrester en 1960, representa un enfoque conceptual y una técnica de simulación que facilitan la investigación del comportamiento dinámico en sistemas complejos y que ha sido empleado en diversos ámbitos como la gestión de desechos urbanos, la administración de residuos de construcción, sistemas empresariales, ecológicos, medioambientales e inclusive en los sistemas agrícolas (Lee et al., 2018).

Cadenas-Anaya & Guaita, (2021) mencionaron que el estudio de la dinámica de sistemas se centra en analizar el comportamiento de los sistemas clasificados en categorías abiertas y cerradas. En un sistema abierto las salidas o conocidas como output están determinadas por las entradas externas llamadas input, sin verse afectadas por las entradas internas. Por el contrario, un sistema cerrado conocido comúnmente como sistema retroalimentado, su rendimiento actual se ve influenciado por el comportamiento pasado.

Así mismo, un modelo puede considerarse como dinámico o estático, los modelos estáticos representan sistemas en un único instante de tiempo específico o cuando el tiempo no es un factor relevante, en cambio los modelos dinámicos representan sistemas donde las variables son funciones del tiempo lo que facilita la predicción de su evolución durante un periodo determinado (Candelaria-Martínez et al., 2011).

En la actualidad se han aplicado una variedad de estudios sobre la dinámica de sistemas destinados a la optimización de las cadenas agroalimentarias. En este contexto, Analuisa, et al., (2020) mencionaron que una cadena de producción competitiva se caracteriza por tener vínculos comerciales y estratégicos con empresas que conforman la cadena de valor de un producto. Estos vínculos no solo posibilitan una mejora constante de los estándares de calidad, si no que facilitan el aumento de los productos finales en los mercados locales e internacionales y refleja la capacidad de la cadena de mantenerse económicamente a medida que aumenta su presencia en el mercado, sin embargo, también implica la integración de actividades de producción y

valor agregado con su entorno ambiental, social y ecológico, donde la cadena busca generar beneficios no solo en los aspectos económicos si no también en los ámbitos mencionados.

Pineda Ballesteros & Téllez Acuña, en el año 2018 realizaron un estudio sobre el modelado y simulación de la cadena productiva del cacao, con la finalidad de potenciar los procesos de toma de decisiones mediante la experimentación simulada, tomando como referencia nueve haciendas productoras de cacao para evaluar cada uno de los eslabones correspondientes a las etapas que conlleva su procesamiento industrial. Los resultados de este estudio indicaron que los modelados y simulaciones pueden ser instrumentos precisos para impulsar políticas agropecuarias que contribuyen a mejorar el rendimiento de los cultivos por hectáreas con la gestión de nuevos mercados capaces de absorber toda producción excedente.

Mukhlis Ramadhani et al., (2018), utilizaron el modelo de dinámica de sistemas en el sector agrícola maicero para analizar las condiciones actuales y proporcionar alternativas de solución que permitan que el sector productivo pueda satisfacer la demanda de maíz orgánico. A partir de los escenarios propuesto dedujeron que con la expansión de la tierra aproximadamente en 73000 ha anuales durante 14 años, será posible para el año 2030 una producción de maíz orgánico de 4250 ton, y en cuanto al aumento de los ingresos de los agricultores mediante la aplicación de la agricultura inteligente se alcanzará un total de 601620 rupias con un periodo de amortización de inversión equivalente a 3 años, 2 meses.

Suryani, Hendrawan, et al., (2019), desarrollaron un modelo de simulación de dinámica de sistemas (DS) con la finalidad de abordar los sistemas de retroalimentación complejos y no lineales, con el propósito de mejorar la productividad del maíz considerada insuficiente para satisfacer la demanda de alimentos básicos y de la industria. Como resultado, obtuvieron que la rentabilidad de los agricultores dependerá de la productividad y del beneficio del maíz, por lo tanto, se podría mejorar la productividad mediante enfoques estructurales y no estructurales, donde la rentabilidad de los productores podría aumentar significativamente de 38,67 millones de rupias en 2019 a 131,4 millones de rupias en 2030, así mismo la mejora de la productividad estimada sería alrededor de 131000 kg/ha en 2019 y alcanzando aproximadamente 15133 kh/ha para el año 2030.

Perazzi & Merli, en su artículo desarrollado en el 2022 estudiaron el crecimiento económico como una teoría enfocada a la dinámica de sistemas (DS), donde mencionan que los sistemas económicos pueden ser modelados a partir de ecuaciones diferenciales ya sean lineales y no lineales, haciendo uso de métodos clásicos de resolución analítica y numéricos para examinar su comportamiento, tanto así que la dinámica de sistemas considerada como un enfoque que analiza de manera gráfica un objeto de estudio, modela estos tipos de sistemas mediante un lenguaje gráfico de programación representados por elementos o variables que siguen una lógica y secuencia dentro de un mismo sistema (Jamaludin et al., 2021).

Zulkarnain et al., (2021), propusieron un método de dinámica de sistemas (DS) para fortalecer la capacidad de negociación de los agricultores dedicados a la producción del chile rojo, que ha presentado diversos desafíos como fácil deterioro de los productos, falta de tecnología de procesamiento y fluctuaciones de altos precios durante la cosecha. Como resultado obtuvieron que mediante una política de asociación equitativa entre socios y agricultores se incrementó los niveles de ingreso de aproximadamente 1.25 millones Rp/D, además se lograron mejorar los beneficios y eficiencia en el cultivo, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad de vida de los productores, cabe destacar que es esencial la intervención gubernamental con normativas regulatorias para las asociaciones.

Alzubi et al., (2023), propusieron emplear la metodología de dinámica de sistemas para desarrollar y simular escenarios que permitan mejorar el desempeño ambiental en la producción de cítricos y potenciar su rendimiento sostenible, mediante la evaluación integral de los impactos económicos y sociales. Los resultados que obtuvieron a partir de los modelos de simulación indicaron que un incremento del 1% de eficiencia conduciría a una disminución del 0,24% en las emisiones de carbono, de igual manera un aumento del 18,8% en la producción de cítricos redujo el 4,5% de las emisiones de carbono, por ende la reducción de carbono en las explotaciones agrícolas mejoraría el índice de sostenibilidad del sistema fortaleciendo la capacidad de las explotaciones locales para abastecer la demanda de cítricos a nivel local.

## **1.2.Estado del arte**

Molina Montoya, (2005) considera que el estado de arte no solo es una herramienta para recolectar información, sino también una propuesta metodológica documental que facilita el reconocimiento e interpretación de la realidad y sirve como base para la toma de decisiones en la investigación, permitiendo una reflexión profunda sobre las tendencias y carencias específicas dentro de un campo determinado.

Por su parte Guevara Patiño, (2016), describe el estado de arte como una estrategia, técnica o procedimiento riguroso que implica revisar y analizar de manera crítica lo que se ha escrito o publicado sobre un tema o área de investigación específica. Este proceso involucra la recolección e interpretación inductiva y deductiva de datos relevantes guiados por principios epistemológicos y metodológicos.

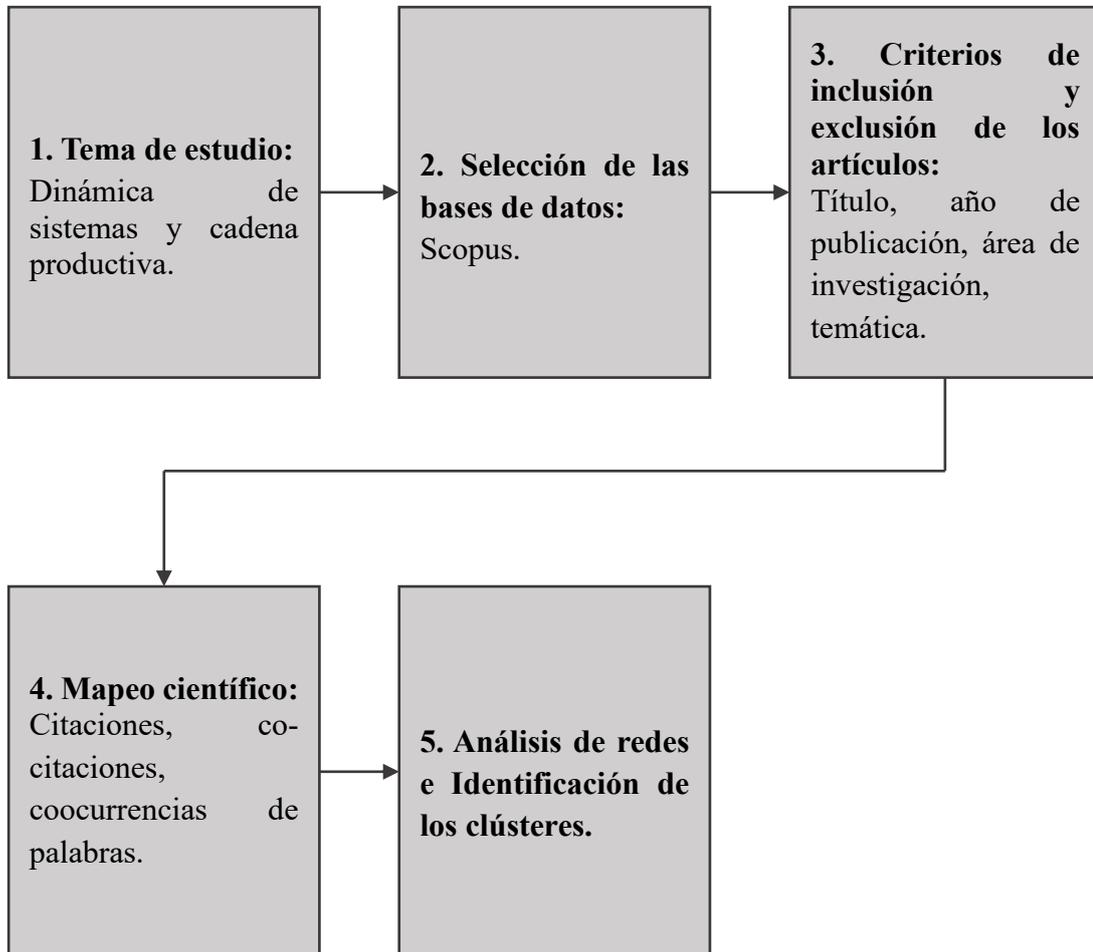
Como sustento del desarrollo del estado de arte se empleará un análisis bibliométrico, considerado como una metodología empleada para buscar y analizar un sinnúmero de artículos, publicaciones, revistas o libros que pueden ser limitadas por país, idiomas, citas, autores, palabras claves y áreas de investigación, formando parte de un campo de conocimiento específico, herramienta utilizada para clasificar o resumir resultados representativos de un conjunto de artículos bibliográficos (Rovelli et al., 2022). Además, permite evaluar las tendencias actuales presentes en la literatura de investigación, proporcionando una estructura o esquema general acerca de un área para investigaciones futuras (Wang et al., 2018).

Debido al surgimiento de base de datos científicos como Web of Science, Scopus, y Dimensions, la obtención de datos bibliométricos se ha vuelto notablemente accesible, Además, el uso de softwares como Gephi, Leximancer y VOSviewer han facilitado de manera pragmática el análisis de estos datos, generando un creciente interés el interés académico hacia estos tipos de análisis (Donthu et al., 2021).

El método bibliométrico es utilizado para examinar una red de información formada por investigadores en un determinado campo, que puede ser interpretado y visualizado mediante el empleo de mapas de red, donde las citas son elementos importantes que complementan los conocimientos de un autor con la de otros investigadores, siendo visible la relación existente entre la fuente referenciante y las fuentes citadas en un estudio (Korkmaz Saricalar, 2023).

Para el respectivo desarrollo bibliográfico del trabajo investigativo, se llevó a cabo una metodología desarrollada en cinco fases:

**Figura 1.** Diagrama de flujo de la metodología empleada.



**Fuente:** Elaborado por autor, basado en (Luis et al., 2023).

### **1. Tema de estudio**

Se delimita el tema de estudio como primera fase de investigación, orientado al modelado de dinámica de sistemas aplicado a la cadena productiva.

### **2. Selección de las bases de datos**

Como segunda fase, se consultaron las bases de datos más usadas internacionalmente que permitan abarcar gran cantidad de estudios.

*Tabla 1. Criterios de consulta.*

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>SCOPUS</b>
<b>Periodo de publicación de artículos</b>	2019 - 2023
<b>Tipo de documentos</b>	Artículos
<b>Idiomas</b>	Español, inglés.
<b>Áreas de conocimiento</b>	Ingeniería
<b>Título de búsqueda</b>	“systems dynamics model” OR “production chain”
<b>Términos claves</b>	Sistemas dinámicos, cadena productiva, gestión de la cadena de suministro, simulación, toma de decisiones, desarrollo sostenible, IoT, logística.
<b>Resultados</b>	116

*Fuente: Elaborado por autor.*

Para la revisión de los artículos se empleó la base de datos Scopus y se generó la búsqueda por título con la siguiente ecuación: “systems dynamics model” OR “production chain”, además, de criterios de búsqueda que abarcan de manera directa o transversal a términos o palabras claves como: sistemas dinámicos, cadenas productivas, gestión de la cadena de suministro, simulación, toma de decisiones, desarrollo sostenible, IoT, economía circular y logística.

Tales criterios proyectaron un total de 116 artículos limitados al área de ingeniería, y redactados en diferentes idiomas: español e inglés. En las bases de datos consultadas se evidencia el predominio del idioma inglés, ya que más del 98,5% de los artículos publicados se presentan en ese idioma, y se refleja únicamente el 1,5% de artículos en francés, portugués y chino.

### 3. Criterios de inclusión y exclusión de las publicaciones

Se establecen los criterios de inclusión y exclusión como tercera fase, donde se omiten aquellas publicaciones consultadas que estén fuera del rango de publicación de 2019 al 2023. También se excluyen las publicaciones relacionadas al área de filosofía, arte, física, química u otras áreas distintas al estudio de investigación.

Para el proceso de revisión de los artículos, se empleó una lectura detallada a partir de los títulos y resúmenes, además de identificar los documentos más relevantes según la red de citas, considerándose como otro de los criterios de inclusión.

*Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión.*

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<b>Base de Datos: Scopus</b>	
<b>Fecha de búsqueda: septiembre 2023</b>	
Artículos publicados entre el año 2019 y 2023.	Artículos publicados antes del 2019.
Artículos de investigación publicados en revistas.	Investigaciones que no son artículos de revistas como: tesis doctorales, congresos, informes y libros.
Publicaciones relacionadas al área de ingeniería.	Publicaciones relacionadas al área de filosofía, arte, física, química.
Artículos de acceso abierto.	Artículos que no están disponible para su visualización o descarga.

*Fuente: Elaborado por autor.*

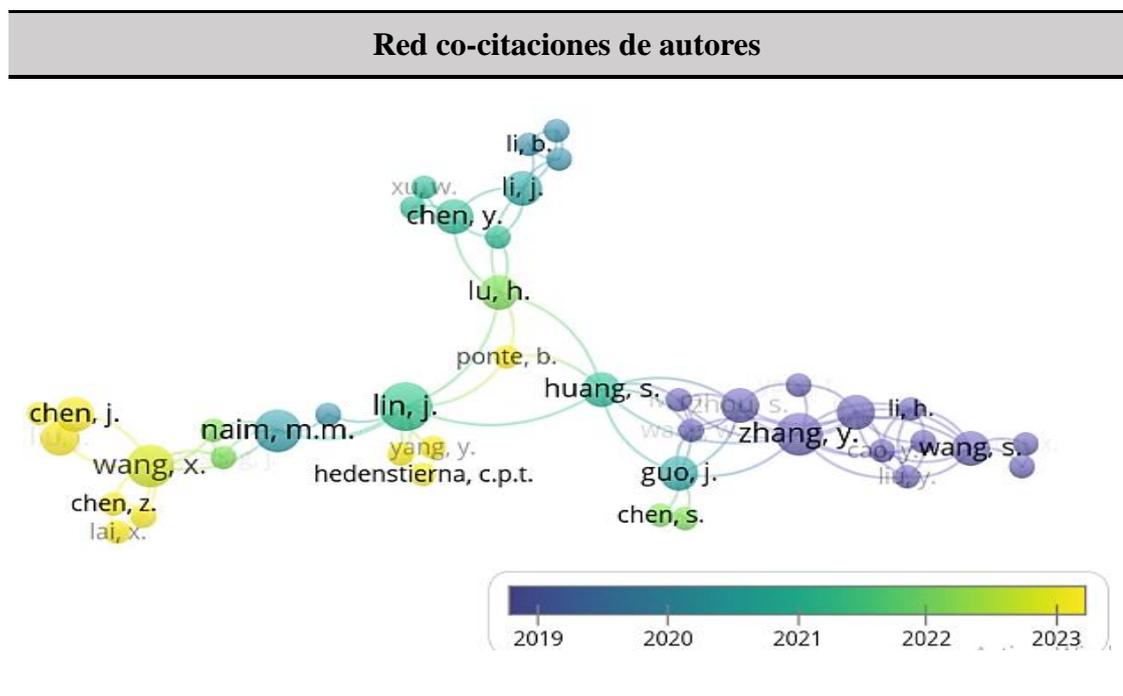
### 4. Mapeo Científico

Para la fase del mapeo científico fue necesario aplicar el análisis bibliométrico, empleando las metodologías bibliométricas propuestas por Zupic & Čater, (2015): distinción de citas, distinción de coocurrencia de palabras, distinción de co-citaciones, distinción de coautorías y análisis de acoplamiento bibliográfico (Duque et al., 2021). Estas metodologías permiten identificar aspectos relevantes de la investigación, como los autores más influyentes y la forma en que interactúan para desarrollar la producción

científica, así como los países donde es más notable la producción científica sobre un tema determinado (Luis et al., 2023).

Se descargó la base de datos con extensión de RIS, para ser analizados mediante el software VOSviewer, aplicación gratuita utilizada para mostrar las relaciones bibliométricas entre las variables de estudio, obtener estudios preliminares de investigaciones futuras y conocer qué fuentes y autores tienen más influencia entre sí (Kirby, 2023).

**Figura 2.** Red de co-citaciones por autores.



**Fuente:** Elaborado por autor usando el software VOSviewer.

El mapa de redes de co-citaciones por autores representa la variedad de estudios realizados, que tienen relación directa al problema de investigación, desarrollados por distintos autores y aplicados a diferentes áreas de estudio.

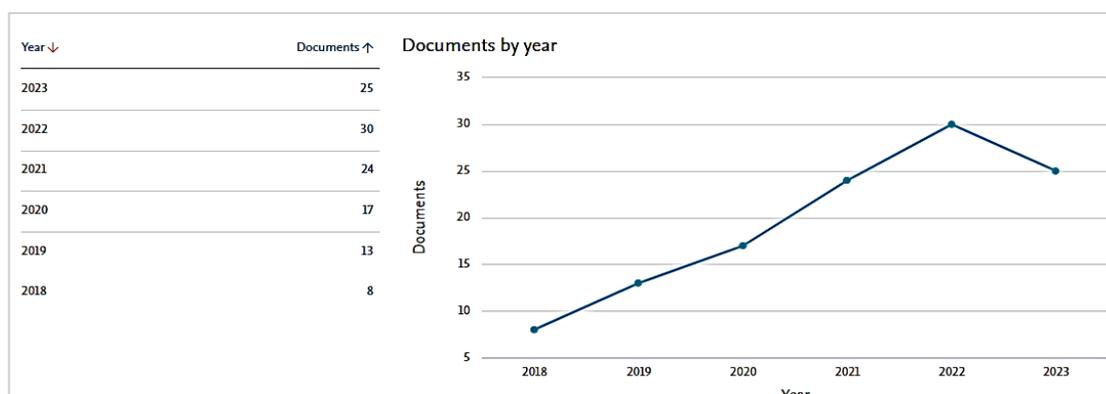
En este contexto, en la figura 2 se muestra el mapa de redes de co-citaciones por autores referenciados, basado en la frecuencia de citas. De los 1035 autores citados, se estableció un punto de corte de 25 citas como criterios de selección, lo que implicó elegir únicamente a aquellos autores citados al menos 25 veces, totalizando 317 autores.



Las palabras claves están representadas mediante círculos, su tamaño depende del número de artículos en el que aparece y las líneas de conexión entre nodos establecen el vínculo existente entre ambas.

En la figura 4, se presenta la evolución temporal de los artículos científicos acerca de la dinámica de sistemas, resaltando cinco años claves (2019 – 2023), en los que se han publicado un número significativamente mayor de artículos en comparación con el resto de los períodos.

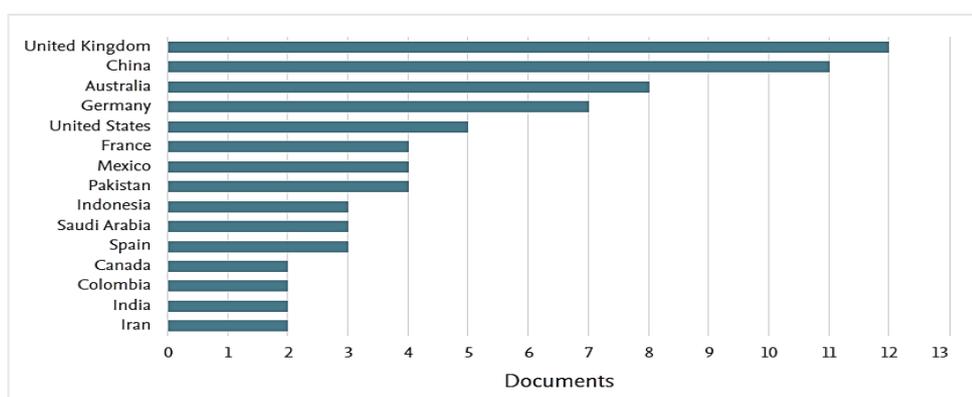
**Figura 4.** Artículos clasificados de acuerdo con el año de publicación.



**Fuente:** Elaborado por autor.

El periodo de publicación de los artículos que se presenta en la figura 4, representa la atención académica que ha recibido la dinámica de sistemas a lo largo del tiempo. A pesar de que se publicaron pocos artículos durante el período de 2019 al 2020, el número de artículo alcanzó su punto máximo entre los años 2021 al 2022. De acuerdo con estas cifras, los artículos publicados han presentado una tendencia ascendente, indicando la importancia del estudio de este problema en los últimos años.

**Figura 5.** Artículos de acuerdo con el país de publicación.



**Fuente:** Elaborado por autor.

En la figura 5, se presentan los países con mayor número de publicación en cuanto al estudio de la dinámica de sistemas. El número de publicaciones ha aumentado anualmente, debido a países como United Kingdom que posee un mayor número de artículos publicados hasta la actualidad, seguido de China, Australia y Alemania. Los puntos críticos de estas investigaciones se centraron en simulación, pronósticos, evaluación, aplicación y análisis, referencias que forman parte de las posibles direcciones para investigaciones futuras.

## 5. Análisis de redes e identificación de los clústeres

En base al análisis de redes fue posible visualizar la relevancia de los artículos sobre la implementación de dinámica de sistemas, facilitando la identificación de los clústers detallados a continuación:

**Tabla 3.** *Identificación de clústers.*

N°	Color	Palabras	Ocurrencia	Fuerza Total de enlace
1	Celeste	Cadena productiva	22	364
2	Verde	Desarrollo sostenible	6	103
3	Rojo	Logística	4	54
4	Amarillo	Práctica agrícola	7	58
5	Azul	Gestión de inventarios	3	45

**Fuente:** *Elaborado por autor.*

Como resultado de la identificación de clústers, se puede observar las cinco principales temáticas relacionadas con el tema de dinámica de sistemas, identificados por los colores celeste, verde, rojo, amarillo y azul: cadena productiva, desarrollo sostenible logística, práctica agrícola y gestión de inventarios.

De los 116 artículos preseleccionados se eligieron por afinidad 25, los cuales permitirán establecer mediante preguntas específicas, el desarrollo del modelo de dinámica de sistemas a emplear, además de las herramientas, softwares y técnicas utilizadas para el estudio de investigación.

**Tabla 4.** Artículos más relevantes sobre modelados de dinámica de sistemas.

AUTORES	TITULO	HERRAMIENTAS Y SOFTWARES	PROCESO METODOLÓGICO	TÉCNICAS	POBLACIÓN DE ESTUDIO
1 Suryani, Dewi, et al., (2019)	Un modelo para mejorar la productividad y producción de maíz.	- Modelo Dinámica Sistemas.	de de - Formulación del problema - Hipótesis dinámica - Desarrollo del modelo de simulación - Validación del modelo de escenarios.	- Entrevistas. - Observación directa.	- Productores de maíz.
2 Suryani, Hendrawan, et al., (2019)	Modelo de simulación y escenario para aumentar la rentabilidad de los productores de maíz.	- Modelo Dinámica Sistemas.	de de - Desarrollo de diagrama bucle causal. - Diagrama de stock y flujos. - Validación del modelo de escenarios.	- Análisis documental.	- Productores de maíz.
3 Martínez-Soto et al., (2019)	Modelo de ecuaciones estructurales aplicado a la gestión del conocimiento en la cadena de producción agroindustrial del maíz (zea mays l.).	- Modelización de ecuaciones estructurales. - Software Estadístico SPSS-24.	de de - Determinación de población y muestras. - Recolección y análisis de datos. - Selección de indicadores determinantes. - Análisis Factorial. - Modelo de ecuaciones estructurales.	- Encuestas: alfa de Cronbach, test de Kaiser Meyer Olkin (KMO), prueba de esfericidad de Barlett, varianza total, validez de contenido.	- Productores de maíz. - Transformadores. - Comercializadores. - Proveedores de insumos y servicios.

4	Ibragimov et al., (2019)	Productividad para el crecimiento sostenible en la producción malaya de palma aceitera: Un modelo de dinámica de sistemas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de dinámica de sistemas DS bajo una perspectiva sistémica.</li> <li>- Software Vensim.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo genérico.</li> <li>- Modelo de stock y flujo.</li> <li>- Validación del modelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación directa.</li> <li>- Análisis documental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Productores</li> <li>- Transformadores</li> <li>- Comercializadores</li> </ul>
5	Melkonyan et al., (2020)	Evaluación de la sostenibilidad de las estrategias logísticas y de distribución de última milla: El caso de las redes alimentarias locales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de dinámica de sistemas y decisión multicriterio MCDA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis Cualitativo</li> <li>- Análisis Cuantitativo.</li> <li>- Modelado de dinámica de sistemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrevistas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Productores.</li> <li>- Consumidores.</li> </ul>
6	Cayeros Altamirano et al., (2020)	Cadenas de producción y cadenas de valor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión Bibliográfica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orígenes y conceptualizaciones de las cadenas productivas.</li> <li>- Revisión conceptual de la cadena de valor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis documental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No especifica.</li> </ul>
7	Sembiring & Sipayung Polinezzer, (2020)	Optimización de la cadena de suministro de Durian con simulación dinámica del sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de dinámica de sistemas.</li> <li>- Software Anylogic.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bucle causal.</li> <li>- Modelo de la formulación del sistema dinámico.</li> <li>- Validación y verificación del modelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis documental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No especifica.</li> </ul>
8	Ferro-Valdés et al., (2020)	Análisis de la cadena de producción de maíz en el Valle San Andrés, La Palma.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matriz DAFO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Región de estudio.</li> <li>- Recolección de información.</li> <li>- Análisis de datos</li> <li>- Análisis causal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrevistas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asociaciones.</li> <li>- Productores.</li> <li>- Consumidores.</li> </ul>

				- Análisis de la matriz DAFO.		- Representantes del mercado.
9	Cadenas Anaya & Guaita, (2021)	Dinámica de Sistemas: Una metodología para la construcción de modelos de toma de decisiones en sectores agroindustriales.	- Revisión bibliográfica sobre el Modelo de dinámica de sistemas.	- No especifica.	- Análisis documental.	- Sectores agroindustriales.
10	Castro-Mercado et al., (2021)	Análisis Productivo de la Cadena Apícola en Vichada, Colombia. Un Enfoque de Dinámica de Sistemas.	- Modelo de dinámica de sistemas. - Software Vensim Ple (Personal Learning Edition).	- Formulación del problema - Hipótesis dinámica - Desarrollo del modelo de simulación - Validación del modelo - Desarrollo de escenarios.	- Encuestas - Análisis documental.	- Productores.
11	Reyes et al., (2021)	Sostenibilidad de las cadenas de producción: aclaraciones teóricas.	- Revisión bibliográfica	- Análisis de los elementos de las cadenas productivas.	- Análisis documental.	- No especifica.
12	Shuangyan-Xu et al., (2021)	Investigación de la dinámica de sistemas de la psicología de evacuación no adaptativa en emergencias por fugas de gases tóxicos en parques químicos.	- Modelo de dinámica de Sistema. - Software Anylogic.	- Modelo de dinámica de sistemas. - Ecuación de dinámica de sistemas y configuración de parámetros. - Modelo de validación. - Resultados de la simulación y discusión.	- No especifica.	- Personal parque químico.

13	Widiaswanti & Yunitarini, (2021)	Modelo conceptual del desarrollo de la agroindustria del aceite esencial mediante el enfoque de la dinámica de sistemas.	- Modelo dinámica de sistemas.	- Identificación del problema. - Cadena de suministro. - Modelo Conceptual.	- Encuestas. - Entrevistas.	- Productores-Agricultores. - Recolectores.
14	Zulkarnain et al., (2021)	Modelo alternativo de agricultor para aumentar la producción de chile rojo en Bener Meriah, Aceh.	- Modelo dinámica de sistemas.	- Modelo de dinámica de sistemas. - Diagrama Causal. - Implementación de escenarios.	- Encuestas	- Productores. - Cooperativas de agricultores. - Comerciantes.
15	Thanwadee, (2022)	Estudio de factibilidad transporte de multimodal de productos de yuca en Tailandia: modelado de dinámica de sistema.	- Modelo dinámica de sistemas (DS). - Software Ithink.	- Revisión de literatura - Recopilación de datos. - Desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas. - Simulación de modelo. - Análisis de resultados.	- Encuestas	- Representantes de empresas de producción. - Representantes de logística.
16	Roorkhosh et al., (2022)	Predicción de la tasa de aceptación de Blockchain en la cadena de suministro resiliente con dinámica de sistemas híbrida y enfoque de aprendizaje automático.	- Modelo de sistemas híbridos. - Software Stella Achitec. - Software Vensim PLEx32.	- Identificación de las variables. - Diseño del modelo de flujo y existencia. - Ejecución del modelo. - Evaluación del modelo. - Resultados del modelo. - Correlación BAR e identificación de alta correlación.	- Entrevistas	- Expertos de empresas electrodoméstico.

				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción del modelo de simulación y datos reales.</li> <li>- Ejecución de la red MLP</li> <li>- Ejecución SVR.</li> <li>- Evaluación del modelo.</li> </ul>		
17	Liu et al., (2023)	Modelo de dinámica de sistemas: desarrollo de un modelo de selección de proveedores centrado en criterios de RSE.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de dinámica de sistemas (DS).</li> <li>- Software Vensim.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horizonte temporal de modelización.</li> <li>- Formulación de hipótesis dinámicas.</li> <li>- Estructura del modelo.</li> <li>- Validación del modelo.</li> <li>- Desarrollo de escenarios.</li> </ul>	- Encuestas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expertos en prácticas de responsabilidad social corporativa (RSC).</li> </ul>
18	Esteso et al., (2023)	Modelo de dinámica de sistemas para mejorar la robustez de una cadena de suministro de productos agroalimentarios frescos frente a perturbaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de dinámica de sistemas.</li> <li>- Software Vensim.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama causal.</li> <li>- Diagrama de flujo.</li> <li>- Definición de las ecuaciones.</li> <li>- Validación del modelo.</li> <li>- Definición de indicadores de robustez.</li> <li>- Identificación de escenarios.</li> <li>- Análisis de escenarios.</li> <li>- Evaluación de la solidez.</li> <li>- Definición, evaluación y selección de medidas.</li> </ul>	- Encuestas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Productores.</li> </ul>

19	Maghsoudi & Nezafati, (2023)	Navegando por la aceptación de la implantación de la inteligencia empresarial en las organizaciones: Un enfoque de dinámica de sistemas.	- Modelo de dinámica de sistemas (DS).	- Identificación de factores. - Diagrama bucle causal. - Diagrama de flujo de existencias. - Validación del modelo. - Consulta de escenarios.	- Encuestas.	- Expertos en inteligencia empresarial BI.
20	Gorripati et al., (2023)	Fomento de una agricultura sostenible y resistente al clima mediante dinámicas de sistemas participativos con dinámicas cultivo-agua-ingresos.	- Modelo de dinámica de sistemas. - Software Vensim.	- Definición del problema. - Análisis del problema. - Formulación del modelo. - Recopilación de datos. - Simulación-validación del modelado. - Simulación-predicción.	- Encuestas. - Entrevistas.	- Agricultores.
21	Jin et al., (2023)	Impacto de los cambios de ingeniería en el movimiento de valores en el flujo de fondos: enfoque de modelización de monte Carlo y dinámica de sistemas.	- Modelo de dinámica de sistemas. - Simulación Monte Carlo. - Software Vensim Ple 10.0.0.	- Revisión bibliográfica. - Enfoque propuesto. - Análisis de simulación.	- Análisis documental.	- No específica.
22	Anaconda Mopan et al., (2023)	Análisis de la Cadena de Suministro de Productos Frescos en Cauca, Colombia - Un Enfoque Dinámico del Sistema de Aguacate Hass.	- Dinámica de sistemas complejos. - Software Vensim Ple.	- Caracterización de la cadena productiva. - Diagrama Causal. - Diagrama de forrester. - Simulación de escenarios.	- Observación - Entrevistas	- Asociación de productores.

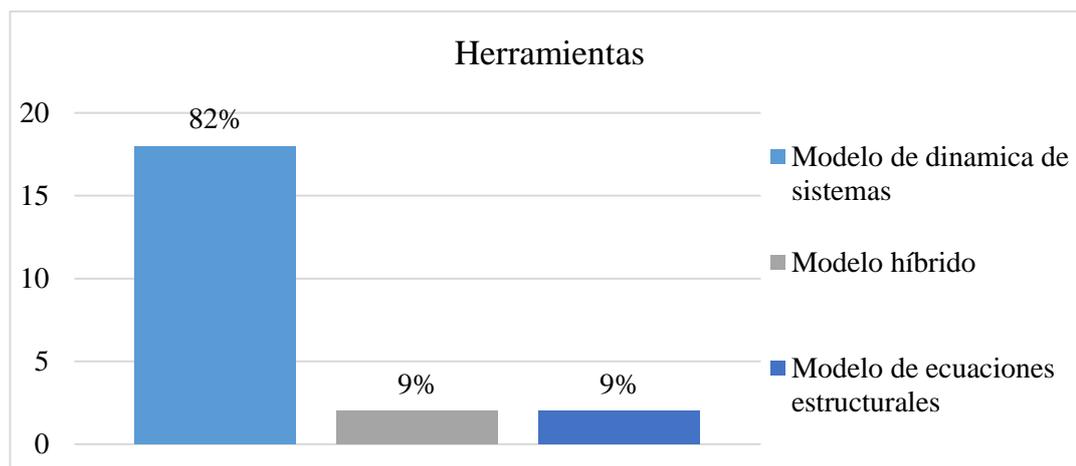
23	Anggoro et al., (2023)	Modelización dinámica de sistemas para el cálculo de la huella de carbono en un sistema de producción no homogéneo: Un caso en un estudio de cerámica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de dinámica de sistemas basado en ecuaciones diferenciales.</li> <li>- Software Vensim Ple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelado de identificación de factores</li> <li>- Prueba del modelo, resultados y análisis.</li> </ul>	- No especifica.	- Productores de cerámicas.
24	Konefal et al., (2023)	Signos de sostenibilidad agrícola: Una evaluación global de las iniciativas de gobernanza de la sostenibilidad y sus indicadores en la agricultura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión sistemática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de base de datos.</li> <li>- Recopilación y análisis de datos.</li> </ul>	- Análisis documental.	- No especifica.
25	Mingxue et al., (2023)	Un modelo de dinámica de sistemas para evaluar el impacto de las políticas sobre la oferta y la demanda de áridos reciclados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de dinámica de sistemas.</li> <li>- Software Vensim Ple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación de las variables críticas.</li> <li>- Diagrama bucle causal.</li> <li>- Construcción de ecuaciones.</li> <li>- Validación del modelo.</li> <li>- Simulación del modelo.</li> </ul>	- Análisis documental (documentos del gobierno municipal y anuario estadístico).	- Expertos y gestores de centro de reciclaje.

*Fuente: Elaborado por autor.*

De acuerdo con los artículos seleccionados fue posible responder a las siguientes preguntas:

**1. ¿Qué herramientas han utilizado para desarrollar del estudio de investigación propuesto?**

*Figura 6. Herramientas utilizadas*

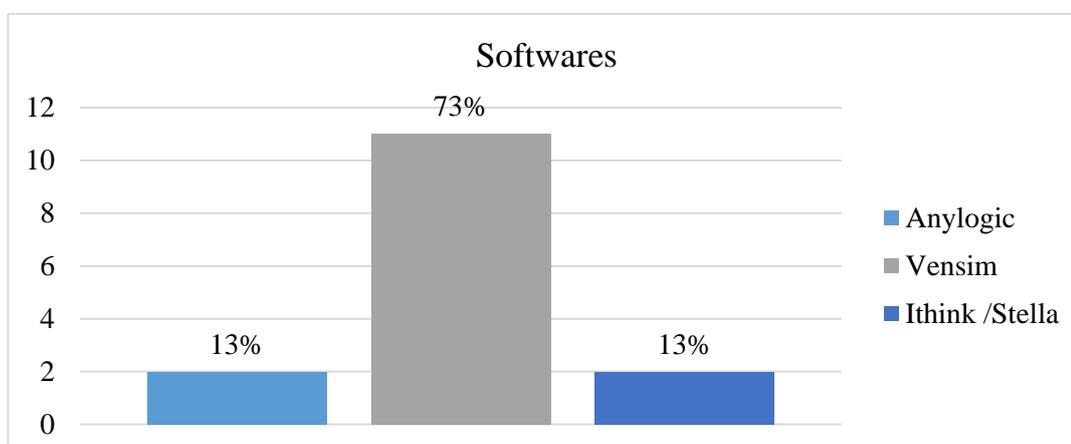


*Fuente: Elaborado por autor.*

En la figura 6, se establece que durante el periodo del 2019 al 2023, el 82% de los investigadores se han enfocado en el desarrollo de dinámicas de sistemas como modelos de sistemas complejos, seguido con un 9% por el modelo híbrido y el modelo de ecuaciones estructurales.

**1. ¿Qué software han utilizado para el modelado de dinámica de sistemas?**

*Figura 7. Softwares para el modelo de dinámica de sistemas*



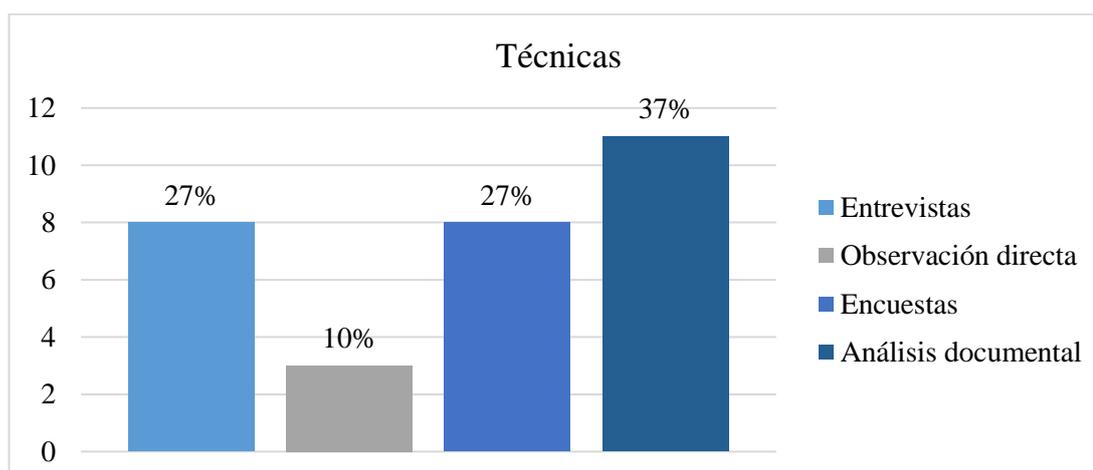
*Fuente: Elaborado por autor.*

La figura 7, hace relevancia a los softwares más utilizados para un modelo de dinámica de sistemas que son: vensim, anylogic y ithink/stella, en los artículos seleccionados el 73 % de los investigadores utilizaron el software vensim.

Sin embargo para el presente estudio se utilizará el software Anylogic diseñado en Rusia por The Anylogic Company, que a diferencia de los otros programas, cuenta con una interfaz de usuarios cómoda y adaptable, considerado como una herramienta que aprovecha las últimas innovaciones tecnológicas para desarrollar modelos que se asemejan lo más posible al mundo real y con su interfaz gráfica moderna posibilita el uso del lenguaje de programación Java en el desarrollo de modelos (Afanasyev et al., 2023).

## 2. ¿Qué técnicas han empleados para el estudio de la investigación?

*Figura 8. Técnicas para el estudio de investigación*

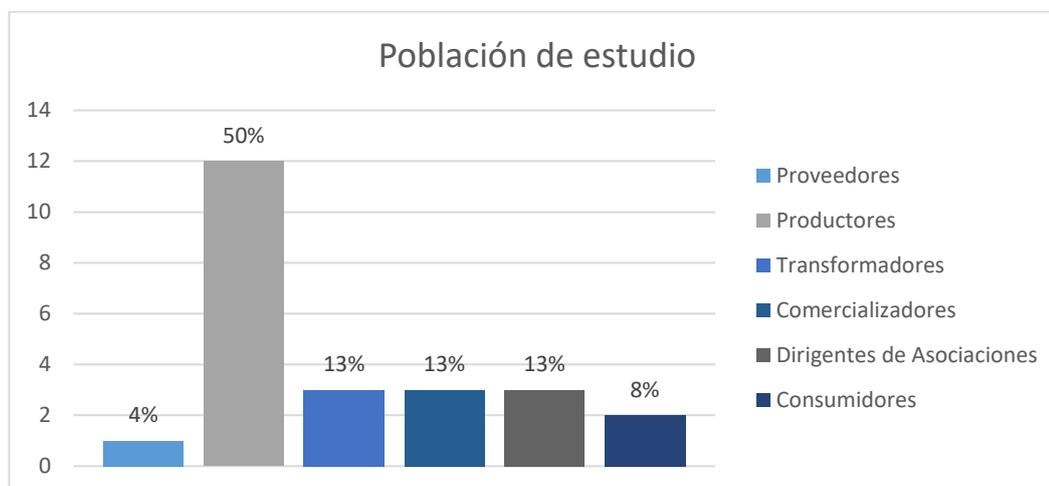


*Fuente: Elaborado por autor.*

Con respecto a la figura 8, los artículos hacen referencia al uso de fuentes de investigación primaria y secundaria que han utilizado para obtener la información necesaria para el estudio. El análisis documental con un 37% es la técnica que más se ha utilizado, seguido de las encuestas y entrevistas con un 27% y la observación directa con un 10%.

### 3. ¿Cuál fue su población considerada como parte del estudio?

*Figura 9. Población de estudio*



*Fuente: Elaborado por autor.*

En la figura 9, se establece que la mayoría de investigadores consideraron como parte de su población de estudio a los productores con un 50%, mientras que los transformadores, comercializadores y dirigentes de asociaciones conforman el 13% y, por último, los proveedores con un 4%.

### 4. ¿Qué procedimiento metodológico utilizaron para desarrollar el estudio de investigación?

La mayoría de los autores coincidieron con Mingxue et al., (2023) que propone desarrollar un modelo de dinámica de sistemas, teniendo en cuenta lo siguiente:

1. Identificación de variables esenciales para resolver los problemas y establecer los límites del sistema.
2. Análisis de la estructura del sistema, funcionamiento y conexiones causales entre las variables, mediante un diagrama de bucle causal.
3. Transformación de las interrelaciones de las variables principales en un diagrama cuantitativo de existencias y flujos.
4. Desarrollo de ecuaciones.
5. Validación del modelo.
6. Ejecución de simulaciones basadas en el modelo.

Por lo tanto, el presente estudio de investigación se llevará a cabo mediante el procedimiento metodológico adaptado de Thanwadee, (2022) que se resumen en las siguientes fases:

1. Revisión de la literatura.
2. Recopilación de datos.
3. Desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas.
4. Resultados de la investigación.
5. Conclusiones y recomendaciones.

En este contexto, el modelo de dinámica de sistemas se elaborará siguiendo las fases mencionadas por (Sembiring & Sipayung, 2020) ; (Suryani, Dewi, et al., 2019) que hacen referencia al modelo iterativo propuesto por Sterman, (2000), que consiste en:

1. Articulación del problema (límites del modelo).
2. Hipótesis dinámica.
3. Formulación del modelo de simulación.
4. Validación del modelo.
5. Formulación de políticas y evaluación.

### **1.2.1. Revisión del Modelo de Dinámica de Sistemas**

La dinámica de sistemas se centra en la percepción de una organización como un todo y en la comprensión de interacciones de las partes relacionadas (Cadenas-Anaya & Guaita, 2021). Estas interacciones permiten comprender el comportamiento cambiante de un sistema, anticipando tendencias futuras y analizando distintos escenarios de forma general (Mingxue et al., 2023).

Su enfoque se fundamenta principalmente en la teoría de sistemas, que representa una perspectiva moderna dentro de las teorías de gestión y se diferencia de manera significativa de los métodos estadísticos por dos razones fundamentales: no busca restringir las variables y considera todas las relaciones incluyendo los bucles de retroalimentación (Roozkhosh et al., 2022).

La metodología de la dinámica de sistemas reside en el pensamiento sistémico, el cual es una manera de abordar problemas considerados como sistemas y que

visualiza cada problema como una interacción global entre los elementos de un objeto situados dentro de los límites de un entorno específico (Zulkarnain et al., 2021).

Un modelo de dinámica de sistemas puede utilizarse como una herramienta para potenciar el desempeño de una organización, que permite crear escenarios para evaluar diversas estrategias futuras. Al desarrollar teorías dinámicas se pueden analizar y explicar las variaciones del rendimiento de un sistema que permiten tomar mejores decisiones (Suryani, Dewi, et al., 2019).

La dinámica de sistemas (DS) puede ser modelado en términos de estado, flujo y variables auxiliares, basado principalmente en ecuaciones diferenciales, mediante un diagrama de flujo y existencia, con variables de nivel representadas mediante cuadros y variables de flujo en forma de grifo o válvula (Anggoro et al., 2023).

El análisis dinámico de sistemas examina todos los componentes que influyen en el comportamiento de un fenómeno con un límite definido, tomando en cuenta todas las conexiones incluyendo los bucles de retroalimentación. Para la visualización de las retroalimentaciones se usan los diagramas de bucles causales, sin embargo, no representan el estado variable y la estructura de flujo de un sistema en el modelado de simulación, siendo necesario utilizar diagramas de flujos y existencias (Roorkhosh et al., 2022).

Sembiring & Sipayung Polinezer, (2020) definen a los sistemas dinámicos como modelos que permiten analizar sistemas complejos. Estos modelos se utilizan para predecir tendencias de corto, medio y largo plazo por lo cual, para crear un modelo de sistemas dinámicos proponen definir el problema del sistema real, identificar las variables del sistema y representarlas en un diagrama de bucle causal para posteriormente modelarlo en un diagrama de stock y flujos con diferentes softwares como Vensim, Anylogic, entre otros.

Es decir que la ventaja de la dinámica del sistema radica en su capacidad para proporcionar información completa en la predicción de datos, mayor precisión al describir los comportamientos a corto y mediano plazo y la exploración más detallada en la creación de escenarios (Widiaswanti & Yunitarini, 2021).

Gorripati et al., (2023), menciona que la combinación de dinámica de sistemas y la programación pueden emplearse para modelar las interacciones existentes en un sistema, buscando soluciones que aborden cada una de las demandas competitivas.

La dinámica de sistemas ha sido aplicada de manera participativa y no participativa en la planificación y administración de recursos naturales, desarrollo sostenible y análisis de políticas. Como en el caso de Melkonyan et al., (2020) que utilizaron la simulación de dinámica de sistemas y una herramienta para la toma de decisiones con criterios múltiples (MCDA) para evaluar la sostenibilidad de las estrategias logísticas y de distribución de una cooperativa alimentaria local, con lo cual obtuvieron como resultado la recreación de la expansión de un modelo de negocio local de alimentos ajustando tanto la oferta como la demanda, demostrando así la viabilidad de incorporar servicios logísticos adicionales en el modelo de negocio existente.

Suryani, Hendrawan, et al., (2019) propusieron un modelo de simulación y escenario para incrementar los ingresos de los agricultores de maíz mediante un enfoque científico de la dinámica de sistemas con técnicas cualitativas y cuantitativas y simulación por ordenador para comprender y hallar soluciones a los sistemas agrícolas. Emplearon una metodología que abarcó el modelo de dinámica de sistemas elaborando un diagrama de bucle causal y un diagrama de stock y flujos, la validación del modelo, el desarrollo de escenarios y conclusiones.

A partir de la información obtenida de los artículos seleccionados, un modelo de dinámica de sistemas conlleva a desarrollar lo siguiente:

### **Diagrama de Bucle Causal**

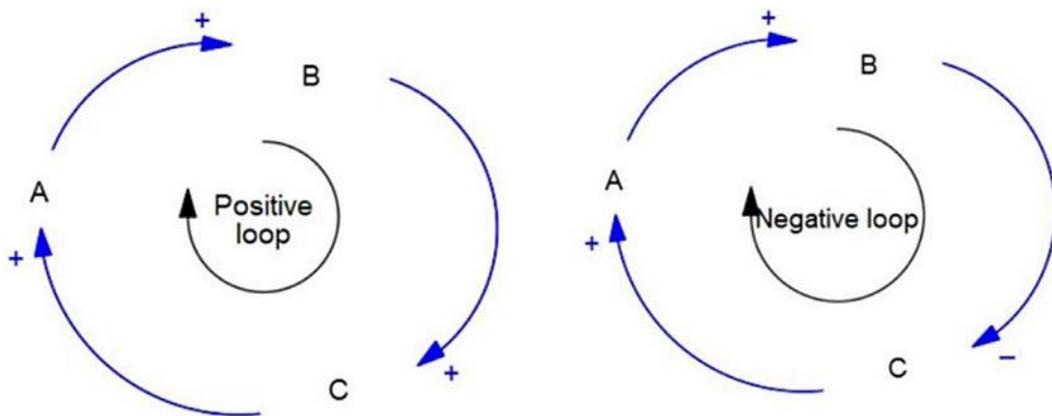
El diagrama de bucle causal describe los vínculos causales que respaldan la hipótesis dinámica y su comportamiento en el sistema y consta de elementos esenciales como las variables y las direcciones de las relaciones causales (Suryani, Dewi, et al., 2019).

Los diagramas de bucles causales (CDL) son una herramienta para ilustrar la estructura de retroalimentación en los sistemas y han sido empleados durante mucho tiempo en el ámbito académico, pero actualmente son aplicados con mayor frecuencia en el sector empresarial. Son considerados altamente efectivos para plantear

suposiciones sobre las causas dinámicas, comprender modelos mentales de individuos o equipos y comunicar las retroalimentaciones relacionadas a un problema específico (Castro-Mercado et al., 2021).

Mediante los diagramas de bucles causales es posible identificar las correlaciones positivas y negativas entre variables y bucles de retroalimentación dentro del límite de un sistema (Mingxue et al., 2023). Estos bucles de retroalimentación pueden ser positivos o negativos. En los bucles de retroalimentación positiva si un factor cambia en una dirección, el círculo refuerza esos cambios. Por otro lado, en los bucles de retroalimentación negativa, si un factor se modifica en una dirección, el ciclo se opone a esos cambios en esa dirección (Maghsoudi & Nezafati, 2023).

**Figura 10.** Bucles de retroalimentación positivo y negativo.



**Fuente:** (Maghsoudi & Nezafati, 2023).

### **Bucle de retroalimentación positiva**

En un bucle de retroalimentación positiva, las variables básicas aumentan o disminuyen de manera exponencial, indicando que, si la causa incrementa, el efecto también aumentará, por el contrario, si la causa disminuye el efecto disminuirá por debajo de su nivel original (Castro-Mercado et al., 2021).

### **Bucle de retroalimentación negativa**

Un bucle de retroalimentación negativa implica buscar la estabilidad, si la causa aumenta, el efecto disminuye, y si la causa disminuye el efecto incrementará por encima de su nivel original (Castro-Mercado et al., 2021).

### **Retrasos (Demora)**

Los retrasos tienen gran influencia en el comportamiento de un sistema, por lo tanto, si un elemento influye sobre otro, tal influencia tardará cierto tiempo en manifestarse, por lo tanto, estará representado por dos trazos sobre la respectiva flecha (Castro-Mercado et al., 2021).

Un diagrama de bucle causal, además, de basarse en el análisis de los mecanismos de retroalimentación, también representan las hipótesis de la investigación limitando la complejidad del modelo (Melkonyan et al., 2020).

Una hipótesis dinámica es una teoría que describe la estructura que producen los patrones de referencias y puede expresarse de forma verbal mediante un diagrama de bucle causa-efecto o un diagrama de existencias y flujos, por ende, influyen en la determinación de qué elementos se mantendrán en los modelos y cuales se excluirán (Liu et al., (2023).

### **Diagrama de Flujos de existencias o Diagrama de Forrester**

Un diagrama de flujos de existencias proporciona una representación cuantificable de un sistema, en el que cada variable es definida y expresada mediante las unidades adecuadas (Suryani, Dewi, et al., 2019).

Se representa mediante ecuaciones y códigos informáticos que permiten llevar a cabo análisis cuantitativos. En este tipo de diagramas, los elementos claves son identificados como variables y sus influencias se presentan mediante ecuaciones basadas en estudios pasados (Mingxue et al., 2023).

Los diagramas de flujo son conocidos también como diagrama de Forrester y sirven para ilustrar las existencias y los flujos de un sistema, describen el estado actual del sistema y proporcionan datos fundamentales para la toma de decisiones. Las existencias o stocks otorgan estabilidad y retienen información en los sistemas, debido a que introducen retardos al acumular la diferencia entre la entrada y salida de un proceso y al separar los flujos, las existencias son las responsables de generar dinámicas de desequilibrio en los sistemas (Castro-Mercado et al., 2021).

Los stocks son variables que describen la condición actual del sistema y se controlan mediante válvulas. Los flujos de entradas y salidas se ilustran a partir de flechas que señalan la dirección del flujo de información y las interacciones del sistema

se expresan mediante ecuaciones integrales que se resuelven para simular el comportamiento del sistema (Ibragimov et al., 2019).

Cadenas-Anaya & Guaita, (2021), mencionan que para elaborar el diagrama de Forrester se deben conocer los símbolos mencionados en la tabla 5. Estos símbolos permiten definir que los cambios en un estado se originaran de acuerdo con las decisiones tomadas en información provenientes de otros estados.

**Tabla 5.** Símbolos del Diagrama de Forrester

Símbolos	Concepto
	<b>Nube:</b> representa una fuente o un pozo; puede interpretarse como un estado que no tiene interés y es prácticamente inagotable.
	<b>Estado:</b> representa una acumulación de un flujo.
	<b>Flujo:</b> variación de un estado; representa un cambio en el estado del sistema.
	<b>Canal de material:</b> canal de transmisión de una magnitud física que se conserva.
	<b>Canal de información:</b> canal de transmisión de una cierta información, que no es necesario que se conserve.
	<b>Variable auxiliar:</b> una cantidad con un cierto significado físico en el mundo real y con un tiempo de respuesta instantáneo.
	<b>Constante:</b> un elemento del modelo que no cambia de valor.
	<b>Retraso:</b> un elemento que simula retrasos en la transmisión de información material.
	<b>Variable exógena:</b> variable cuya evolución es independiente de las del resto del sistema. Representa una acción del medio sobre el sistema.

**Fuente:** Elaborado por autor basado en (Cadenas-Anaya & Guaita, 2021).

## Validación del modelo

La validación del modelo constituye un paso esencial e imprescindible para verificar su exactitud y se lleva a cabo mediante la realización de dos tipos de pruebas de validez conocidas como:

- **Pruebas de validez estructural:** busca confirmar si la estructura modelada representa adecuadamente la estructura real (Suryani, Dewi, et al., 2019)..
- **Prueba de validez del comportamiento:** verifica si el modelo genera un comportamiento de salida aceptable (Suryani, Dewi, et al., 2019).

En este contexto, Suryani, Hendrawan, et al., (2019) considera que un modelo es válido si la tasa de error es  $\leq 5\%$  y la varianza del error es  $\leq 30\%$ . Mientras que, Shuangyan-Xu et al., (2021) propone que para la validación de un modelo de dinámica de sistemas se puede emplear el software Anylogic ya que permite verificar la coherencia de las dimensiones de las variables de la ecuación, comprobar la causalidad del modelo y las relaciones matemáticas, proporcionando una ventana de visualización con información detallada en caso de detectar algún problema.

## Desarrollo de escenarios

En dinámica de sistemas, una simulación se describe como los experimentos elaborados en un modelo en lugar de un sistema real, mediante escenarios que posibilitan la observación de los impactos que tendría la implementación de nuevas estrategias o estructura organizativa del sistema real (Anacona-Mopan et al., 2023).

Los escenarios son una técnica que permiten anticipar posibles resultados futuros al modificar la estructura y los parámetros de un modelo. El proceso de desarrollo de escenarios implica tres dimensiones clave: la recopilación de información, la difusión de conocimientos y la toma de decisiones estratégicas. A partir de un modelo válido, es posible generar diversos escenarios alternativos al realizar cambios en la estructura o en los parámetros del modelo (Suryani, Hendrawan, et al., 2019).

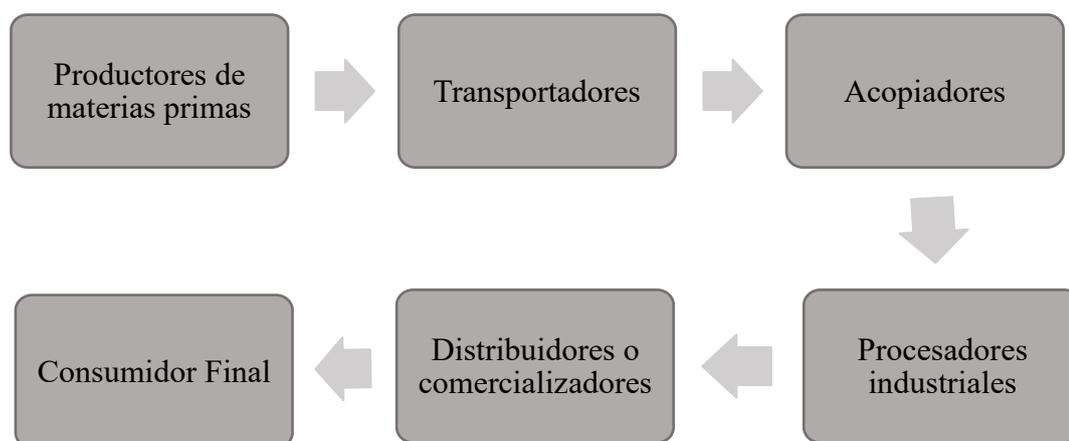
### 1.2.2. Revisión de la Cadena Productiva

Una cadena productiva representa la estructura organizativa de los actores vinculados en las actividades económicas, desde la producción primaria hasta los consumidores finales de un producto, ya sea de un bien o un servicio (Ferro-Valdés et al., 2020). Es considerada también como un conjunto de participantes y actividades económicas involucradas en un proceso productivo, que va desde la adquisición de bienes intermedios y finales hasta su comercialización en mercados nacionales y extranjeros, incluyendo a proveedores de servicios, sector público e incluso instituciones de asistencia técnica y financiera (Cayeros-Altamirano et al., 2020).

Las cadenas productivas están compuestas por segmentos conocidos como eslabones definidos como un conjunto de agrupaciones de actores, estos eslabones incluyen la producción de materia prima, transporte, almacenamiento, transformación industrial, comercialización y consumo final (Cayeros-Altamirano et al., 2020).

En la figura 11, se presentan los eslabones comunes de una cadena productiva, los cuales pueden actuar de manera directa e indirecta dentro de la cadena. En cada eslabón se presentan participantes o actores que ofrecen y demandan productos con diversas características como calidad, cantidad, y oportunidad. Estos actores pueden ser directos; propietarios de un bien, o indirectos; proveedores de insumos y servicios (Cayeros-Altamirano et al., 2020).

**Figura 11.** *Eslabones de una cadena productiva.*



**Fuente:** *Elaborado por autor basado en (Cayeros-Altamirano et al., 2020).*

En la figura 12, Cayeros-Altamirano et al., (2020), mencionan los actores más importantes involucrados en los eslabones de una cadena productiva e indican que pueden presentarse en tres procesos específicos como:

- a) **Producción:** productores vinculados con la provisión de insumos, labores de cosecha, y obtención de materias primas.
- b) **Transformación:** los productores llevan a cabo actividades de postcosecha, limpieza, clasificación, y empaque. Dependiendo del producto final, se incorpora el valor agregado.
- c) **Comercialización:** intermediarios que se encargan de trasladar el producto hasta llegar al mercado final.

*Figura 12. La cadena productiva y sus actores principales.*



*Fuente:* (Cayeros-Altamirano et al., 2020).

Bajo este contexto, el fortalecimiento de las cadenas de producción se ha consolidado como una estrategia esencial para el proceso productivo, siendo respaldado por los gobiernos de América Latina, que reconocen la capacidad de promover la colaboración a través de estrategias destinadas a mejorar la competitividad de las empresas o sectores (Reyes et al., 2021).

Martínez-Soto et al., (2019) hace énfasis en que la cadena productiva específicamente de la agroindustria ha experimentado notables progresos, que abarcan aspectos relacionados con la producción, industrialización, comercialización y consumo debido a la adopción de nuevas tecnología.

En el estudio desarrollado por Cayeros-Altamirano et al., (2020), mediante un análisis teórico para conocer el origen y la conceptualización de las cadenas productivas y las cadenas de valor para identificar los actores involucrados directamente en los diferentes eslabones, señalaron que muchas veces las cadenas productivas carecen de claridad en su visión de mercado, pero comparten una visión unificada sobre el desarrollo de la cadena, destacándose por su capacidad de producción en respuesta a la demanda del mercado, innovación, calidad del producto, aprovechamiento de oportunidades y eficiencia de costos.

### **1.3.Recapitulación del Capítulo I**

En el capítulo I se desarrolló el análisis respectivo de las dos variables de estudio “dinámica de sistemas” y “cadena productiva”, aplicando el método bibliométrico para la selección de información relevante, mediante la base de datos Scopus y el software VOSviewer, que posteriormente permitió determinar los artículos para el desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas (DS) aplicado en el sector agrícola.

A partir de la información recolectada, fue evidente la variedad de estudios sobre la dinámica de sistemas desarrollados en el transcurso del período de 2019 al 2023, convirtiéndose actualmente en un tema de investigación de suma importancia por parte de organizaciones internacionales.

A pesar de la predominancia de estudios centrados en modelos de dinámica de sistemas (DS) dirigidos a la cadena de suministro agrícola y la escasez de investigaciones relacionadas con la aplicación de este método en la cadena productiva, se implementará la misma metodología para desarrollar un modelo de dinámica de sistemas que permita la optimización de la cadena productiva del maíz, mediante el procedimiento metodológico adaptado de (Thanwadee, 2022) siguiendo el modelo iterativo para el desarrollo del modelo de dinámica de sistemas citado por (Sembiring & Sipayung, 2020) ; (Suryani, Dewi, et al., 2019), propuesto por (Sterman, 2000) y utilizando el software Anylogic con el fin de validar su capacidad para optimizar la cadena productiva.

# CAPÍTULO II

## MARCO METODOLÓGICO

### **2.1. Enfoque de investigación**

Un marco metodológico es un conjunto de principios que proporcionan una estructura para llevar a cabo tareas específicas, basadas en técnicas, métodos y reglas utilizadas para delimitar procedimientos (Launiainen et al., 2022).

La metodología de investigación se basó en el desarrollo del estado de arte, capítulo I, a partir de la recolección de artículos relevantes que permitieron conocer la posibilidad de aplicar la dinámica de sistemas para la optimización de la cadena productiva del maíz.

Para el desarrollo de esta metodología, se empleó un enfoque cuantitativo considerado como un método de estudio centrado en la explicación de fenómenos mediante la recolección de datos de análisis numéricos, evaluados eficientemente a partir de herramientas estadísticas y computacionales (Xueting-Xiong, 2022).

El estudio de la investigación tuvo un alcance descriptivo y correlacional; descriptivo porque especifica las características importantes de la población analizada y correlacional porque examina la relación existente entre las variables dependiente e independiente del estudio (Ramos-Galarza, 2020).

Posteriormente, fue necesario implementar la técnica de encuestas para la recopilación de datos. A partir de la identificación de la población de interés, se decidió realizar el estudio utilizando un enfoque de muestreo probabilístico.

### **2.2. Diseño de investigación**

El diseño de investigación es el plan o estrategia diseñado para adquirir los datos necesarios en una investigación que tiene como objetivo principal abordar de manera efectiva la problemática planteada, permitiendo así la obtención de la información requerida (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

El presente trabajo se clasificó como un estudio no experimental, dado que las observaciones se realizaron en su contexto natural sin intervención deliberada para manipular las variables, en otras palabras, las variables independientes se desarrollaron

de manera espontánea en su entorno natural y no fueron controladas ni influenciadas de manera directa (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Se enmarca como una investigación no experimental cuantitativa, con diseño transeccional o transversal, donde las variables fueron medidas en un específico punto temporal con el propósito de analizar su comportamiento.

Se considera a este estudio con diseño transversal descriptivo y correlacional, porque el enfoque descriptivo se centra en examinar el surgimiento de diferentes patrones, categorías o niveles de una o más variables dentro de una población determinada y el enfoque correlacional implica describir la relación entre dos o más variables en un momento específico, estas relaciones pueden ser de naturaleza correlativas o sugerir relaciones causales entre las variables estudiadas (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

La hipótesis del estudio es la siguiente: El modelo de dinámica de sistemas resulta aplicativo para la optimización de la cadena productiva del maíz en el Cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena. Por lo tanto, las variables se categorizan de acuerdo con el tipo de investigación:

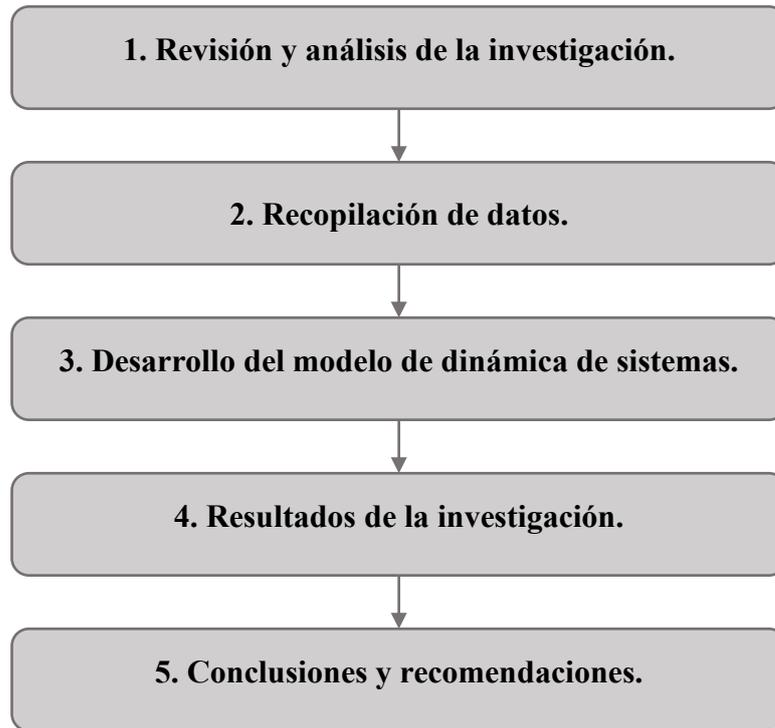
**Investigación descriptiva:** Se analizaron las variables: independiente (dinámica de sistemas) y dependiente (cadena productiva), centrándose en los aspectos específicos de los procesos que están dentro del ámbito de investigación.

**Investigación correlacional:** Se relacionaron las dos variables investigadas con el propósito de verificar la viabilidad de implementar un modelo de dinámica de sistemas en la cadena productiva del maíz.

### **2.3. Procedimiento metodológico**

Un procedimiento metodológico de investigación sirve como un manual detallado, organizado y secuencial que define las etapas o actividades esenciales para llevar a cabo una investigación de manera sistemática y precisa (Gómez-Luna et al., 2014). Por lo cual, para el procedimiento metodológico de este estudio se tomó como referencia a Thanwadee, (2022), resumido en pasos correlativos, tal y como se ilustra en la figura 13.

*Figura 13. Etapas del procedimiento metodológico de la investigación.*



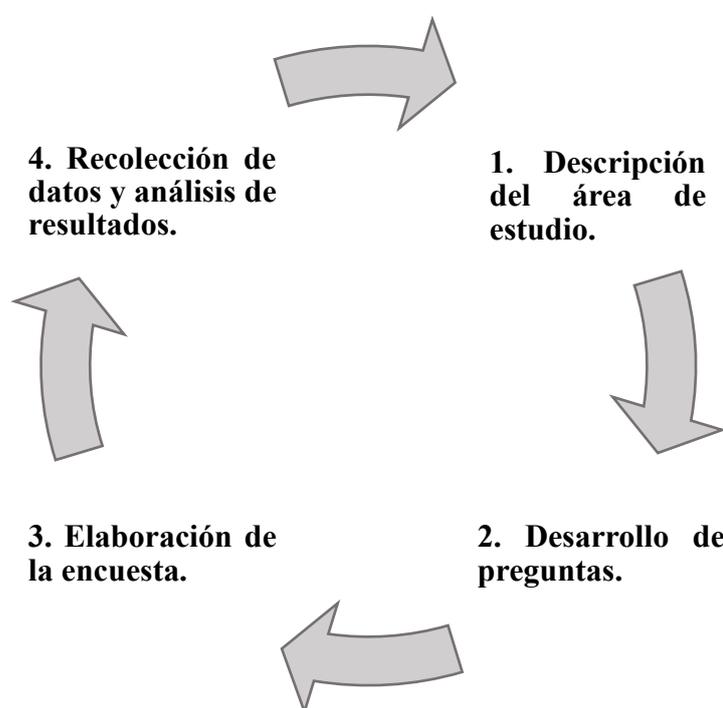
*Fuente: Elaborado por autor adaptado de (Thanwadee, 2022).*

- 1. Revisión y análisis de la investigación:** en esta fase se llevó a cabo la selección e interpretación de los artículos científicos relacionados con la dinámica de sistemas a partir de la base de datos de Scopus, con el objetivo de comprender como incide un modelo de dinámica de sistemas en la cadena productiva del maíz.
- 2. Recopilación de datos:** se formuló, diseñó e interpretó las encuestas como técnicas utilizadas en la recolección de datos que contenían las preguntas necesarias para desarrollar el modelo y que fueron validadas por expertos mediante el método Ábaco de Régnier.
- 3. Desarrollo del modelo de dinámica de sistemas:** se diseñó el modelo de dinámica de sistemas mediante el software Anylogic y desarrollado como propuesta de mejora, teniendo en cuenta información de tres subsistemas o eslabones principales de la cadena productiva del maíz: proveedores de insumos, productores y/o cultivadores, y comercializadores mayoristas y/o minoristas.
- 4. Resultados de la investigación:** se mencionó los hallazgos obtenidos mediante el análisis de los datos recopilados, esta información responde a las hipótesis planteadas.

**5. Conclusiones y recomendaciones:** análisis de los puntos más significativos y relevantes de los resultados de la investigación, se reconoció las limitaciones y destacó las contribuciones del estudio aplicado al campo de investigación, además de mencionar mejoras metodológicas para investigaciones futuras.

Para la recopilación de datos se desarrollaron encuestas como técnica de estudio, por lo cual, fue necesario emplear un plan de evaluación detallado en la figura 14.

*Figura 14. Plan de evaluación*



*Fuente: Elaborado por autor.*

**Fase 1:** En esta fase inicial se especificó el sector al que se dirigieron los cuestionarios de recopilación de datos. Este estudio fue destinado para abarcar la información de los productores de maíz de las parroquias del Cantón de Santa Elena.

**Fase 2:** Como segunda fase se formularon interrogantes con respuestas cerradas con el propósito de adquirir datos numéricos que pudieran ser analizados estadísticamente para identificar las relaciones existentes entre las variables de estudio.

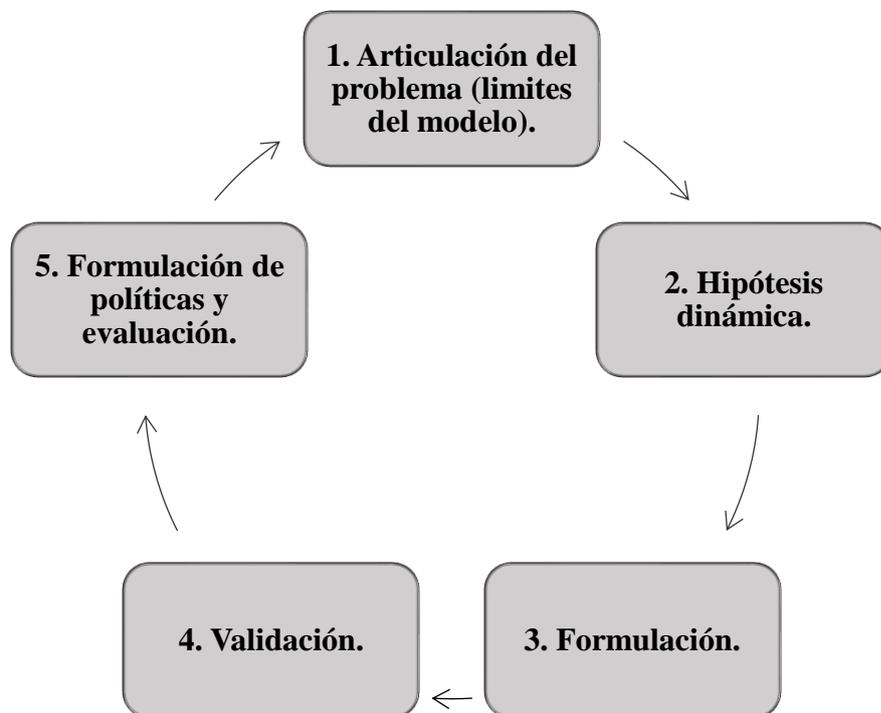
**Fase 3:** Para desarrollar la tercera fase, que fue la elaboración adecuada de la encuesta de estudio, fue necesario aplicar la metodología de Ábaco de Régnier para

conocer el nivel de aceptación de las preguntas a emplear mediante la selección de tres expertos.

**Fase 4:** En la cuarta fase, se llevó a cabo la encuesta con los participantes seleccionados, se desarrollaron el análisis de los resultados obtenidos en la recolección de datos, se identificaron mediante el software SPSS-25 los datos estadísticamente relevantes para el estudio y se respaldó su fiabilidad a través del coeficiente de Cronbach.

Para el modelado de dinámica de sistemas se adaptó el proceso iterativo propuesto por Sterman, (2000) y citado por (Sembiring & Sipayung, 2020) ; (Suryani, Dewi, et al., 2019). Esta metodología se presenta en la figura 15 e incorpora una serie de herramientas diseñadas para abordar la estructura y complejidad de los sistemas que, al ser principalmente interdisciplinaria, se centra en analizar el comportamiento de sistemas complejos, siguiendo un proceso de modelado iterativo basado en la teoría de la dinámica no lineal y control de realimentación.

*Figura 15. Etapas del modelado de dinámica de sistemas.*



*Fuente: Elaborado por autor basado en (Sterman, 2000).*

- 1. Identificación y articulación del problema:** Es una de las fases más importante dentro de este proceso, debido a que resulta fundamental para identificar las variables, interacciones, los límites y las restricciones del modelo.
- 2. Hipótesis dinámica:** La formulación de hipótesis dinámica manifiesta el comportamiento dinámico derivado de las estructuras de retroalimentación. Esta hipótesis se complementa mediante la utilización de mapas causales que representan las variables claves como diagrama de bloques, diagramas de causalidad, diagrama de flujos y niveles, entre otros.
- 3. Formulación del modelo de simulación:** En esta etapa se incorporan ecuaciones en el modelo de Forrester, utilizando las relaciones establecidas en la hipótesis dinámica. Este enfoque permite realizar simulaciones preliminares con el propósito de obtener resultados prácticos.
- 4. Validación del modelo:** La validación de los modelos generados mediante la dinámica de sistemas se realiza a través de una serie de pruebas para evaluar la calidad de la estructura y el comportamiento del modelo.  
  
Existen tres técnicas específicas utilizadas: la consistencia dimensional, condiciones extremas y análisis de sensibilidad, mediante el cual puede ser utilizado el software Anylogic para validar el modelo propuesto.
- 5. Formulación de políticas y evaluación:** En esta fase se plantea la creación de escenarios para evaluar y anticipar el impacto de cambios internos y externos en el sistema. Además, se llevó a cabo simulaciones controladas para experimentar cambios, así como para diseñar y evaluar políticas.

## **2.4. Población y Muestra**

### **2.4.1. Población**

Babativa Novoa, (2017) , considera que la definición de la población se establece en función del objetivo general del estudio, que implica medidas para estimar las características y los valores de la población con el objetivo de establecer su confiabilidad. Se caracteriza por compartir atributos específicos en términos de contenido, ubicación y período de tiempo, por ende, es esencial definir de manera clara qué individuos o elementos se desean estudiar, identificando una problemática a resolver o explicando las causas subyacentes que la originan.

Se consideró como población objetivo del estudio a los productores de maíz existentes en las parroquias del Cantón de Santa Elena, quienes fueron la principal fuente de investigación que proporcionaron diligentemente la información necesaria para comprender y llevar a cabo el análisis y la caracterización de la cadena productiva.

De acuerdo con la información proporcionada por las oficinas del MAGAP de Santa Elena, en el cantón existen 6 parroquias dedicadas al cultivo de maíz, con aproximadamente 986 pequeños productores que poseen de 1 a 10 ha de maíz., detallados en la tabla 6.

**Tabla 6.** Población de estudio.

<b>N</b>	<b>Parroquias</b>	<b>N de productores de maíz</b>	<b>Porcentaje</b>
1	Colonche	439	45%
2	Manglaralto	192	19%
3	Chanduy	80	8%
4	Ancón	1	0%
5	Santa Elena	31	3%
6	Simón Bolívar	243	25%
<b>Total</b>		<b>986</b>	<b>100%</b>

*Fuente:* Elaborado por autor basado en información del MAGAP 2023.

#### **2.4.2. Muestra**

Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, (2018) considera que una muestra denota un conjunto específico de elementos dentro de una población o universo de interés, de los cuales se requieren recopilar datos relevantes, y que, para garantizar la generalización de los resultados, esta muestra deberá ser representativa y reflejar de manera precisa las características de toda la población en estudio.

En el enfoque cuantitativo, se utilizan dos estrategias de muestreo principales: probabilística y no probabilística. En el muestreo probabilístico, todos los elementos de la población tienen una probabilidad igual de ser seleccionados mientras que en el muestreo no probabilístico, la selección de los elementos no se basa en la probabilidad,

sino en las características específicas del estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, 2018).

En este contexto, para el presente estudio se empleó un enfoque de muestreo probabilístico donde cada elemento de la población tuvo la misma probabilidad de ser seleccionado. Para conocer el tamaño de la muestra representativa de la población de estudio, se empleó la siguiente fórmula propuesta por Del Cid et al., (2011):

$$n = \frac{N * Z^2 * P * Q}{E^2 * (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

**Donde:**

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza 95% (1.96)

P = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia 50%

Q = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio 50%.

E = error máximo aceptable 5%

$$n = \frac{986 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (986 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 277$$

Resolviendo la fórmula para conocer el tamaño de la muestra se obtiene que, de la población seleccionada de 986 productores de maíz, la muestra representativa será 277 productores.

**Muestra probabilística estratificada**

Se empleó también una muestra probabilística estratificada que implica una selección de la muestra basado en la probabilidad, considerando segmentos específicos de la población que son conocidos como estratos.

Este enfoque consiste en dividir la población en segmentos y seleccionar una muestra para cada segmento y obtener información completa sobre todos los grupos que constituyen la población según sus características particulares. Se puede obtener la muestra para cada para cada estrato mediante la fracción constante de kish (Del Cid et al., 2011); (Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, 2018).

$$ksh = \frac{n}{N}$$

$$ksh = \frac{277}{986}$$

$$ksh = 0.258058$$

**Donde:**

n = tamaño de la muestra

N = población

El tamaño de la muestra de estudio fue de 277, posteriormente al aplicar un muestreo estratificado con la finalidad de recolectar datos referentes a las parroquias que conforman el Cantón de Santa Elena, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 7.

*Tabla 7. Muestra probabilística estratificada.*

N	Parroquias	Total población (fh)=0,28058 Nh(fh)=nh	Tamaño del estrato (muestra)
1	Colonche	439	123
2	Manglaralto	192	54
3	Chanduy	80	22
4	Ancón	1	1
5	Santa Elena	31	9
6	Simón Bolívar	243	68
<b>Total</b>		986	277

*Fuente:* Elaborado por autor basado en (Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, 2018)

En la tabla 8, se empleó un muestreo por conveniencia que consiste en los datos disponibles a los que se pudo acceder para identificar de manera precisa a los productores de maíz.

Teniendo en cuenta criterios de inclusión y exclusión como la disponibilidad de colaboración y desinterés en participar en la recolección de datos, se obtuvieron un

total de 35 productores seleccionados que hacen referencia a las parroquias de estudio mencionadas (Chacón-Reales et al., 2022); (Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, 2018).

**Tabla 8.** Muestra estratificada con criterio estadístico de conveniencia.

N	Parroquias	N de productores de maíz	Criterios de inclusión y exclusión	N de productores de maíz
1	Colonche	123		12
2	Manglaralto	54		8
3	Chanduy	22	- Disponibilidad de colaboración.	4
4	Ancón	1	- Desinterés de participación.	0
5	Santa Elena	9		2
6	Simón Bolívar	68		9
<b>Total</b>		277	-	35

*Fuente:* Elaborado por autor.

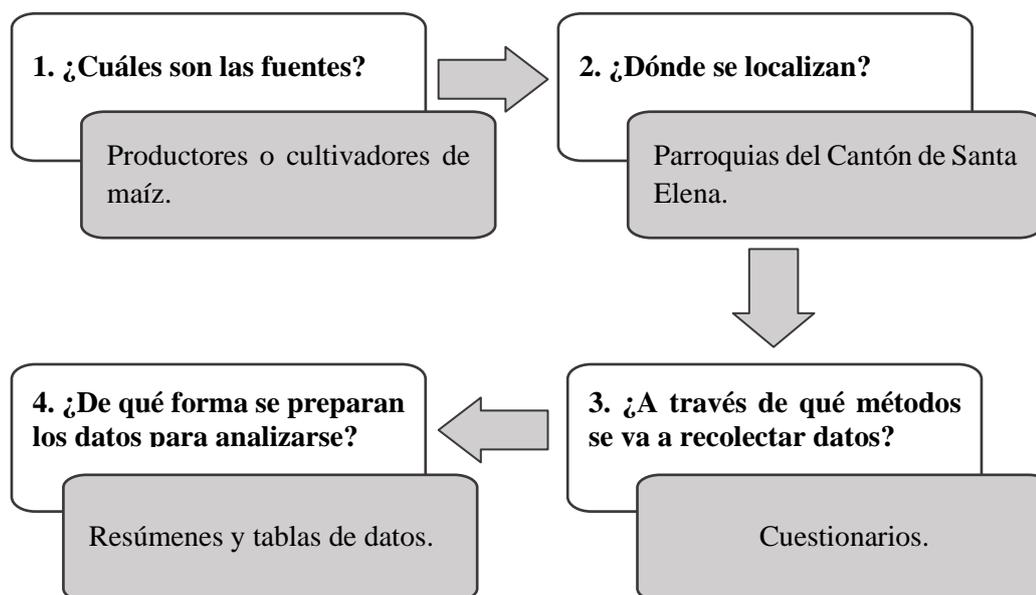
## 2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos (Adaptada a la unidad de análisis y tipo de estudio)

### 2.5.1. Métodos de recolección de datos

Useche et al., (2020), menciona que la recolección de datos posibilita la verificación del problema definido y de las variables bajo estudio, donde el tipo de investigación determinará la técnica a utilizar.

En este contexto, Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, (2018), señala que la recolección de datos puede darse mediante fases que permiten reconocer las fuentes confiables y pertinentes para el estudio, la determinación de su ubicación para facilitar el acceso a la información, la preparación adecuada de los datos para el análisis y la selección de métodos de recolección que garanticen la obtención de información precisa. A continuación, en la figura 16 se detallan las fases a seguir:

**Figura 16.** Fases de recolección de datos.



**Fuente:** Elaborado por autor adaptado de (Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, 2018).

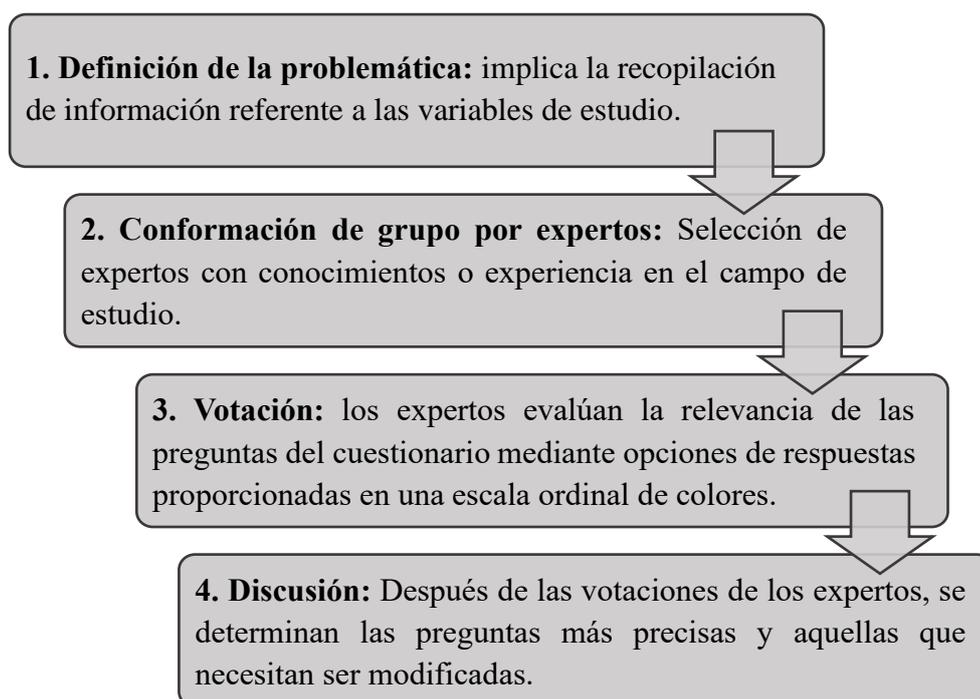
### 2.5.2. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se empleó la técnica de encuestas dirigidas específicamente para quienes forman parte de la cadena productiva del maíz, como son los productores y/o cultivadores de maíz, además de utilizarse los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

La encuesta implica la implementación de un procedimiento estandarizado, utilizando diversas técnicas como cuestionarios y entrevistas que permiten recopilar información oral o escrita de una muestra representativa de individuos, que por lo general se obtienen datos sobre conducta personal, experiencias, valores, características y situaciones sociales (Del Cid et al., 2011).

Posteriormente para garantizar la validez de las encuestas, se utilizó la metodología de Ábaco de Régnier, mediante el cual se obtuvo la perspectiva de expertos seleccionados frente a la situación planteada, dichos expertos evaluaron sus respuestas en una escala desde muy importante hasta sin respuesta. Martelo et al., (2017) menciona que dicha metodología contempla las siguientes fases:

**Figura 17.** Fases de la metodología de Ábaco de Régnier



*Fuente:* Elaborado por autor adaptado de (Martelo et al., 2017).

### 2.5.3. Instrumentos de recolección de datos

Como instrumento de recolección de datos de las encuestas, se utilizaron cuestionarios con una serie de preguntas estructuradas, específicas y enfocadas a evaluar las variables definidas del estudio. Cada pregunta y sus opciones de respuestas fueron diseñadas, implementadas y valoradas con precisión (Cisneros-Caicedo et al., 2022).

### 2.6. Variables del estudio

Las variables actúan como causas o efectos dentro del proceso en estudio, formando parte esencial de la estructura experimental, considerando a las variables independientes como la condición antecedente y supuesta causa en la relación entre variables, mientras que el efecto resultante o condición consecuente se denomina variable dependiente (Espinoza Freire, 2019).

En este contexto, las variables del estudio son las siguientes:

- **Variable independiente:** Dinámica de sistemas (DS).
- **Variable dependiente:** Cadena productiva.

### 2.6.1. Operacionalización de variables

La operacionalización implica descomponer y traducir las variables en indicadores para permitir la observación y medición directa, considerándose fundamental porque se detallan los aspectos y elementos que se desean cuantificar, conocer y registrar, facilitando la obtención de conclusiones significativas (Espinoza Freire, 2019).

**Tabla 9.** Operacionalización de variables.

Variable Independiente	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Items	Técnicas e Instrumentos
<b>Dinámica de sistemas</b>	Herramienta analítica que estudia el comportamiento y las interacciones de las variables de un sistema (Jin et al., 2023).	Comportamiento del uso de estrategias o herramientas tecnológicas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementación de estrategias</li> <li>2. Tipo de estrategias</li> <li>3. Uso de herramientas tecnológicas</li> <li>4. Conocimiento</li> <li>5. Interés de aprendizaje</li> <li>6. Expectativa</li> <li>7. Resultado de aplicabilidad</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Ha implementado alguna estrategia para mejorar la producción de maíz?</li> <li>2. ¿Qué estrategias ha implementado para mejorar la producción de maíz?</li> <li>3. ¿Considera la posibilidad de utilizar herramientas tecnológicas que permitan mejorar la producción del maíz?</li> <li>4. ¿Tiene conocimientos previos acerca de la dinámica de sistemas y su aplicación en el sector agrícola?</li> <li>5. ¿Estaría interesado en aprender y aplicar la dinámica de sistemas en su cadena productiva de maíz?</li> <li>6. ¿Cree que implementar la dinámica de sistemas en la</li> </ol>	Encuesta/ Cuestionario

cadena productiva de maíz podría tener un impacto positivo en la rentabilidad de su producción?  
 7. ¿Qué resultados espera obtener mediante la aplicación de la dinámica de sistemas?

Variable Dependiente	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Items	Técnicas e Instrumentos
<b>Cadena Productiva</b>	Conjunto de actores económicos relacionados entre sí, para llevar un producto (maíz) de un estado a otro. Se subdivide por eslabones comprendidos desde la provisión de insumos, producción hasta la comercialización final (Reyes et al., 2021).	Producción Provisión de insumos Demanda	<ol style="list-style-type: none"> <li>Desafíos en etapa de siembra</li> <li>Cantidad de Cosecha</li> <li>Producción por hectárea</li> <li>Precio de producción</li> <li>Cantidad de Demanda</li> <li>Costo de insumos</li> <li>Gastos de operación</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrenta como productor de maíz?</li> <li>¿Cuál es el número de hectáreas cosechadas de maíz?</li> <li>¿Cuál es el total de quintales de maíz producidas por hectáreas?</li> <li>¿Cuál es el precio por quintales de maíz?</li> <li>¿Cuál es la cantidad demandada del maíz?</li> <li>¿Cuál es el costo de insumos por hectáreas sembradas?</li> <li>¿Cuáles son los gastos de operación por hectárea de maíz?</li> </ol>	Encuesta/ Cuestionario

*Fuente: Elaborado por autor.*

## 2.7. Procedimientos para la recolección de datos

Figueredo et al., (2019) menciona que procesar información implica examinarla, delimitar hechos, conceptos, argumentaciones, e incluso sistematizar o reorganizar los datos obtenidos a partir de técnicas empleadas.

Por lo tanto, en la tabla 10, se describe el proceso planificado para recopilar datos, dividido en tres etapas: recolección de datos, procesamiento y análisis de la información, y presentación e interpretación de los resultados. Cada etapa incluyó un registro detallado de las acciones llevadas a cabo durante su ejecución.

**Tabla 10.** Plan de procesamiento de datos.

<b>N</b>	<b>Plan</b>	<b>Actuaciones</b>
1	<b>Recolección de datos</b>	Documentación de información en el cuestionario de preguntas. Organización de la información recolectada.
2	<b>Procesamiento y análisis de información</b>	Verificación de la información recolectada. Tabulación de datos recolectados.
3	<b>Presentación e interpretación de resultados</b>	Método de aplicación de técnicas. Representación de datos tabulados. Presentación gráfica para interpretación de datos obtenidos.

**Fuente:** Elaborado por autor basado en (Pucha Medina et al., 2019).

## 2.8. Plan de análisis e interpretación de resultados

A continuación, en la tabla 11 se presenta un plan de análisis con interpretación de resultados que incluyó los objetivos específicos, los procedimientos asociados en cada uno de ellos, las herramientas utilizadas para su implementación y los resultados esperados.

*Tabla 11. Plan de análisis de interpretación.*

N	Objetivo	Procedimientos	Herramientas	Resultados
1	Desarrollar un estado arte mediante la implementación del método bibliométrico para sustento del tema de estudio.	1. Revisión de la literatura.	1. Método bibliométrico.	1. Estudios actuales sobre la aplicación de la dinámica de sistemas en las cadenas productivas y determinación de la estructura de un modelo DS.
2	Estructurar un marco metodológico a partir de la investigación de modelos de dinámica de sistemas para su aplicación en la cadena productiva del maíz.	1. Planeación para la obtención de datos. 2. Planeación del diseño de cuestionarios. 3. Fases del desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas.	1. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos. 2. Metodología Ábaco de Régnier 3. Modelo de dinámica de sistemas mediante base teórica.	1. Estratificación de la población y muestra de estudio. 2. Preguntas validadas por expertos que constarán en los cuestionarios a emplear. 3. Etapas de elaboración de un modelo de dinámica de sistemas.
3	Validar el modelo de dinámica de sistemas mediante el software Anylogic para verificar si resulta aplicativo para la optimización de la cadena productiva.	1. Ejecución de técnicas para la recolección de datos. 2. Análisis y fiabilidad de datos. 3. Aplicación del modelo de dinámica de sistemas.	1. Software IBM SPSS Statistic 25. 2. Análisis de varianza ANOVA. 3. Software Anylogic.	1. Tabulación de datos obtenidos. 2. Implementación del modelo. 3. Desarrollo de conclusiones del modelo de dinámica de sistemas.

En esta sección se confirmó la importancia de alcanzar los objetivos específicos establecidos en el estudio. Para lograr el cumplimiento del primer objetivo fue necesario aplicar una revisión bibliométrica con la finalidad de comprender las conceptualizaciones de las variables de estudio.

Para el cumplimiento del segundo objetivo, donde interviene la selección de población y muestra para la recopilación de datos se utilizó un cuestionario validado por expertos mediante la metodología Ábaco de Regnier. Posteriormente, se utilizará el software IBM Statistics 25 para transferir los datos obtenidos del cuestionario y para demostrar su viabilidad y fiabilidad se implementará el coeficiente alfa de Cronbach.

Para alcanzar el tercer objetivo propuesto, se elaborará un análisis a partir de gráficos y tablas estadísticas para mejor comprensión de los resultados, y finalmente proceder a desarrollar el modelo de dinámica de sistemas utilizando el software Anylogic.

## **2.9. Recapitulación del Capítulo II**

En este estudio se implementó una metodología de investigación cuantitativa no experimental, con diseño transversal descriptivo y correlacional, en el que se definieron el alcance de los objetivos y los planes de evaluación a utilizar. Además, se operacionalizaron las variables dependiente e independiente, enfocándose en las dimensiones e indicadores influyentes para generar las preguntas pertinentes para el levantamiento de información.

Se empleó principalmente la técnica de encuestas y cuestionarios como instrumentos, que serán validados mediante la metodología Ábaco de Régnier, seleccionando expertos cualificados conforme a criterios específicos. Cabe mencionar que los resultados obtenidos de las encuestas serán debidamente analizados y evaluados para garantizar su precisión, confiabilidad y validez, utilizando herramientas estadísticas como coeficiente el Cronbach mediante el software IBM SPSS Statistic-25. Finalmente, se formulará una propuesta para verificar si el modelo de dinámica de sistemas planteado resulta aplicativo para la optimización de la cadena productiva del maíz.

# **CAPITULO III**

## **MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Marco de resultados**

#### **Revisión y análisis de la investigación**

Esta fase fue desarrollada en el capítulo I, donde se llevó a cabo la selección e interpretación de los artículos científicos relacionados con la dinámica de sistemas a partir de la base de datos de Scopus, con el objetivo de aplicar un modelo de dinámica de sistemas en la cadena productiva del maíz.

#### **Recopilación de datos**

Para la recopilación de datos cuantitativos se emplearon encuestas dirigidas a una muestra representativa de la población. Por lo tanto, para su respectiva elaboración se basó en el plan evaluativo mencionado en el capítulo anterior que consta de las siguientes fases:

#### **Fase 1. Descripción del área de estudio**

La Provincia de Santa Elena está situada al oeste de Ecuador y está subdividida en tres cantones: Santa Elena, Salinas y La Libertad.

Se seleccionó al Cantón de Santa Elena como área de estudio debido a que el cultivo más predominante en la provincia es el maíz y se lo encuentra con mayor frecuencia en el cantón mencionado.

Según las estadísticas del INEC, (2023) el cantón cuenta con una población de 186.687 habitantes, compuesto por 7 parroquias: Manglaralto, Colonche, Simón Bolívar, Santa Elena, Chanduy, Atahualpa y San José de Ancón. Sin embargo, solo 6 de estas parroquias se dedican a la parte agrícola: Manglaralto, Colonche, Simón Bolívar, Santa Elena, Chanduy y San José de Ancón.

En la figura 18 se muestra el mapa cantonal de estudio limitado al norte con el cantón de Puerto López, al Sur Playas, al este Guayas y al Oeste La Libertad y de acuerdo con Google Earth sus coordenadas geográficas son 2°13'36"S 80°51'30"O / -2.2267, -80.8583.

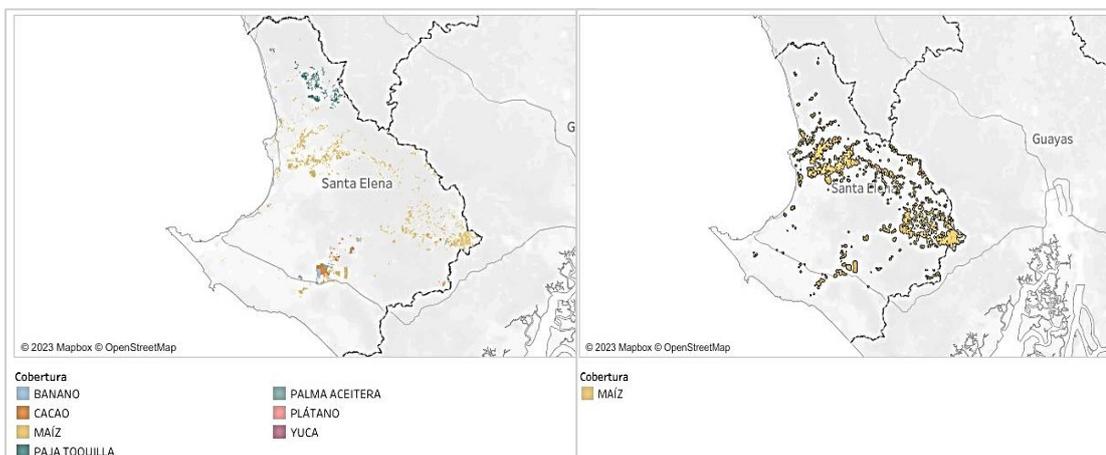
**Figura 18. Mapa Cantonal**



**Fuente:** Obtenido desde Geoportal del Agro Ecuatoriano (MAG, 2023).

El cantón de Santa Elena cuenta con un área total de producción de 15655 ha que corresponden a cultivos como: banano, cacao, maíz, paja toquilla, palma aceitera, plátano y yuca. El maíz representa el 72.20% del área de producción del cantón, información representada en la figura 20 (MAG, 2023).

**Figura 19. Mapa de cobertura por cultivo**



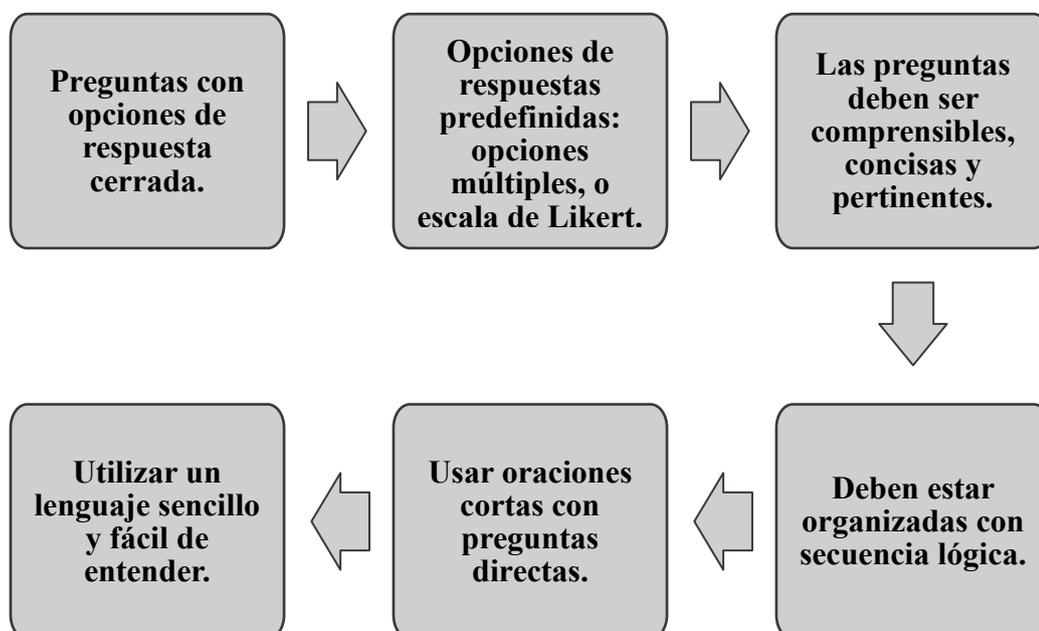
**Fuente:** Mosaico de Sistemas Productivos a nivel nacional obtenido de (MAG, 2023).

## **Fase 2. Desarrollo de preguntas.**

El desarrollo de preguntas de una encuesta es un proceso fundamental que garantiza la recopilación de datos precisos y relevantes, mediante el cual se busca obtener información específica correspondiente a las variables de estudio: variable independiente (dinámica de sistemas) y variable dependiente (cadena productiva).

Por ende, para desarrollar las preguntas de una encuesta cuantitativa efectiva y confiable dirigida a los pequeños productores de maíz del Cantón de Santa Elena fue necesario tener en cuenta los apartados mencionados en la figura 20.

*Figura 20. Desarrollo de preguntas*



*Fuente: Elaborado por autor.*

### **Fase 3. Elaboración de las encuestas**

La tercera fase corresponde a la elaboración de las encuestas y fue necesario aplicar la metodología de Ábaco de Régnier para evaluar la validez y aceptación de las preguntas que forman parte de las encuestas que se aplicaron.

Para ello se seleccionaron tres expertos en el tema de estudio y se desarrollaron las siguientes etapas:

#### **1. Definición de la problemática:**

Para identificar las competencias necesarias para la optimización de la cadena productiva del maíz se requiere la recolección de información a partir de fuentes primarias y secundarias. La recopilación de fuentes primarias se realizó mediante cuestionarios estructurados a los productores involucrados en la cadena productiva del maíz y la información de fuentes secundarias se obtuvieron a partir de estudios e investigaciones sobre el sector productivo del maíz en la actualidad.

La problemática de la investigación debe garantizar que las preguntas elaboradas con respecto a las variables de estudio sean relevantes y estén aprobadas por el grupo de expertos seleccionados quienes cuentan de una formación profesional, experiencia laboral y conocimiento en el tema de estudio.

## 2. Conformación de grupo por expertos:

Para validar los factores que influyen en la cadena productiva y poder aplicar la dinámica de sistemas, fue necesario contar con un panel de tres expertos que aporten su opinión y confirmación sobre la relevancia de los factores descritos en las encuestas. Por lo tanto, el panel de expertos garantizó que los factores identificados contribuyan con la respectiva información para la optimización de la cadena productiva, teniendo en cuenta las diferentes perspectivas de los actores involucrados.

**Tabla 12.** Conformación de grupo de expertos

Posibles expertos seleccionados	Criterios de selección de expertos
Ingenieros Agrónomos	Experiencia en el tema de estudio (cadena productiva del maíz y aplicación de la dinámica de sistemas).
Ingenieros Industriales	Conocimiento de la metodología de encuestas y que cuente con más de 10 años de experiencia laboral.
Ingenieros en Finanzas y Gerencia Financiera	Capacidad de evaluar la validez y confiabilidad de las encuestas.

**Fuente:** Elaborado por autor.

La aprobación de los tres expertos permitió proporcionar un mayor nivel de confianza en los factores seleccionados. Por ende, para la respectiva selección se consideró que además de tener experiencia en el tema de estudio, cuenten con más de 10 años de experiencia y que pueden tener la capacidad de evaluar las encuestas.

**Tabla 13.** Perfil de los expertos seleccionados

<b>Profesión</b>	<b>Nivel de Educación</b>	<b>Experiencia Laboral</b>
Ingeniero Industrial	MSc	20 años
Ingeniero en Finanzas- Gerencia Financiera	MSc	15 años
Ingeniero Agrónomo	MSc	30 años

**Fuente:** Elaborado por autor adaptado de (Maghsoudi & Nezafati, 2023).

En la tabla 13, se presenta información acerca del nivel de educación y la experiencia laboral de los expertos participantes, mediante el cual se puede conocer el nivel de aporte que pueden proporcionar a la identificación de los factores relacionados a la cadena productiva del maíz y a la dinámica de sistemas. Cabe resaltar que esta información fue esencial para comprender el proceso de investigación y la validez de los resultados.

### **3. Votación**

Los expertos respondieron al cuestionario de 14 preguntas utilizando la escala ordinal de colores colocada en la parte inferior del cuestionario que se encuentra como Anexo 4. Esta escala determinó puntuaciones como: 5 (muy importante) para el color verde oscuro, 4 (importante) verde claro, 3 (duda) amarillo, 2 (poco importante) rosado, 1 (sin importancia) rojo y 0 (sin respuesta) blanco (Rosin et al., 2022).

**Tabla 14.** Evaluación de expertos

<b>Expertos</b>	<b>Evaluación</b>	<b>Reajuste</b>
1	X	
2		X
3	X	
<b>Total</b>	2	1

**Fuente:** Elaborado por autor.

A partir de las votaciones de los expertos fue posible conocer las preguntas que debían ser mejoradas, las que podían organizarse mejor e incluso aquellas que debían

ser eliminadas, en la tabla 14 se muestra la respectiva evaluación y reajuste que sugirieron los expertos, los resultados de la validación.

De la misma manera, en la tabla 15 se presenta un análisis de frecuencia por validación de expertos que aporta un componente cuantitativo esencial para respaldar que el instrumento aplicado es aceptado.

**Tabla 15.** *Análisis de Frecuencia de la validación por expertos*

<b>Tipo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia Porcentual</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>	<b>Porcentaje Acumulado</b>
Evaluación	2	67%	2	67%
Reajuste	1	33%	3	<b>100%</b>
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>100%</b>		

*Fuente: Elaborado por autor.*

La tabla de análisis de frecuencia de validación por expertos demostró que, al cuantificar la consistencia de las evaluaciones y los ajustes realizados, se proporciona una base objetiva que contribuye a la credibilidad del estudio, reforzando de esta manera la confianza en la calidad del instrumento y por ende en los resultados del estudio investigativo.

Los indicadores establecidos en el cuestionario, siete están estrechamente relacionados con la dinámica de sistemas y siete con la cadena productiva del maíz:

- Implementación de estrategias
- Tipo de estrategias
- Uso de herramientas tecnológicas
- Conocimiento
- Interés de aprendizaje
- Expectativa
- Resultado de aplicabilidad
- Desafíos en etapa de siembra
- Cantidad de cosecha
- Producción por hectárea

- Precio de producción
- Cantidad de demanda
- Costos de insumos
- Gastos de operación

Las preguntas del cuestionario a aplicar contaron con opciones de respuestas cerradas y respuestas predefinidas usando opciones múltiples, nominal, y de intervalo, mencionados a continuación:

- \_ Cambios climáticos, \_ Plagas y enfermedades, \_ Costos de insumos, \_ Suelo, \_ Tecnología obsoleta.
- \_ Menos de 3 ha, \_ 3-5 ha, \_ 5-7 ha, \_ 7-10 ha, \_ Más de 10 ha.
- \_ Menos de 50 q, \_ 50-60 q, \_ 60-70 q, \_ 70-80 q, \_ Más de 80 q.
- \_ Menos de \$15, \_ \$15-\$16, \_ \$16-\$17, \_ \$17-\$18, \_ Más de \$18.
- \_ Menos de 100 q, \_ 100-200 q, \_ 200-300 q, \_ 300-400 q, \_ Más de 400 q.
- \_ Menos de \$200, \_ \$200-\$400, \_ \$400-\$600, \_ \$600-\$800, \_ Más de \$1000.
- \_ Menos de \$30, \_ \$30-\$50, \_ \$16-\$17, \_ \$17-\$18, \_ Más de \$18.
- \_ Si, \_ No.

#### **4. Discusión**

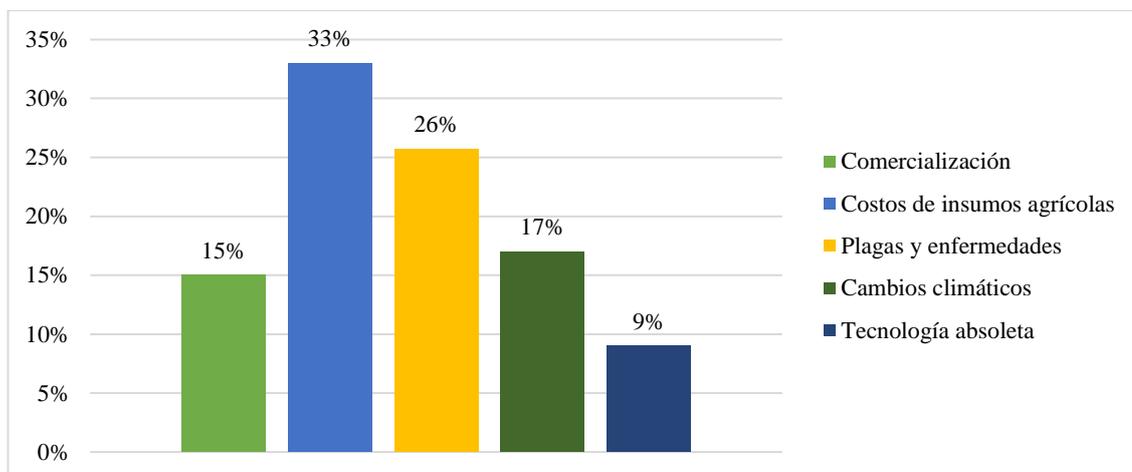
Debido a que las puntuaciones otorgadas por los expertos mostraron una baja variabilidad, se consideró que estuvieron de acuerdo con las preguntas del cuestionario. Es importante mencionar que el nivel de conocimiento de los expertos influyó en gran medida en sus votaciones, ya que contaban con un nivel de experiencia apto para el proceso de validación. Por lo tanto, se decidió proceder con su aplicación, concluyendo de esta manera con el método de validación.

#### **Fase 4. Recolección de datos y análisis de resultados.**

Posteriormente, al aplicar los cuestionarios se desarrolló el análisis pertinente de los resultados obtenidos mediante diagramas de barras que permitieron identificar tendencias significativas, logrando una mejor interpretación y comprensión. A continuación, se presenta el análisis de cada pregunta:

## 1. ¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrenta como productor de maíz?

**Figura 21.** Resultados de Pregunta 1.

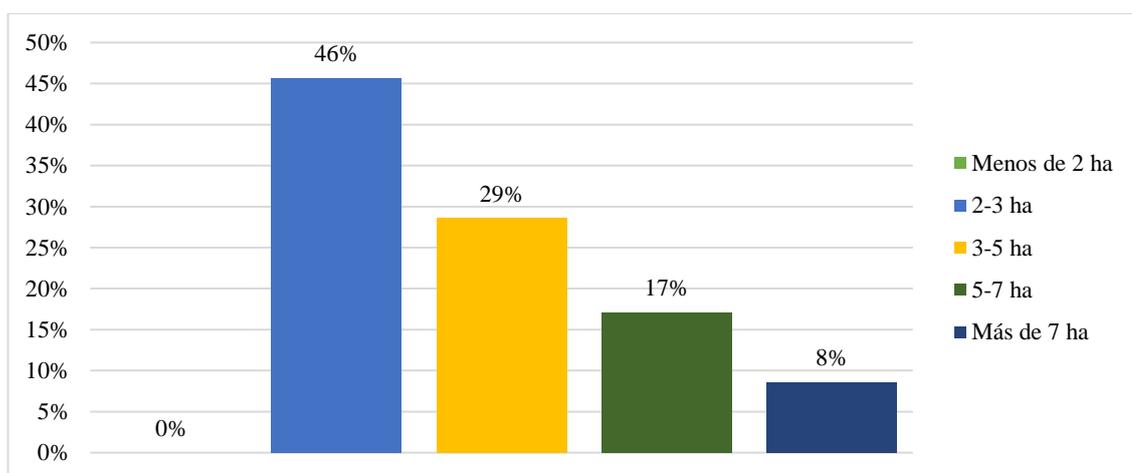


*Fuente:* Elaborado por autor.

En la Figura 21, se presentó que el 33% de los productores enfrentan desafíos en cuestiones de altos costos de insumos agrícolas, el 26% mencionaron que los desafíos que presentan sus cultivos son debidos a la presencia de plagas y enfermedades, un 17% tienen problemas por situaciones como el cambio climático, el 15% debido a la falta de comercialización y el 9% señalan que la falta de implementación de nuevas tecnologías repercute negativamente a sus plantaciones.

## 2. ¿Cuál es el número de hectáreas cosechadas de maíz?

**Figura 22.** Resultados de Pregunta 2.

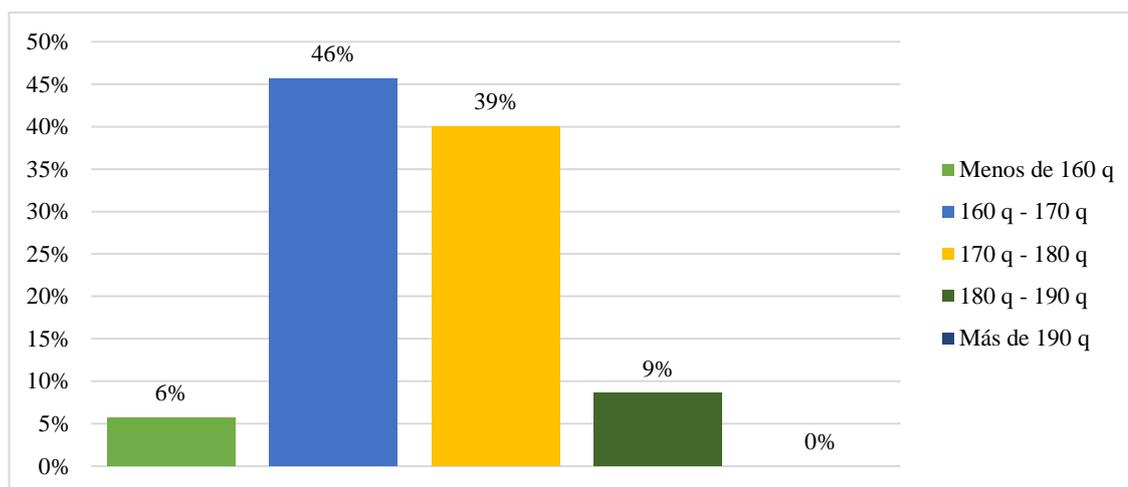


*Fuente:* Elaborado por autor.

Como se resaltó en la Figura 22, el 46% de los productores encuestados disponen de 2 a 3 hectáreas de maíz para su respectiva cosecha, el 29% otorga de 3 a 5 hectáreas para la producción de maíz, el 17% ocupan un terreno más amplio de 5 a 7 hectáreas y por último el 8% de los productores tienen más de 7 hectáreas.

### 3. ¿Cuál es el total de quintales de maíz producidas por hectáreas?

**Figura 23.** Resultados de Pregunta 3.

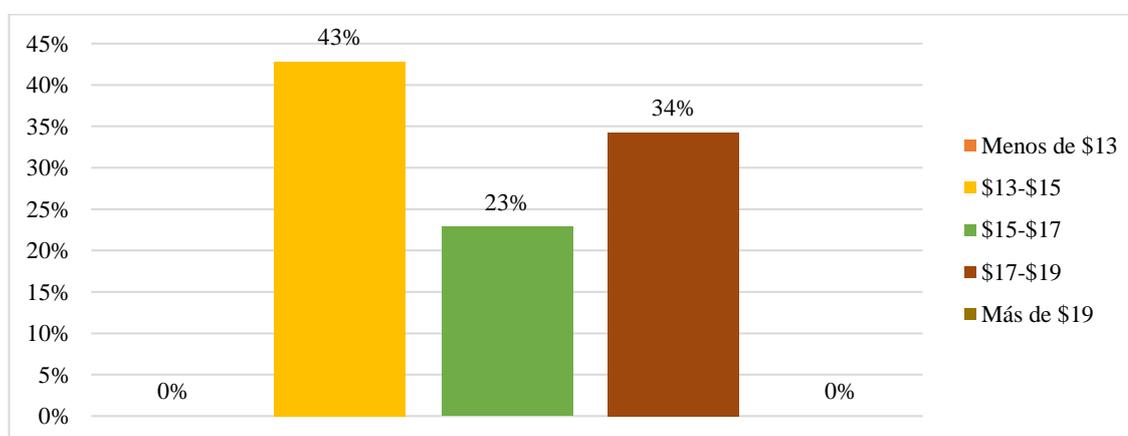


*Fuente:* Elaborado por autor.

Se obtuvo que en la figura 23, el 46% de los encuestados tiene una producción de 160 a 170 quintales de maíz producidos por hectárea, además, el 39% tiene una producción promedio de 170 a 180 quintales de maíz, 9% y el 6% tienen una producción más eficiente con más de 180 quintales por hectáreas.

### 4. ¿Cuál es el precio por quintales de maíz?

**Figura 24.** Resultados de Pregunta 4.

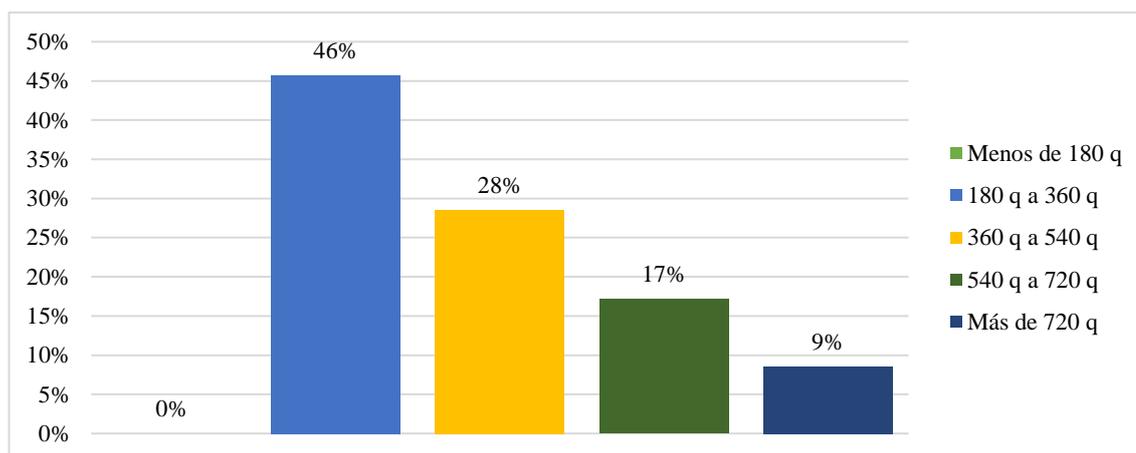


*Fuente:* Elaborado por autor.

En la figura 24, se demostró que el 43% de los productores respondió que el precio del quintal está en un valor de \$13 a \$15, el 34% confirmó que el precio de su producto alcanza los \$17 a 19 y como último el 23% respondió que el valor está entre \$15 a \$17 el quintal de maíz.

## 5. ¿Cuál es la cantidad demandada del maíz?

*Figura 25. Resultados de Pregunta 5.*

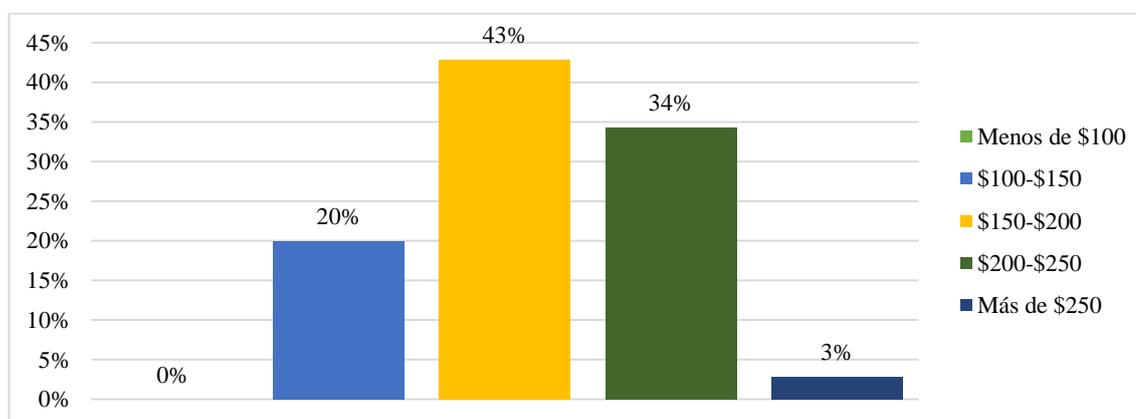


*Fuente: Elaborado por autor.*

Con respecto a la figura 25, se indicó que el 46% de los productores tienen una cantidad demanda de 180 a 360 quintales de maíz, el 28% han respondido que la demanda del maíz está en un rango de 360 a 540 quintales, el 17% considera una demanda mayor de 540 a 720 quintales a nivel provincial, y un 9% respondió que existe una demanda que alcanza más de 720 quintales.

## 6. ¿Cuál es el costo de insumos por hectáreas sembradas?

*Figura 26. Resultados de Pregunta 6.*

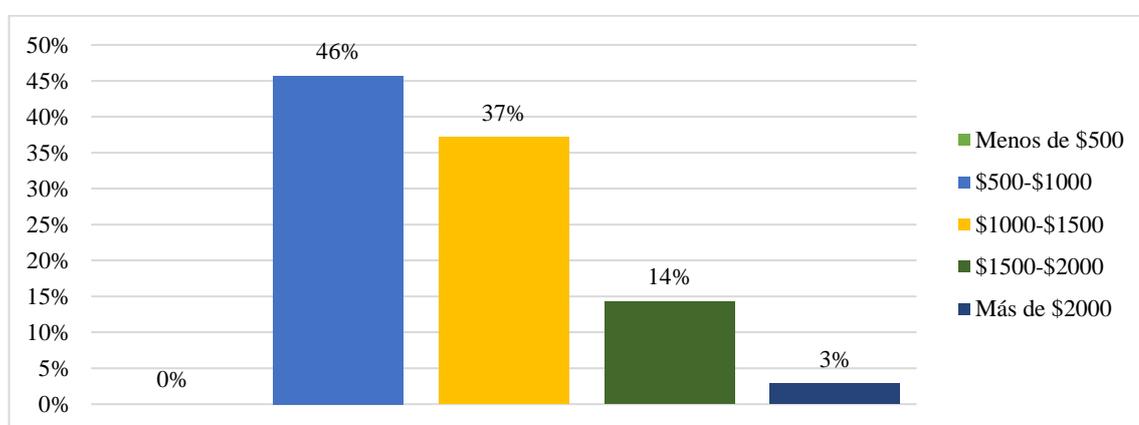


*Fuente: Elaborado por autor.*

Se representó en la Figura 26, en la cual se observa que el 43% de productores recalca que el costo de insumos en donde interviene los costos de fertilizantes, semillas y abonos en la producción de maíz llega a un rango de \$150 a \$200, el 34% considera que sus insumos están en un intervalo de \$200 a \$250 por hectárea de maíz, el 20% respondió que el costo es más bajo entre \$100 a \$150 por hectárea, este depende a los métodos de cultivo de maíz y como último con un 3% señalaron que el costo de insumos generado por hectárea de maíz es de \$250.

## 7. ¿Cuáles son los gastos de operación por hectárea de maíz?

**Figura 27.** Resultados de Pregunta 7.

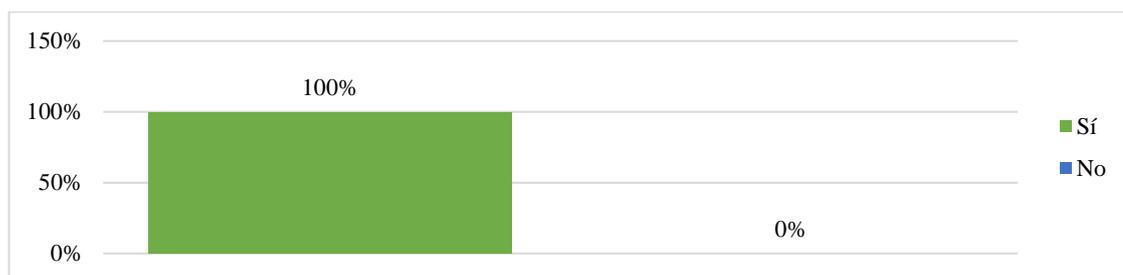


**Fuente:** Elaborado por autor.

En la Figura 27, se representó que el 46% tiene un gasto de \$500 a \$1000 en la que se considera un gasto bajo, por otro lado, el 37% tiene un gasto un poco más elevado entre \$1000 a \$1500 por hectárea de maíz, sin embargo, el 14% tiene un gasto de \$1500 a \$2000 debido a la presentación de maquinaria y mano de obra y el 3% tiene un gasto de \$2000 en adelante.

## 8. ¿Ha implementado alguna estrategia para mejorar la producción de maíz?

**Figura 28.** Resultados de Pregunta 8.



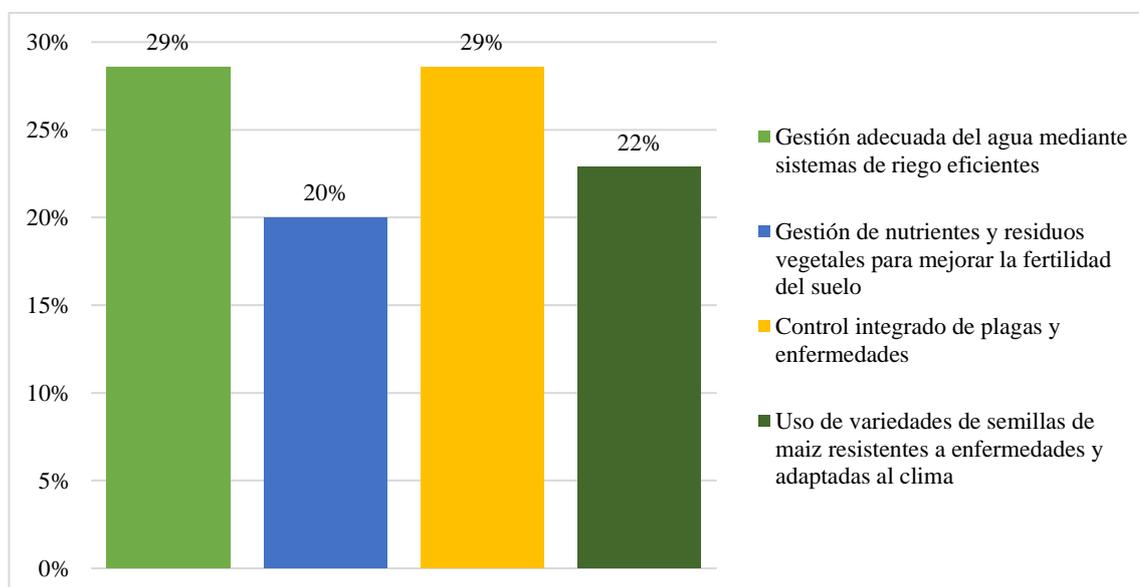
**Fuente:** Elaborado por autor.

Con respecto a la pregunta 8, se visualizó en la Figura 28, que el 100% de los encuestados confirmaron que han implementado diversas estrategias con el fin de conseguir una mejora en la producción del maíz por hectáreas, y por ende obtener mayores ingresos y menores pérdidas.

Entre las estrategias aplicadas, están aquellas direccionadas a mejorar el abono y referentes al uso de pesticidas que beneficien al cultivo. En la pregunta posterior, se detallan las estrategias utilizadas con mayor claridad.

**9. Si su respuesta anterior fue afirmativa, responda la siguiente pregunta ¿Qué estrategias ha implementado para mejorar la producción de maíz?**

*Figura 29. Resultados de Pregunta 9.*

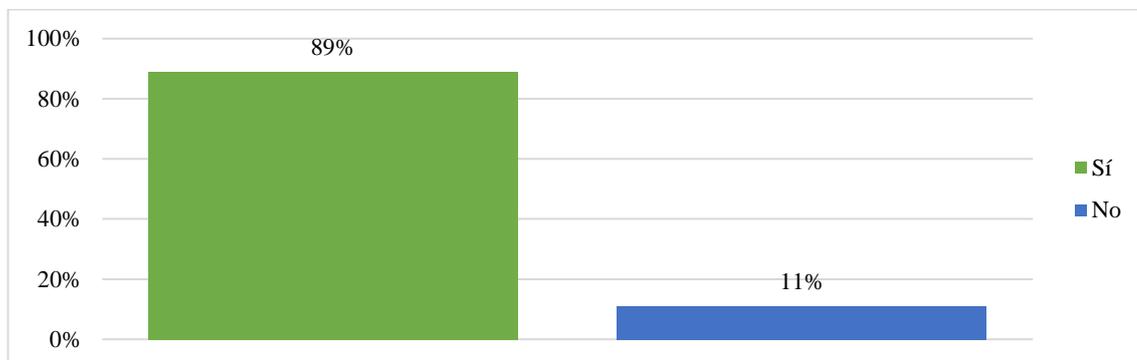


*Fuente: Elaborado por autor.*

En la figura 29, la pregunta 9 que está relacionada con la pregunta 8, refleja distintas estrategias que se implementan para la mejora de la producción de maíz, en la cual el 29% ocupa una gestión adecuada del sistema de riego, el 29% también mencionan que utilizan un estricto control de plagas y enfermedades mediante la aplicación de pesticidas, el 22% han considerado el uso de semilla de maíz certificada con mayor resistencia a factores externos, y por último, un 20% han llevado estrategias de gestión de nutrientes y residuos referentes a una combinación de abono que colocan a sus cultivos.

**10. ¿Considera la posibilidad de utilizar herramientas tecnológicas que permitan mejorar la producción del maíz?**

*Figura 30. Resultados de Pregunta 10.*

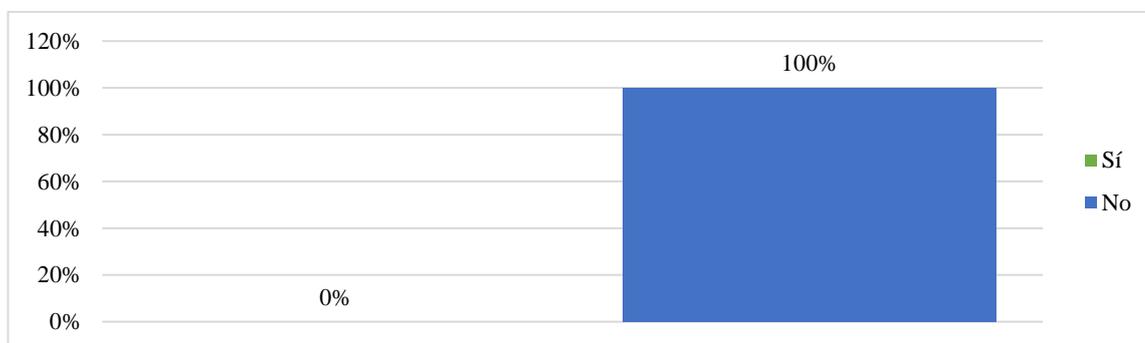


*Fuente: Elaborado por autor.*

En la figura 30, se interpretó que el 89% de los productores consideran la utilización de herramientas tecnológicas con la finalidad de la mejora de producción de maíz, sin embargo, el 11% considera que aún no están listo para implementar herramientas tecnológicas debido a diversos factores económicos.

**11. La dinámica de sistemas es una herramienta que permite anticipar el impacto de políticas agrícolas, cambios en el clima o tecnologías emergentes, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en la producción y distribución del maíz. ¿Tiene conocimientos previos acerca de la dinámica de sistemas y su aplicación en el sector agrícola?**

*Figura 31. Resultados de Pregunta 11.*



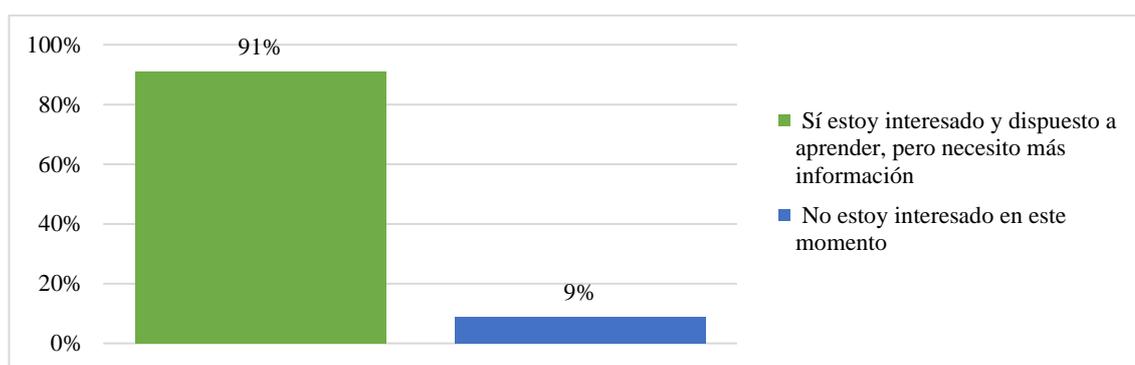
*Fuente: Elaborado por autor.*

En la Figura 31, hace referencia a la incógnita de la pregunta 11, y se demostró que existe una falta de conocimiento en un 100% en el tema de dinámica de sistemas

en el sector agrícola de la provincia de Santa Elena, es decir, que el uso de esta herramienta se considerado como innovador para el grupo beneficiado.

## 12. ¿Estaría interesado en aprender y aplicar la dinámica de sistemas en su cadena productiva de maíz?

**Figura 32.** Resultados de Pregunta 12.

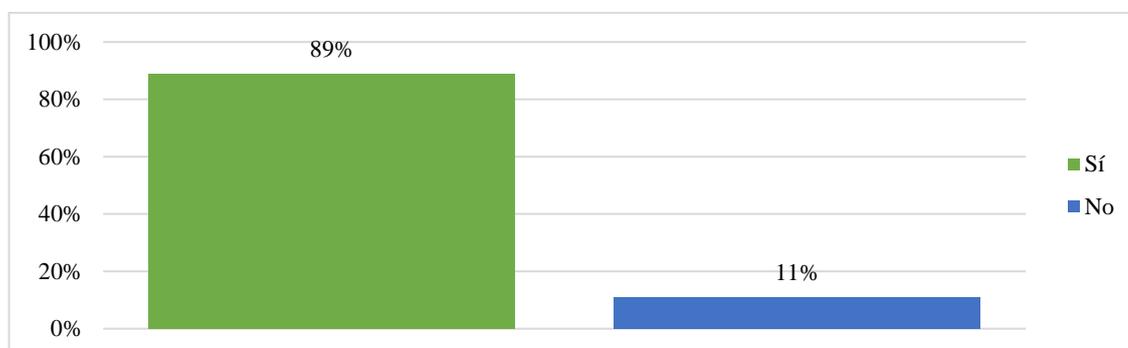


*Fuente:* Elaborado por autor.

En consideración a la pregunta 12, en la figura 32, se demostró que el 91% de los productores tienen un interés en el aprendizaje de la herramienta de dinámica de sistemas, pero por la falta de comprensión del tema indicaron que necesitan información más clara, por otro lado, el 9% no tienen ningún interés esto es debido a la falta de tiempo o que comprenden que no están preparados para implementar nuevas metodologías en la producción de maíz.

## 13. ¿Cree que implementar la dinámica de sistemas en la cadena productiva de maíz podría tener un impacto positivo en la rentabilidad de su producción?

**Figura 33.** Resultados de Pregunta 13.

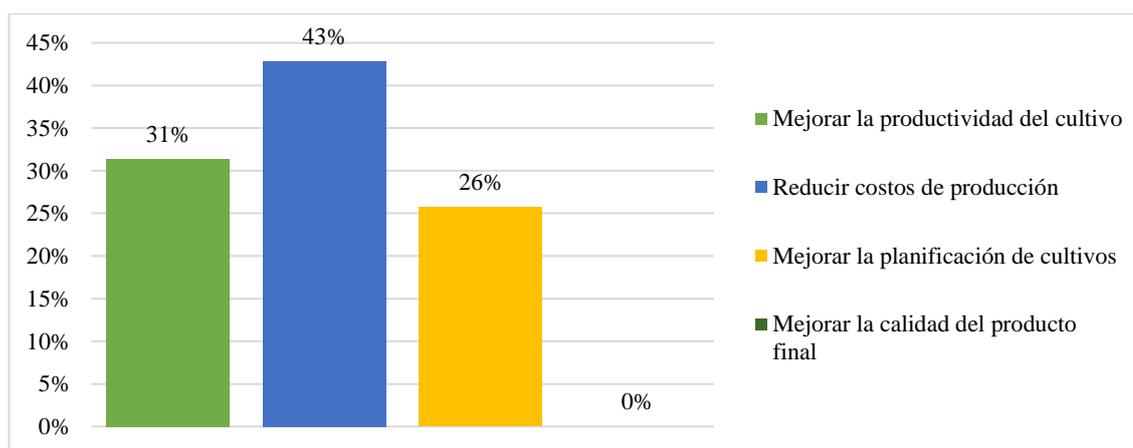


*Fuente:* Elaborado por autor.

En la figura 33, se identificó que el 89% de los encuestados están de acuerdo que implementar la dinámica de sistemas tendrá un impacto positivo en la producción de maíz y el 11% no está de acuerdo por motivos que deberían adquirir nuevas herramientas que conlleva un mayor gasto.

#### 14. ¿Qué resultados espera obtener mediante la aplicación de la dinámica de sistemas?

*Figura 34. Resultados de Pregunta 14.*



*Fuente: Elaborado por autor.*

En la figura 34, se registran los resultados de la pregunta 14, se hace énfasis que, si los encuestados en algún momento deciden implementar la dinámica de sistemas, el 43% buscan la reducción de costos de producción, el 31% respondieron que lo más importante es la mejora en la producción del cultivo y el 26% buscan que se mejore la calidad del maíz.

A través de la información recolectada de la muestra representativa del estudio, se determinó que a pesar de que la producción actual del maíz genera entre 160 a 180 quintales de maíz por ha, presenta varios desafíos que afectan directamente a los agricultores, siendo los más significativos con más del 33% aquellos relacionados con los costos asociados a la producción y las adversidades ambientales como la presencia de plagas con un 26% y un 17% referente al cambio climático, tales porcentajes representan la vulnerabilidad del sector agrícola frente a las variaciones climáticas y eventos extremos.

A pesar de los esfuerzos de los agricultores por mantener o incrementar el nivel de producción mediante la aplicación de estrategias específicas como el uso de

semillas certificadas, la gestión del tipo de abono para la fertilidad del suelo y la aplicación de prácticas de control integrado de las plagas, más del 80% de los productores consideran la adopción e implementación de herramientas tecnológicas para mejorar la productividad y rentabilidad de sus cultivos.

En este contexto, surge la necesidad de una propuesta que explique la cadena productiva del maíz mediante la dinámica de sistemas, proyectando una simulación que facilite la observación de los comportamientos existente en la cadena, proporcionando datos en tiempo real y análisis detallados, que permitirán tomar decisiones informadas y responder de manera positiva a las condiciones cambiantes del entorno agrícola.

### 3.1.1. Confiabilidad y validez mediante el coeficiente Alfa de Cronbach

Con el fin de verificar la veracidad de los datos recopilados en la investigación, se realizó un análisis de confiabilidad utilizando el coeficiente Alfa de Cronbach. Este coeficiente que mide la consistencia interna de los datos se expresa en un rango de cero (0) a uno (1). Un coeficiente cero indica una confiabilidad nula, a medida que el coeficiente se aproxima a cero, se incrementa la posibilidad de errores en la medición, mientras que uno, representa un nivel máximo de confiabilidad (Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres, 2018).

En la Tabla 16, con el uso del programa para desarrollo estadístico llamado (IBM Statistics 25), se registran los resultados obtenidos en la recolección de datos, en donde se realiza el análisis mediante el alfa de Cronbach, con un número de 35 encuestas, no se excluyó ninguna pregunta.

**Tabla 16.** *Procesamiento de casos - IBM Statistics 25*

<b>Resumen de procesamiento de casos</b>			
		<b>N</b>	<b>%</b>
<b>Casos</b>	Válido	35	100,0
	Excluido <sup>a</sup>	0	,0
	Total	35	100,0

**a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.**

**Fuente:** *Elaborado por autor mediante SPSS 25.*

En la obtención del estadístico de fiabilidad mediante el análisis del Alfa de Cronbach de los datos obtenidos, se consigue un valor de 0.801 como se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Alfa de Cronbach

Estadísticas de Fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,801	14

*Fuente:* Elaborado por autor mediante SPSS 25.

Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, (2018) indican que no hay una norma específica para evaluar la confiabilidad del instrumento, aunque sugieren que el coeficiente obtenido debería situarse entre 0.70 y 0.90 para considerarse aceptable. Además, señalan que un coeficiente superior a 0.90 indica la presencia de redundancia en los ítems. Con base a esta explicación, se lleva a cabo la determinación del rango de confiabilidad, el cual se presenta en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Criterio de Fiabilidad

Valor de alfa de Cronbach	
Rango Establecido	Criterio
$a > 0.9$	Existe redundancia
$0.7 < a < 0.89$	Es aceptable
$0.6 < a < 0.69$	Moderado
$0.5 < a < 0.59$	Es débil
$0.4 < a < 0.49$	Cuestionable
$a < 0.39$	Es inaceptable

*Fuente:* Elaborado por autor basado en (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Se consigue que la ponderación de los datos fue realizada correctamente, debido a que, según los criterios de fiabilidad, el Alfa de Cronbach está en un rango

considerado como aceptable (0.7 a 0.89) para los resultados obtenidos del cuestionario en base a las variables establecidas (dinámica de sistemas y cadena productiva).

### **3.1.2. Verificación de la hipótesis o fundamentación de las preguntas de investigación.**

El análisis de varianza (ANOVA), que es una técnica robusta y ampliamente utilizada en diseños de investigación experimental, sin embargo, puede adaptarse a diferentes diseños de investigación, incluso en estudios no experimentales donde la manipulación de variables es limitada. Estos diseños de investigación permiten evaluar las diferencias significativas entre las medias de varios grupos, pero se debe considerar interpretar los resultados con cautela (Tabachnick & Fidell, 2007).

Por lo tanto, para respaldar las hipótesis planteadas, se empleó el análisis de varianza ANOVA para examinar las variaciones de la media en relación con las dos variables (variable dependiente y variable independiente) determinando si existen diferencias significativas entre los grupos bajo análisis.

#### **3.1.2.1. Planteamiento de la hipótesis**

##### **Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):**

El modelo de dinámica de sistemas no resulta aplicativo para la optimización de la cadena productiva del maíz en el cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena.

##### **Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>):**

El modelo de dinámica de sistemas resulta aplicativo para optimización de la cadena productiva del maíz en el cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena.

#### **3.1.2.2. Comprobación de hipótesis mediante análisis de varianza ANOVA**

Se corroboraron las hipótesis mediante el análisis de varianza (ANOVA), utilizada en el diseño de experimentos con datos cuantitativos derivados de las diversas opciones de respuesta.

##### **Condición de decisión**

- Se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) cuando el número de Fisher calculado (F<sub>c</sub>) es igual o menor a Fisher tabulado (F<sub>t</sub>).

$$H_0 = F_c \leq F_t$$

- Se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) cuando el número de Fisher calculado ( $F_c$ ) es igual o mayor a Fisher tabulado ( $F_t$ ).

$$H_a = F_c \geq F_t$$

### Desarrollo de Análisis de Varianza

Mediante el programa SPSS 25 se obtienen los estadísticos correspondientes para el desarrollo del análisis de varianza que son el número de datos, la sumatoria de los resultados, el promedio, la desviación y la suma de cuadrados.

*Tabla 19. Cálculo de datos para ANOVA*

RESUMEN				Alpha	0,05
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Desviación	SS
P.1	35	69	1,97	1,224	50,97
P.2	35	102	2,91	1,011	34,74
P.3	35	88	2,51	0,742	18,74
P.4	35	103	2,94	0,873	25,89
P.5	35	102	2,91	1,011	34,74
P.6	35	112	3,20	0,797	21,60
P.7	35	96	2,74	0,817	22,69
P.8	35	175	5,00	0,000	0,00
P.9	35	77	2,20	1,106	41,60
P.10	35	159	4,54	1,291	56,69
P.11	35	59	1,69	1,530	79,54
P.12	35	163	4,66	1,136	43,89
P.13	35	159	4,54	1,291	56,69
P.14	35	74	2,11	1,132	43,54
<b>TOTAL</b>		<b>1538</b>			<b>531.31</b>

*Fuente: Elaborado por autor mediante SPSS 25.*

### **Cálculo de Suma de Cuadrados**

$$SS(\text{entre grupos}) = SS(\text{Dentro de grupos}) - \text{Total de Suma de Cuadrados}$$

$$SSG(\text{entre grupos}) = 531.31 - 1084.561 = 553.25$$

$$SSE(\text{Dentro de grupos}) = \text{Total de Suma de Cuadrados} = 531.31$$

$$SS(\text{Total}) = \text{Desviación de todos los datos} = 1084.563$$

### **Cálculo de cuadrado medio**

$$MSG(\text{entre grupos}) = \frac{SSG(\text{entre grupos})}{gl(\text{entre grupos})} \gg \frac{553.25}{14 - 1} = \frac{553.25}{13} = 42.5576$$

$$MSE(\text{Dentro de grupos}) \gg \frac{SSE(\text{dentro de grupos})}{gl(\text{dentro de grupos})} = \frac{531.31}{489 - 13} = \frac{531}{476} \\ = 1.1162$$

$$gl(\text{total}) \gg \text{total de todos los datos} - 1$$

$$gl(\text{total}) \gg 490 - 1 = 489$$

$$MS(\text{total}) \gg \frac{SS(\text{Total})}{gl(\text{total})} = \frac{1084.56}{489} = 2.2179$$

### **Prueba de Fisher (Fc)**

$$F_c \gg \frac{MSG(\text{entre grupos})}{MSE(\text{Dentro de grupos})} = \frac{42.5576}{1.1162} = 38.127$$

### **Probabilidad**

*Distribución F doble cola*

$$= (F_c; gl(\text{entre grupos}); gl(\text{dentro de los grupos}))$$

$$= 1.95 \times 10^{-65}$$

### **Valor crítico de F**

Se obtiene mediante la tabla de distribución con alfa igual a 0.95 en la que se obtiene el valor de 1.7407

Con todos los datos ya obtenidos se presenta de forma agrupada los cálculos desarrollados en la Tabla 20, para posteriormente realizar la comparación con el valor crítico para Fisher.

**Tabla 20. Datos de ANOVA con Fisher calculado**

<b>Análisis De Varianza</b>						
<i>Origen De Las Variaciones</i>	<i>Suma De Cuadrados</i>	<i>Grados De Libertad</i>	<i>Promedio De Los Cuadrados</i>	<i>Fc</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor Crítico Para F</i>
<b>Entre Grupos</b>	553,25	13	42,557614	38,127008	1,946e-65	1,7407455
<b>Dentro De Los Grupos</b>	531,31	476	1,1162065			
<b>Total</b>	1084,5633	489	2,2179208			

*Fuente: Elaborado por autor mediante SPSS 25.*

Ya obtenido el valor F de Fisher mediante el cálculo de análisis de varianza desarrollado se obtiene un Fc igual de 38.127 y el valor crítico de F (Fc) es de 1.7407, en la que se afirma que:

- En caso de que el valor calculado ( $F_c = 38.127 < F$  del valor crítico de la tabla de distribución ( $F_t = 1,7407$ ), se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se excluye la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).
- En situación contraria, si el valor calculado ( $F_c = 38.127 > F$  del valor crítico de la tabla de distribución ( $F_t = 1,7407$ ), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se considera la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Mediante este sentido, se evidenció que el valor Fc es mayor a Ft (valor crítico) de la tabla de distribución F, es decir, que se confirma el rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), que tiene como expresión:

“El modelo de dinámica de sistemas resulta aplicativo para la optimización de la cadena productiva del maíz en el cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena.”

## **3.2. Propuesta de mejora**

### **3.2.1. Tema**

PROPUESTA DE UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL MAÍZ EN EL CANTÓN DE SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA.

### **3.2.2. Introducción**

En América Latina, las entidades públicas están enfocando sus esfuerzos en fortalecer las cadenas productivas, debido a que contar con una cadena sólida favorece la cooperación entre los actores involucrados, lo que a su vez conduce a tener una mayor competitividad empresarial (Reyes et al., 2021).

Actualmente, la competencia entre naciones ya no se centra exclusivamente en los productos, sino más bien en los sistemas productivos, especialmente en los modelos de integración, donde la estrategia en el ámbito de los productos agroalimentarios busca optimizar la eficiencia de la cadena productiva, facilitando una integración y participación más efectivas que implica la reducción de costos de transacción, asegurando suministros confiables en términos de calidad y tiempo para insumos o productos, con el fin de lograr una mayor competitividad para todos los participantes de la cadena (García-Peña et al., 2012).

Por lo tanto, para garantizar un desarrollo sostenible de la agricultura es necesario un enfoque que integre los aspectos económicos, productivos, sociales y ambientales, el cual debe promover la capacidad de autoconocimiento de las comunidades rurales y la integración de los procesos con las prácticas agrícolas que incluirá a una mayor productividad. Hasta ahora se ha utilizado el enfoque de la dinámica de sistemas en el ámbito agrícola con el fin de posibilitar la comparación de los aspectos mencionados permitiendo así una perspectiva global en lugar de enfocarse en detalles específicos (Choy-Zevallos, 2016).

En la actualidad, el progreso tecnológico ha simplificado el desarrollo de modelos y simulaciones con dinámica de sistemas mediante softwares, que con el tiempo han evolucionado para proporcionar soporte no solo a la simulación, sino también al modelado y análisis de sensibilidad, adaptándose a las necesidades

específicas de los usuarios. Algunos de los softwares más utilizados en el ámbito académico y empresarial son: anylogic, evolución, ithink/stella, powersim, simile y vensim (Andrade-Sosa et al., 2011).

La producción del maíz, según estudios realizados por expertos a nivel internacional, se prevé que experimentará un crecimiento del 25%, alcanzando una cifra de 1.191 millones de toneladas para el año 2026, tal crecimiento de producción se atribuye al aumento de la población mundial en 3000 millones de personas previsto para el año 2050 (Tanklevska et al., 2020).

A pesar del gran impacto de la producción del maíz, esta cadena productiva se enfrenta a diversos desafíos que impactan negativamente su productividad, entre estos factores incluyen los cambios climáticos, las enfermedades y plagas del cultivo, falta de semillas certificadas, así como también problemas relacionados con la comercialización (M. Caviedes-Cepeda et al., 2022).

Es decir, que las cadenas de producción agrícolas considerados como sistemas complejos, generalmente se ven afectados por una variedad de factores que limitan su desarrollo, por lo tanto, la aplicación de la dinámica de sistemas se presenta como una herramienta valiosa para examinar el comportamiento y las ramificaciones de estas interacciones complejas. Este enfoque facilita el análisis de patrones no lineales a lo largo del tiempo mediante la utilización de flujos, retroalimentaciones, y demoras temporales a través de la utilización de ecuaciones diferenciales (Anacona-Mopan et al., 2023).

Cabe mencionar que la cadena productiva del maíz tiene un gran impacto en el progreso económico de la Provincia de Santa Elena, por ende resulta fundamental identificar mediante la dinámica de sistemas, los factores más influyentes para optimizar la cadena productiva a largo plazo, promoviendo cultivos con rendimientos superiores en productividad, donde los productores deben considerar los elementos que impactan directamente el cultivo, así mismo reconocer aquellos que inciden en los distintos eslabones de la cadena productiva.

### **3.2.3. Metodología**

Para el desarrollo de la propuesta se inició con un análisis sistemático de la cadena productiva del maíz en el Cantón de Santa Elena para identificar cada una de

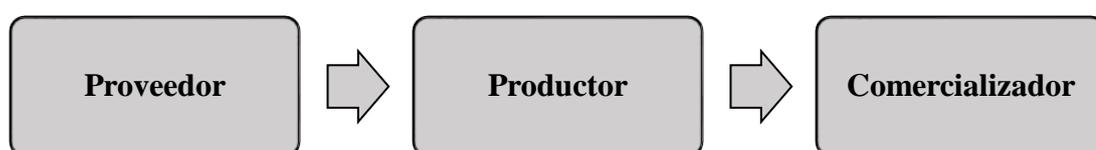
las interacciones que existen en los diferentes componentes de la cadena, que fueron representadas mediante un diagrama de bucle causal y un diagrama de Forrester desarrollado en el software Anylogic, en el que cada componente pasó a ser una variable de la cadena productiva para posteriormente convertirse en un sistema dinámico.

Por ende, se llevó a cabo el modelo de dinámica de sistemas, desarrollando las cinco fases propuestas por Sterman, (2000) citado por (Castro-Mercado et al., 2021);(Sembiring & Sipayung, 2020);(Suryani, Dewi, et al., 2019), que consiste en:

### **3.2.3.1. Identificación y articulación del problema**

Para este estudio, la cadena productiva del maíz se encuentra dividida en tres subsistemas funcionales: subsistema de proveedor, subsistema de productor y subsistema de comercializador, estos componentes sirven como base para analizar la situación actual del sistema.

*Figura 35. Subsistemas de la cadena productiva del maíz*



*Fuente: Elaborado por autor.*

#### **1) Subsistema de proveedores**

En el subsistema de proveedores se consideran las interacciones entre las variables que son fundamentales para la producción de maíz, dentro de estas variables se encuentran los insumos tales como: herbicidas, fertilizantes y semillas.

Estos elementos desempeñan un papel importante en el proceso de producción: los herbicidas permiten eliminar las malezas que ocasionan enfermedades al cultivo y son aplicados antes de la siembra, entre estos están el glifosato con dosis de 2 a 3 l/ha. atrazina 1 a 1,5 kg/ha y pendimetalin 3 l/ha.

Los fertilizantes proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, generalmente se llevan a cabo tres fertilizaciones; en el primero se coloca 4

sacos a la siembra, luego 2 sacos después de 20 días, colocados en banda al costado de la planta y 2 sacos más a los 60 días antes de la floración (INIAP, 2023).

Las semillas representan la base genética de la cosecha por ende se emplean híbridos de alto rendimiento, utilizando 15 kg de semillas que corresponden a 60000 semillas por hectáreas de maíz, estas son desinfectadas con 8 a 10 cc/kg dosis de thiodicarb antes de sembrarse. Se coloca una semilla por sitio a una distancia de 80 cm entre hileras y 20 cm por plantas, obteniendo 62500 plantas por hectáreas, en otros sectores prefieren colocar 2 semillas por sitio a una distancia de 80 cm entre hileras y 50 cm por plantas, obteniendo 50000 plantas por hectáreas (INIAP, 2023).

Actualmente los productores del cantón de Santa Elena adquieren estos insumos de locales como Agro servicios, Quimasa y AGRIPAC, por lo tanto, la selección, adquisición y suministro eficiente de estos insumos garantizarán un rendimiento óptimo de la producción del maíz, destacando la importancia estratégica de la gestión integral de los proveedores en este subsistema.

## **2) Subsistema de productores**

El submodelo productor representa las interacciones entre las diferentes variables que afectan a la producción de maíz que se da en dos épocas del año; en la época lluviosa de enero a febrero después de las tres primeras lluvias empezando el invierno y en la época seca, en los meses de mayo y junio en terrenos húmedos, con suelos francos de buen drenaje, a una precipitación de 600 a 800 mm por ciclo, temperatura de 21 a 27 °C y altitud de 400 a 1400 msnm (INIAP, 2023).

Las variables de este subsistema abarcan desde la superficie de plantación y el área cosechada, hasta factores ambientales significativos como el cambio climático y desafíos específicos como las plagas y enfermedades que pueden afectar al cultivo. Entre las plagas que comúnmente se presenta están los gusanos cogolleros que se alimentan de las hojas de 4 a 60 días de edad, cortan la base del tallo y evitan el crecimiento de la planta, necesitando de control químico para evitarlos.

Este submodelo también requiere de constantes o parámetros, cuyos valores se mantuvieron fijos durante el análisis del modelo, entre estas constantes, se destaca el aumento porcentual de la superficie de siembra que influyen directamente en la expansión de producción, el porcentaje de conversión de tierra que incide en la

eficiencia de la utilización del suelo, y el tiempo de crecimiento de las plantaciones, el cual es un factor determinante en el ciclo y desarrollo de los cultivos.

Tales consideraciones, resaltan la necesidad de una comprensión detallada y una gestión efectiva de estas variables y constantes para lograr obtener proyecciones precisas en el submodelo de productor.

### **3) Subsistema de comercializadores**

La producción del maíz se centra en atender diversas demandas y usos estratégicos, principalmente se destina a la venta como alimento avícola satisfaciendo las necesidades de actores claves en la industria avícola como el Grupo Mayorca y Agripac. También se aprovecha como ensilaje direccionado al ganado bovino, como mazorcas para consumo humano y así mismo otra parte es dirigida a las necesidades y demanda de la sierra ecuatoriana. Es decir que el subsistema del comercializador está influenciado por las preferencias cambiantes de los consumidores, este modelo no solo se utilizó para analizar el cambio que puede existir en la demanda y el consumo, sino que también aborda de manera integral el impacto del crecimiento población en dichas variables.

Por ende, el aumento demográfico, directamente vinculado a la tasa de mortalidad de la población, interviene como un factor determinante, ya que a medida que a medida que la población crece, se anticipa un incremento en la demanda de maíz, impulsado por un aumento en el consumo, por el contrario, una disminución en la mortalidad de la población tiene un efecto opuesto al reducir la demanda.

Estas interrelaciones entre el crecimiento poblacional, las preferencias del consumidor y la mortalidad permiten un análisis detallado en el subsistema del comercializador para adaptarse a los cambios dinámicos en el mercado del maíz.

#### **3.2.3.2. Hipótesis dinámica**

A partir de las relaciones identificadas anteriormente, se formula la hipótesis dinámica que permite describir como el sistema evoluciona y como se pueden optimizar las variables para la cadena productiva del maíz, por lo tanto, la hipótesis dinámica es la siguiente:

Se presentó una relación positiva y dinámica entre la productividad del maíz, vista como el rendimiento de 6,37 t/ha, que se mantiene en un rango de 46% a 65% considerado como bajo, la producción total de 37073 ton y un consumo per cápita de 0.0145 ton/año (MAG, 2022) ; (Zambrano et al., 2021). Por lo que se espera que un aumento en la productividad al 100% considerado como excelente, conduzca directamente a un incremento en el consumo de maíz, satisfaciendo la demanda actual.

**Tabla 21.** Rango de productividad

<b>Productividad</b>	<b>Rango en Porcentaje</b>
Muy Baja	10 % a 45 %
Baja	46 % a 65 %
Promedio o normal	66 % a 85 %
Muy buena	86 % a 95 %
Excelente	96 % a 100 %

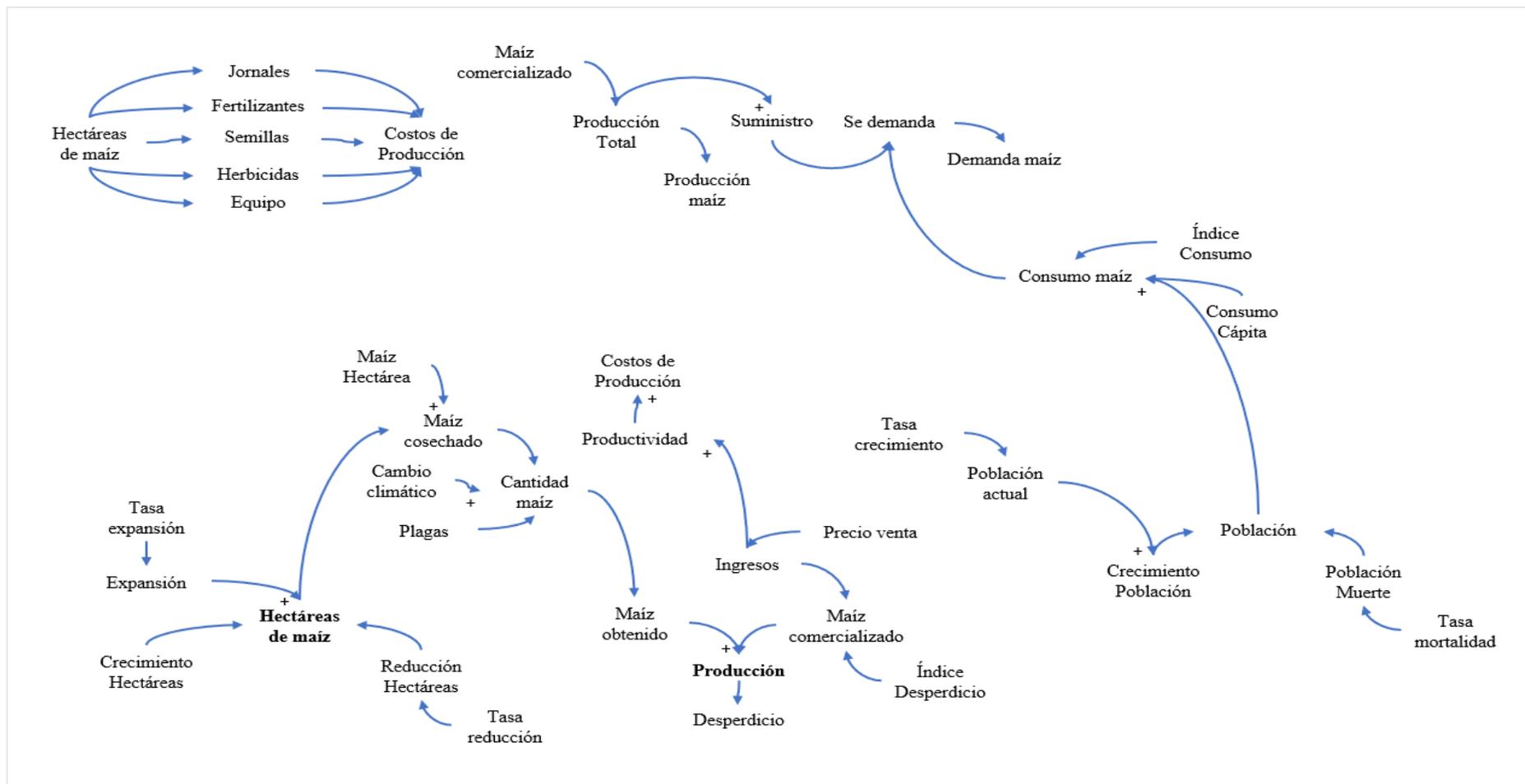
*Fuente: Elaborado por autor*

Se hipotetiza que el aumento en la producción total de maíz, resultado del incremento en la productividad y el acrecentamiento en el área de producción, permitirá mayores ingresos para los productores, tal efecto positivo en los ingresos actuará como un factor de retroalimentación, incentivando más la eficiencia y la expansión de la producción.

Por lo tanto, a medida que el área de plantación aumente se genera mayor demanda de consumo, ya que la disponibilidad de maíz se amplía, esta relación dinámica y positiva entre la expansión del área de plantación y la demanda de consumo contribuirá a optimizar la cadena productiva del maíz, impulsando la eficiencia, los ingresos y la sostenibilidad a lo largo del tiempo.

Esta hipótesis se complementó mediante un diagrama de bucle causal presentado en la figura 36.

**Figura 36.** Diagrama de Bucle Causal de la cadena productiva del maíz.



*Fuente: Elaborado por autor.*

### 3.2.3.3. Formulación del Modelo de Simulación

Mediante el diagrama causal no es posible observar el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo, por lo tanto, en esta etapa de formulación del modelo de simulación se describen en las tablas 22 y 23 las principales variables que intervienen en la cadena productiva del maíz y que posteriormente fueron representados en un diagrama de flujos de existencias o diagrama de Forrester mediante el software Anylogic, utilizando las relaciones establecidas en la hipótesis dinámica, tal enfoque permitió realizar simulaciones preliminares con el propósito de obtener resultados prácticos.

**Tabla 22.** Descripción de las variables

<b>Variables</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tipo</b>
Costos Producción	Jornales + Fertilizante + Semillas + Abono + Equipo	\$/ha	Variable
Fertilizantes	Hectáreas*300	\$/ha	Variable
Jornales	Hectáreas*200	\$/ha	Variable
Semillas	Hectáreas*350	\$/ha	Variable
Herbicidas	Hectáreas*200	\$/ha	Variable
Equipo	Hectáreas*100	\$/ha	Variable
Hectáreas	Crecimiento hectáreas	\$/ha	Stock
Crecimiento hectáreas	Expansión	ha	Flujo
Expansión	Hectáreas*Tasa expansión	ha	Variable
Tasa Expansión	0.10		Parámetro
Reducción hectáreas	Hectáreas*Tasa reducción	ha	Flujo
Tasa Reducción	0.07		Parámetro
Maíz cosechado	Hectáreas*maíz hectárea	qq/ha	Variable
Cantidad maíz	Maíz cosechado – Maíz cosechado*Cambio climático*Plagas	qq/ha	Variable
Plagas	0.15		Parámetro

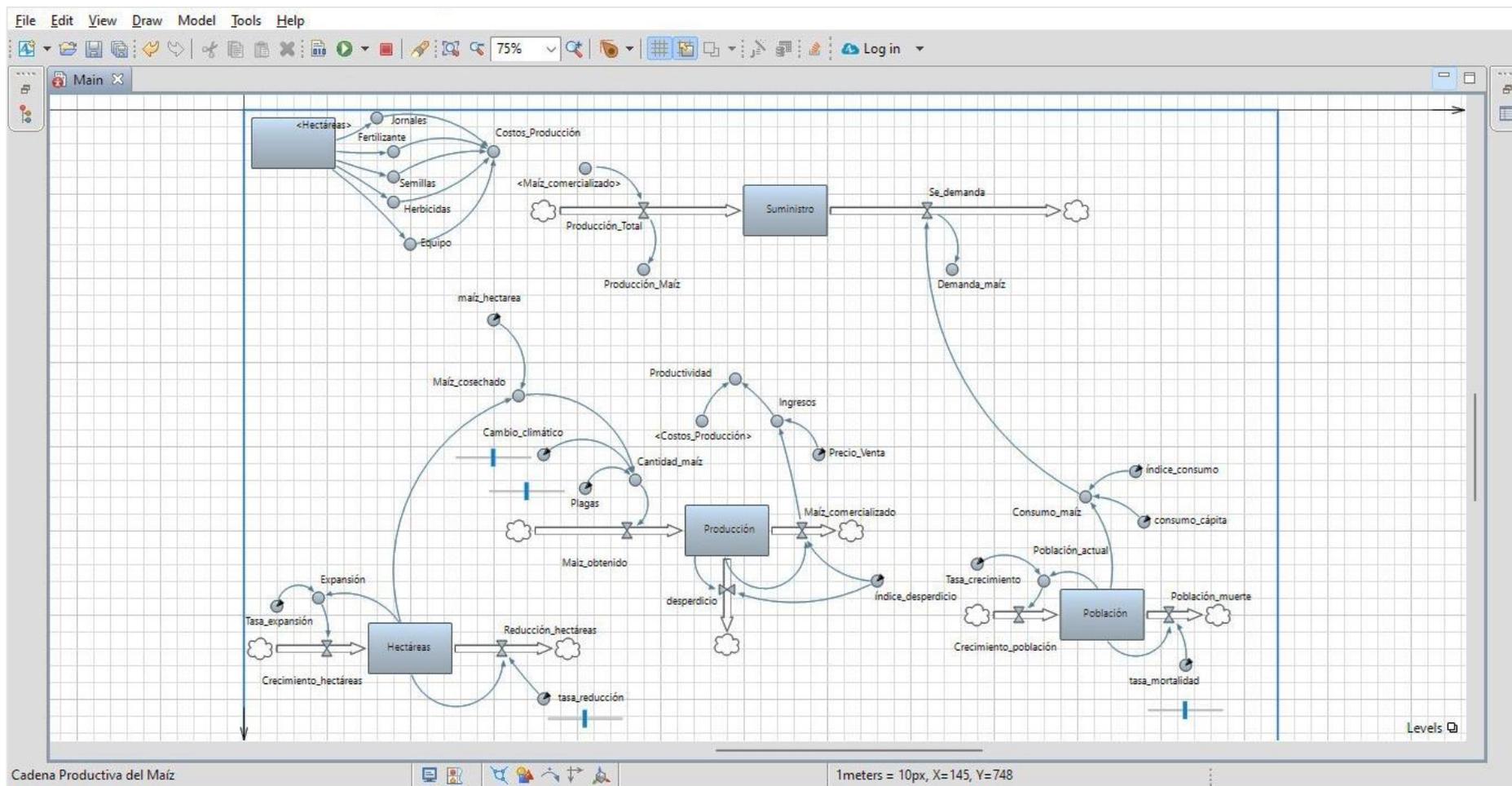
**Fuente:** Elaborado por autor.

**Tabla 23.** Descripción de las variables (continua anterior)

<b>Variables</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tipo</b>
Cambio climático	0.2		Parámetro
Maíz obtenido	Cantidad maíz	qq/ha	Flujo
Producción	5820 + maíz obtenido	qq/ha	Stock
Desperdicio	Producción*índice desperdicio		Flujo
Índice desperdicio	0.04		Parámetro
Maíz comercializado	Producción - Producción*índice desperdicio	qq/ha	Flujo
Ingresos	Maíz comercializado*Precio Venta	\$/qq	Variable
Precio Venta	\$17,00	\$/qq	Parámetro
Productividad	180	qq/ha	Variable
Producción Total	Maíz comercializado	qq/ha	Flujo
Suministro	Producción Total	qq/ha	Stock
Demanda de maíz	Consumo maíz		Variable
Consumo maíz	Población*índice consumo*consumo cápita		Variable
Índice consumo	0.9		Parámetro
Consumo cápita	0.0145	ton/año	Parámetro
Población	10000 + Crecimiento población	Personas	Stock
Crecimiento población	Población actual	Personas	Flujo
Población actual	Población*Tasa crecimiento	Personas	Variable
Tasa crecimiento	0.10		Parámetro
Población muerte	Población*Tasa mortalidad	Personas	Flujo
Tasa mortalidad	0.04		Parámetro

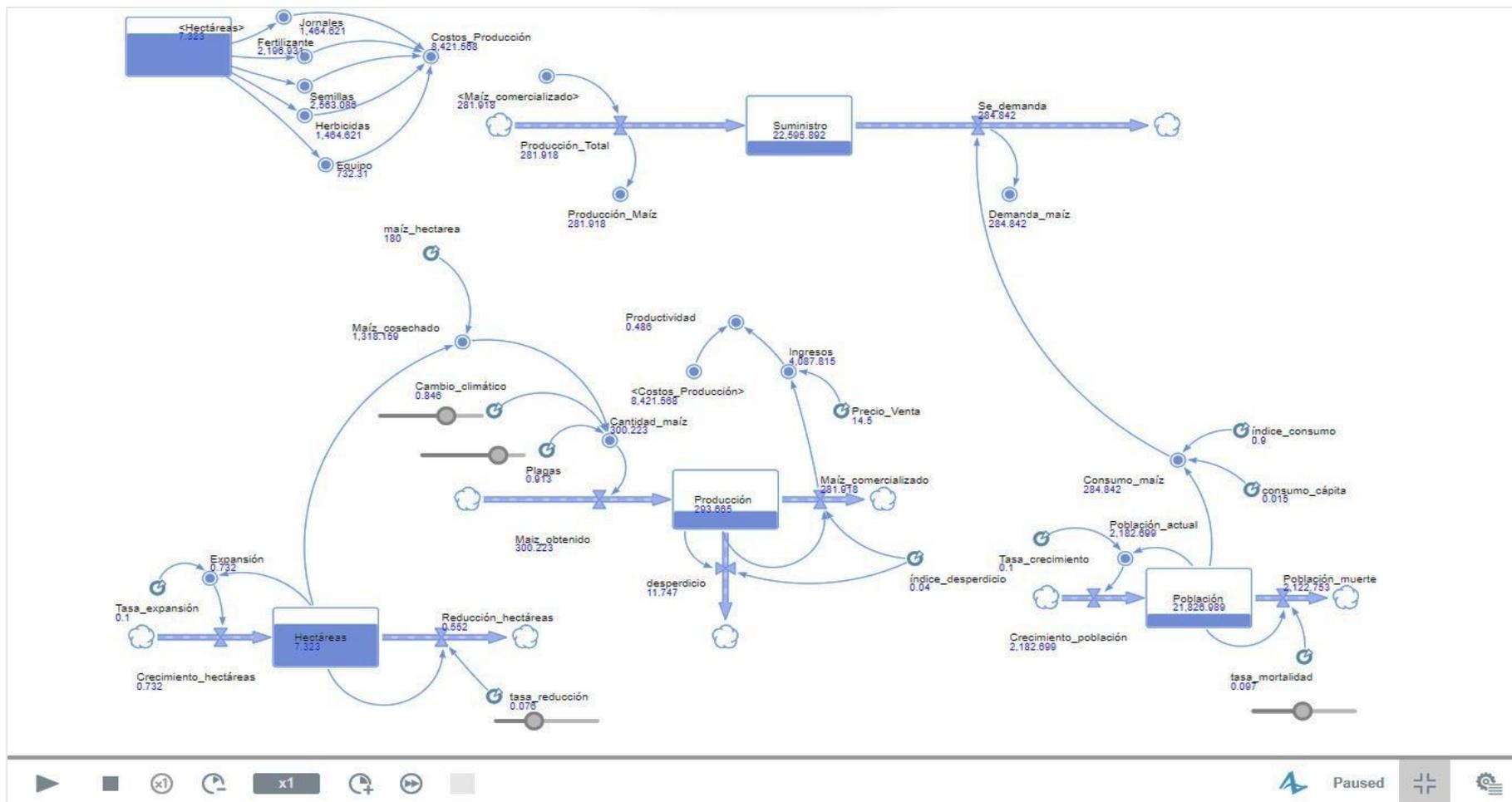
*Fuente: Elaborado por autor.*

**Figura 37.** Diagrama de Forrester de la cadena productiva de maíz en Anylogic.



**Fuente:** Elaborado por autor mediante software Anylogic.

Figura 38. Simulación de la cadena productiva de maíz en Anylogic.



Fuente: Elaborado por autor mediante software Anylogic.

En la tabla 24, se presenta los resultados obtenidos mediante la simulación de la cadena productiva del maíz en cuanto a la superficie cosechada, producción, costos de producción e ingresos anuales para los próximos 10 años, teniendo en cuenta una productividad de 18 ton/ha y un precio de venta de 17\$.

**Tabla 24.** Resultados de la simulación para los próximos 10 años

Año	Superficie Cosechada	Producción Anual	Costos de Producción Anual	Ingresos
2023	5959	107262	\$ 6.554.900,00	\$1.823.454,00
2024	6098	109764	\$ 6.707.800,00	\$1.865.988,00
2025	6237	112266	\$ 6.860.700,00	\$1.908.522,00
2026	6376	114768	\$ 7.013.600,00	\$1.951.056,00
2027	6515	117270	\$ 7.166.500,00	\$1.993.590,00
2028	6654	119772	\$ 7.319.400,00	\$2.036.124,00
2029	6793	122274	\$ 7.472.300,00	\$2.078.658,00
2030	6932	124776	\$ 7.625.200,00	\$2.121.192,00
2031	7071	127278	\$ 7.778.100,00	\$2.163.726,00
2032	7210	129780	\$ 7.931.000,00	\$2.206.260,00

*Fuente:* Elaborado por autor.

#### 3.2.3.4. Validación del modelo

El proceso de validar modelos en dinámica de sistemas es fundamental para asegurar una mayor confiabilidad en las estrategias y políticas derivadas de estos modelos, la validación de un modelo no puede ser completamente objetiva, cuantitativa o formal, ya que su validez se evalúa en función de su utilidad. Evaluar la validez de la estructura interna de un modelo presenta desafíos filosóficos y técnicos, por tanto, no existe un procedimiento único establecido para su respectiva validación (Valencia-Arias & Obando-Montoya, 2012).

Posterior, a la simulación de la cadena productiva en Anylogic, se procedió a validar el modelo propuesto, realizándose una prueba de validez de comportamiento, en el cual se comparó las medias y variaciones de amplitud con datos relacionados a la producción y superficie cosechada del maíz durante el periodo de 2018 al 2022, presentados en la tabla 25 donde se mejoró la productividad a 18 ton/ha con respecto a los datos reales.

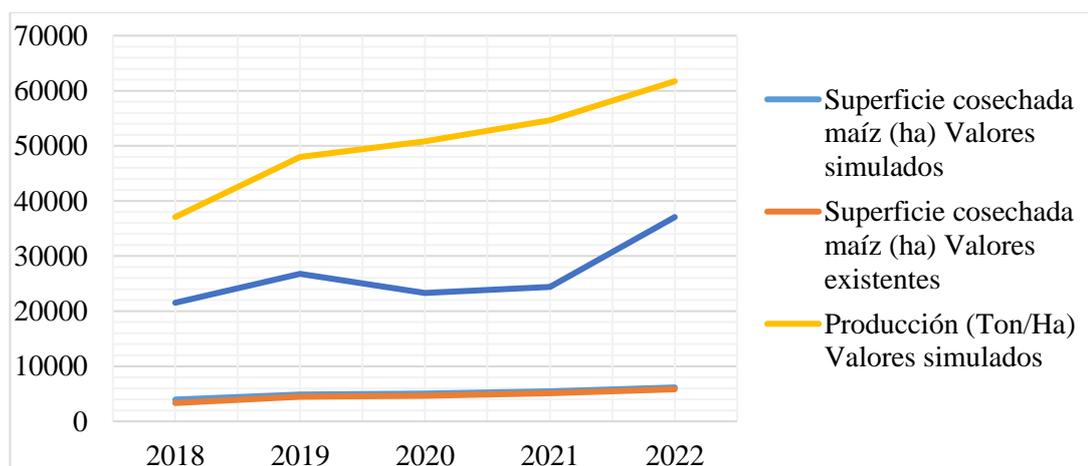
**Tabla 25.** Errores simulados de la superficie cosechada y producción de maíz

Año		2018	2019	2020	2021	2022
Superficie cosechada maíz (ha)	Valores simulados	3960	4864	5035	5442	6156
	Valores existentes	3326	4467	4646	5081	5820
	Error	0,191	0,089	0,084	0,071	0,058
Producción (Ton/Ha)	Valores simulados	37.090	48.001	50.808	54.627	61.729
	Valores existentes	21.528	26.802	23.305	24.395	37.073
	Error	0,723	0,791	1,18	1,24	0,67

*Fuente:* Elaborado por autor, basado en (MAG, 2022).

En la figura 39, se muestra la evolución de la superficie cosechada y producción de maíz en el Cantón de Santa Elena con respecto a los años 2018 al 2022, demostrando un aumento significativo en los últimos años. En relación con la verificación de la idoneidad del modelo de dinámica de sistemas representada mediante la comparación de los valores simulados con los valores reales, se evidencia un margen de error dentro del 10% lo cual demostró la eficacia del modelo desarrollado (Mingxue et al., 2023).

**Figura 39.** Superficie cosechada y producción de maíz



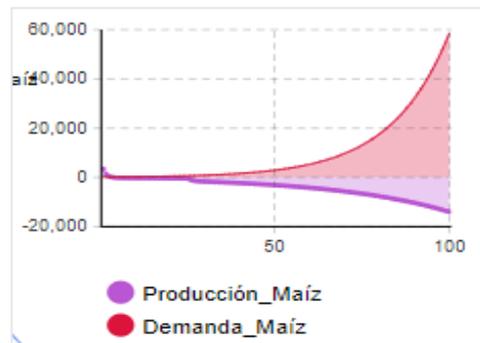
*Fuente:* Elaborado por autor, basado en (MAG, 2022).

### 3.2.3.5. Formulación de políticas y evaluación.

En la etapa de formulación de políticas y evaluación se propuso la creación de tres escenarios en un periodo de 10 años para analizar y prever las consecuencias de modificaciones tanto internas como externas, realizando simulaciones bajo condiciones controladas a fin de desarrollar estrategias favorables para el sistema. En este contexto los tres escenarios mencionados se presentan a continuación:

En la figura 40, se demuestra que el escenario actual de la cadena productiva presenta una producción decreciente a lo largo del tiempo debido al incremento de plagas y cambios climáticos, los cuales impiden satisfacer la demanda actual.

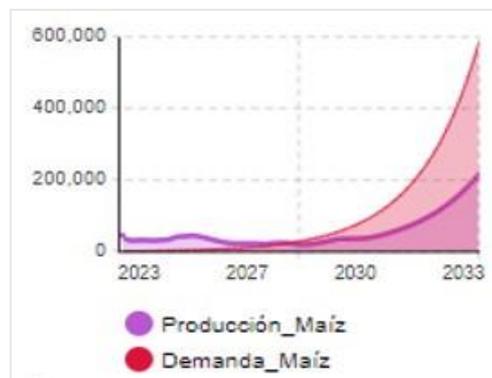
**Figura 40.** Escenario base



**Fuente:** Elaborado por autor mediante software Anylogic.

Se considera que la cadena productiva no es sostenible por lo cual es necesario buscar escenarios que permitan incrementar la producción. Una reducción en los costos puede beneficiar a los agricultores, pero no es suficiente implementar esta política, debido a que la productividad seguirá decreciendo.

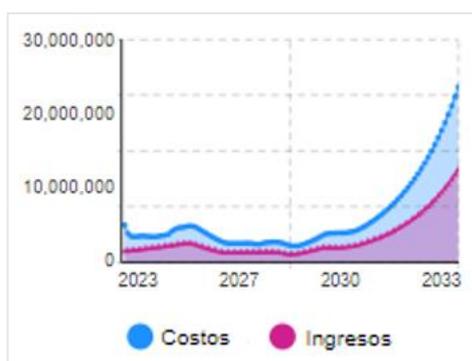
**Figura 41.** Incremento de la productividad



**Fuente:** Elaborado por autor mediante software Anylogic.

En la figura 41, el aumento de la productividad al 100 % se plantea como una estrategia viable que permitirá un aumento constante de la producción del maíz a lo largo del tiempo. Se demuestra que durante los próximos 10 años, mantener una mejora constante en el rendimiento de la cadena productiva se puede responder de manera efectiva al crecimiento de la demanda, que permitirá no solo cubrir la demanda actual sino también anticiparse y satisfacer las necesidades futuras.

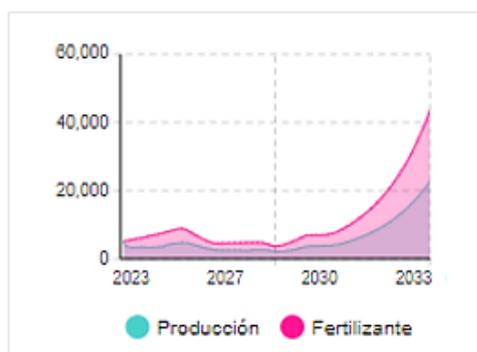
**Figura 42.** Escenario 2 - Analizar el impacto de los aspectos económicos.



**Fuente:** Elaborado por autor mediante software Anylogic.

El incremento de la productividad presentado en la figura 42, no solo conlleva un aumento en la cantidad de producción, sino que también permite obtener mayores ingresos económicos, aunque aumentar la producción requiere de costos mayores o adicionales, es posible que los costos sean compensados con el incremento de la producción.

**Figura 43.** Escenario 3 – Analizar el impacto de los aspectos ambientales.



**Fuente:** Elaborado por autor mediante software Anylogic.

En la figura 43, el aumento de la producción de maíz conlleva ciertos riesgos, entre ellos, el incremento de plagas y enfermedades que pueden afectar adversamente

los cultivos. Para contrarrestar tales riesgos, generalmente se recurre al aumento del uso de fertilizantes, estos productos químicos pueden fortalecer los cultivos y mejorar su resistencia a tales enfermedades. Sin embargo, es importante destacar que el uso excesivo de fertilizantes podría ocasionar consecuencias ambientales negativas como la contaminación del suelo y del agua, por lo tanto, la aplicación excesiva de fertilizantes debe manejarse con precaución.

### 3.2.4. Presupuesto

Para llevar a cabo este proyecto de investigación, se tomó en cuenta el salario mínimo sectorial vigente en el año 2023, conforme a las directrices establecidas por el IESS (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social), en cuanto al costo de la licencia del software, se obtuvo mediante una cotización directa con el servidor.

En la tabla 26, se presenta el presupuesto estimado para la elaboración e implementación de la propuesta de modelo de dinámica de sistemas para la cadena productiva del maíz, donde se detallan cada uno de los rubros correspondientes.

*Tabla 26. Presupuesto*

<b>Rubro / Partida</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Honorarios de Consultoría	Mes	5	\$ 615,00	\$ 3.075,00
Suministros de Oficina	Mes	5	\$ 28,00	\$ 140,00
Costos de Transporte	Mes	5	\$ 50,00	\$ 250,00
Viáticos De Alimentación	Mes	5	\$ 94,00	\$ 470,00
Depreciación De Equipo	Mes	5	\$ 35,00	\$ 175,00
Conectividad a Internet	Mes	5	\$ 35,00	\$ 175,00
Costos de Electricidad	Kwh	125	\$ 0,09	\$ 11,25
Impresiones y Fotocopias	Mes	5	\$ 10,00	\$ 50,00
Plan de Capacitación	Mes	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Instalación de Software	Unidad	1	\$6.200,00	\$ 6.200,00
Adquisición de Datos	Mes	5	\$ 10,00	\$ 50,00
Adquisición de Espacio	Unidad	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Soporte Técnico	Unidad	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Costos de Modelado	Unidad	1	\$ 500,00	\$ 500,00
<b>Subtotal</b>				\$11.341,25
<b>Imprevistos 5%</b>				\$ 567,06
<b>Total</b>				\$11.908,31

*Fuente: Elaborado por autor.*

Luego de haber obtenido el total de inversión de la propuesta, se procedió a realizar los respectivos cálculos de las herramientas financieras, a partir de los aportes que obtienen los productores al aplicar la propuesta, detallado en la tabla 27.

**Tabla 27. Aportes por productor**

	Con Propuesta	Sin Propuesta	Diferencia
Producción Anual (quintal)	\$ 1.440,00	\$ 509,60	930,4
Productividad (quintal/ha)	180,00	63,70	116,30
Precio de venta (quintal)	\$ 17,00	\$ 17,00	\$ 17,00
Costos de producción (ha)	\$ 2.400,00	\$ 2.000,00	\$ 400,00
Inversión inicial	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
Costo de operación anual	\$ 7.400,00	\$ 7.000,00	\$ 5.400,00
Ingresos anual por venta	\$ 24.480,00	\$ 8.663,20	\$ 15.816,80
Ganancias o Utilidad	\$ 17.080,00	\$ 1.663,20	\$ 10.416,80

*Fuente: Elaborado por autor.*

Para realizar el flujo de caja anual, se tomó en cuenta la diferencia de la producción anual por venta y el precio de venta por quintales detallados en la tabla 28.

**Tabla 28. Ingreso anual**

DENOMINACIÓN	VALOR
Producción Anual (quintal)	930,4
Precio de venta (quintal)	\$ 17,00
Ingresos anual por venta	\$ 15.816,80

*Fuente: Elaborado por autor.*

Posteriormente, en la tabla 29 se presenta un desglose de los costos y gastos anuales del productor, teniendo en cuenta que los productores tienen un total de inversión de \$5000.

**Tabla 29. Costos y Gastos anuales**

DENOMINACIÓN	VALOR
Inversión Inicial	\$ 5.000,00
Costos de producción (ha)	\$ 400,00
Costo de operación anual	\$ 5.400,00

*Fuente: Elaborado por autor.*

Para obtener la utilidad anual del productor presentada en la tabla 30, se realizó la diferencia entre los ingresos anuales por venta y el costo de operación anual del productor.

**Tabla 30. Utilidad anual**

DENOMINACIÓN	VALOR
Ingresos anual por venta	\$ 15.816,80
Costo de operación anual	\$ 5.400,00
Utilidad	\$ 10.416,80

*Fuente: Elaborado por autor.*

En la tabla 31, se detalla la depreciación de los vehículos que poseen los productores, que son un camión y un tractor valorado en \$1000 y \$600.

**Tabla 31. Depreciación de vehículos**

DENOMINACIÓN	COSTO	AÑOS DE VIDA ÚTIL	DEPRECIACIÓN ANUAL
Camión	\$ 10000	5	\$ 2000
Tractor	\$ 6000	5	\$ 1200
Depreciación Total			\$ 3200

*Fuente: Elaborado por autor.*

Para calcular los ingresos anuales por producción de los posteriores años, se parte de la premisa de que la producción anual por productor y por quintales oscila entre 930 a 1200 qq, detallados en las tablas 32 y 33.

**Tabla 32. Ingresos anuales por producción**

AÑO	PRODUCCIÓN	PRECIO DE VENTA	INGRESO ANUAL
2024	930,4	\$ 17,00	\$ 15.816,80
2025	1025,0	\$ 17,00	\$ 17.425,00
2026	1440,0	\$ 17,00	\$ 24.480,00

*Fuente: Elaborado por autor.*

**Tabla 33. Utilidades anuales**

Año	Ingreso Anual	Costo de operación	Utilidad anual
2024	\$ 15.816,80	\$ 5.400,00	\$ 10.416,80

2025	\$ 17.425,00	\$ 5.400,00	\$ 12.025,00
2026	\$ 24.480,00	\$ 5.400,00	\$ 19.080,00

*Fuente: Elaborado por autor.*

A partir de la tabla 34, donde se calcula el flujo de caja anual para los años posteriores, se puede obtener el periodo de recuperación de la inversión detallado en la tabla 35.

**Tabla 34.** Flujo de caja anual para los años posteriores

Denominación	Año		
	2024	2025	2026
Utilidad	\$ 10.416,80	\$ 12.025,00	\$ 19.080,00
(-) Depreciación	\$ 3.200	\$ 3.200	\$ 3.200
Flujo de caja anual	\$ 7.216,80	\$ 8.825,00	\$ 15.880,00

*Fuente: Elaborado por autor.*

**Tabla 35.** Periodo de recuperación de la inversión

Año	Nº	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
2023	0	\$ -11.908,31	0
2024	1	\$ 7.216,80	\$ 7.216,80
2025	2	\$ 8.825,00	\$ 16.041,80
2026	3	\$ 15.880,00	\$ 31.921,80

*Fuente: Elaborado por autor.*

$$PRI = 2 + \frac{\$11908,31 - \$16.041,80}{\$15880,00} = 1,74$$

*PRI = 1 año con 8 meses y 26 días.*

Los rubros utilizados en la tabla anterior permitieron conseguir los respectivos cálculos de las herramientas financieras que se muestran en la tabla 36.

- **VAN (\$):** Valor Actual Neto
- **TIR (%):** Tasa Interna de Retorno
- **Tasa (%) =** Valor por definición 15%

**Tabla 36.** Cálculo de VAN, TIR y PR.

Año	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
2023	\$ -11.908,31	0
2024	\$ 7.216,80	\$ 7.216,80
2025	\$ 8.825,00	\$ 16.041,80
2026	\$ 15.880,00	\$ 31.921,80
VAN		\$11.481,49
TIR		59%

*Fuente:* Elaborado por autor.

Se consideró una tasa de 15% valor por definición mediante el cual se obtuvo el cálculo del valor actual neto (VAN) de \$ 11.481,49 y la tasa interna de retorno (TIR) de 59% utilizando Excel.

Por lo tanto, la implementación del modelo de dinámica de sistemas tiene una inversión de \$11,908,31, que a partir de las ganancias de los productores de \$10.416,80 al aplicar la propuesta, tal inversión podrá recuperarse en 1 año con 8 meses y 26 días, demostrando que antes del segundo periodo se recuperará la inversión inicial del proyecto.

### **3.3. Marco de discusión**

A partir del análisis bibliométrico aplicado para el sustento del tema de estudio en el capítulo I, se obtuvo una comprensión detallada sobre las diversas aplicaciones de la metodología de la dinámica de sistemas, destacando su predominio en investigaciones que abordan el sector agrícola.

En la mayoría de los casos, los autores plantearon el modelo de dinámica de sistemas como una herramienta integral para mejorar los niveles de productividad, permitiendo así aprovechar de mejor manera la demanda de materias primas en la industria general.

En este contexto, el desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas específicamente diseñado para la cadena productiva del maíz fue una herramienta predictiva y de análisis de escenarios que permitió comprender las interrelaciones entre las variables de todo el sistema, facilitando la toma de decisiones acertadas para mejorar la competitividad y sostenibilidad de esta.

El procedimiento metodológico de este estudio se basó en las etapas adaptadas de (Thanwadee, 2022) mediante el cual fue posible estructurar la investigación de manera sistemática. Para el desarrollo del modelo de dinámica de sistemas se siguió el modelo iterativo propuesto por Sterman, (2000) citado por (Sembiring & Sipayung, 2020) ; (Suryani, Dewi, et al., 2019).

Cabe resaltar, que para el desarrollo del estudio investigativo se empleó una metodología con enfoque cuantitativo con el propósito de recopilar y analizar los datos obtenidos de manera numérica, además se empleó un diseño transversal descriptivo que permitió obtener la información en un tiempo determinado y correlacional porque facilitó las posibles relaciones entre las variables de estudio (dinámica de sistemas y cadena productiva).

Para la recolección de información, aparte de investigaciones de fuentes secundarias sobre el cultivo de maíz en el cantón de Santa Elena, se emplearon cuestionarios que pasaron por un proceso de validación mencionado en el capítulo II, mediante la metodología de Ábaco de Régnier, que involucró la revisión y evaluación de tres expertos. Este proceso se llevó a cabo antes de la aplicación de los cuestionarios, con la finalidad de asegurar la validez y la aceptación de las preguntas.

Posteriormente, en el capítulo III, los datos obtenidos de las encuestas requirieron cumplir con las propiedades de confiabilidad, determinándola mediante el coeficiente de alfa de Cronbach con el cual se obtuvo valor de 0.801 que confirmó la autenticidad de los datos. De igual manera se verificaron las hipótesis planteadas mediante el análisis de varianza ANOVA utilizando la prueba de Fisher, que confirma la hipótesis alternativa “El modelo de dinámica de sistemas resulta aplicativo para la optimización de la cadena productiva del maíz en el cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena”.

Se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas teniendo en cuenta las variables de los tres eslabones principales (proveedor de insumos, productores de maíz y comercializadores) que intervienen en la cadena productiva del maíz como: hectárea cosechada, rendimiento promedio por hectárea, precio por quintal, costos de producción, consumo de maíz.

Posterior a esto, se plantearon tres escenarios que permitieron la optimización de la cadena productiva del maíz con un análisis de proyección de 10 años.

Como primer escenario, se estableció el escenario base donde se evaluó si la productividad del maíz era suficiente para satisfacer la demanda de los consumidores, al considerarse no sostenible a la cadena productiva, se procedió a evaluar la productividad con un incremento del 100%.

El segundo escenario, se analizó el impacto de los aspectos económicos relacionados a la producción del maíz, en donde se estableció que los ingresos se asocian directamente a la limitada disponibilidad del maíz provocada por factores como condiciones climáticas desfavorables, presencia de plagas y enfermedades que afectan la oferta por ende a los ingresos económicos de los agricultores.

Y como tercer escenario, se analizó el impacto de los aspectos ambientales relacionados con la producción de maíz, el uso de fertilizantes y los impactos ambientales, en el que se destacó la necesidad de expandir las áreas de plantación de maíz para satisfacer la demanda, y se encuentra estrechamente vinculada al aumento del uso de fertilizantes, a pesar de que su uso puede expandir las áreas y aumentar la productividad también conlleva riesgos de generar daños ambientales.

### **3.4. Limitaciones del estudio**

Una de las limitaciones que se presentó en el desarrollo del estudio fue la determinación de la población ya que no existe una base de datos accesible y exacta con la cantidad precisa de productores por parroquias del cantón de Santa Elena, por lo cual se solicitó información directamente a las oficinas del MAGAP, aunque se obtuvo la información necesaria, existe un margen de error del 20% asociado con los datos proporcionados por esta fuente.

Así mismo, la falta de acceso a los encuestados se presenta como otra de las limitaciones, ya que no todos estuvieron disponibles para colaborar. Para abordar esta limitación, se optó por aplicar un muestreo estratificado por conveniencia, asegurando que dentro de las restricciones de disponibilidad se lograra obtener una representación adecuada de los participantes en el estudio.

Cabe mencionar que para el desarrollo de la propuesta fue necesario la aplicación del modelo de dinámica de sistemas mediante el software Anylogic, este proceso requirió de un adecuado conocimiento en programación, pero debido a la poca especialización del investigador provocó complicaciones y retrasos en el modelado, dificultando la posibilidad de lograr una simulación más precisa sobre el sistema real de estudio.

## CONCLUSIONES

1. Como sustento del estudio de investigación acerca de la dinámica de sistemas para la cadena productiva del maíz en el Cantón de Santa Elena, Provincia Santa Elena, se desarrolló el estado de arte mediante un análisis bibliométrico utilizando la base de datos Scopus y el software VOSviewer con el cual se desarrolló una búsqueda rigurosa de artículos referentes a las dos variables de estudio “dinámica de sistemas” y “cadena productiva”, teniendo en cuenta criterios de inclusión y exclusión como período de estudio del 2019 al 2023, artículos publicados de revistas, artículos relacionados al área de ingeniería y que sean publicaciones de acceso abierto, obteniendo en total de 116 artículos de los cuales se seleccionaron 25 que presentan relación directa al problema de investigación.

Estos artículos sirvieron para identificar el procedimiento metodológico a seguir, el modelo de dinámica de sistemas a desarrollar, y el software para el modelo de simulación.

2. A partir del desarrollo del estado de arte, se estableció para el estudio de investigación un procedimiento metodológico de cinco fases y cinco etapas para el desarrollo del modelo de dinámica de sistemas. Se determinó que la metodología de investigación fue cuantitativa de tipo no experimental con diseño transversal descriptivo y correlacional.

Para la aplicación de las encuestas dirigidas a 35 productores de maíz, muestra representativa obtenida mediante muestreo estratificado por conveniencia, y se llevó a cabo un plan de evaluación para garantizar su precisión, confiabilidad y validez.

3. De acuerdo con los resultados obtenidos en la última etapa de la investigación se menciona lo siguiente:

La metodología Ábaco de Régnier con la participación de tres expertos, el software IBM SPSS-25, el coeficiente de Cronbach y el análisis de anova garantizaron la precisión, confiabilidad y validez de la recolección y análisis de la información obtenida a través de los cuestionarios aplicados.

A partir de la simulación de la cadena productiva del maíz utilizando el software Anylogic fue posible identificar los factores que afectan la producción de maíz en el cantón, lo cual permitió establecer que el escenario más viable para su optimización es aumentar la productividad a un 100% el cual va a permitir satisfacer la demanda, y por ende incrementar los ingresos de los agricultores.

La implementación de esta propuesta tuvo una inversión de \$11,908,31 y permitió estimar que la producción de maíz puede incrementarse a 129780 ton/ha para los próximos 10 años.

El periodo de recuperación de la inversión para la propuesta es de 1,74 años, es decir que se recuperará la inversión inicial antes del segundo periodo, el valor actual neto (VAN) es de \$ 11.481,49 con una tasa del 15% y una tasa interna de recuperación de inversión (TIR) de 59%.

## **RECOMENDACIONES**

1. De acuerdo con el sustento del tema de investigación proporcionado mediante el análisis bibliométrico y la revisión de la literatura, se sugiere realizar futuras investigaciones que continúen explorando y actualizando los avances en la dinámica de sistemas y la cadena productiva del maíz, además se recomienda ampliar la búsqueda de otras fuentes relevantes como conferencias o documentos técnicos para garantizar una comprensión completa y actualizada del tema de estudio y poder integrar nuevas herramientas o técnicas para mejorar la efectividad y aplicabilidad del modelo desarrollado.
2. Dado el marco metodológico establecido, se propone ampliar la muestra representativa de los productores de maíz considerando mayor inclusión de las parroquias del cantón de Santa Elena, lo cual permitirá obtener resultados más generalizables y aplicables a distintos entornos, mejorando la validez de los hallazgos.

3. Mediante el modelo propuesto, se recomienda fortalecer la utilización de software de simulación de modelados de dinámica de sistemas, con mayores capacitaciones y buscar otros softwares que permitan obtener resultados más eficaces.

Además, se sugiere implementar procesos de evaluación continua durante el desarrollo del modelo de dinámica de sistemas, para incluir revisiones periódicas por parte de expertos en el campo con el propósito de obtener una actualización constante del modelo, este enfoque puede asegurar que el modelo se mantenga al día con los avances de la cadena productiva del maíz y garantice su relevancia y precisión a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afanasyev, M., Pervukhin, D., Kotov, D., Davardoost, H., & Smolenchuk, A. (2023). System Modeling in Solving Mineral Complex Logistic Problems with the Anylogic Software Environment. *Transportation Research Procedia*, 68, 483–491. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2023.02.065>
- Albán, M. G., Caviedes, G. M., & Zambrano, J. L. (2021). *Memorias del I Simposio Ecuatoriano del Maíz* (Vol. 38). [https://www.researchgate.net/publication/371918419\\_Memorias\\_del\\_I\\_Simposio\\_Ecuatoriano\\_del\\_Maiz](https://www.researchgate.net/publication/371918419_Memorias_del_I_Simposio_Ecuatoriano_del_Maiz)
- Alzubi, E., Shbikat, N., & Noche, B. (2023). A system dynamics model to improving sustainable performance of the citrus farmers in Jordan Valley. *Cleaner Production Letters*, 4, 100034. <https://doi.org/10.1016/J.CLPL.2023.100034>
- Anacona-Mopan, Y. E., Rubiano-Ovalle, O., Paz, H., Solis-Pino, A. F., Chong, M., & Luna, A. (2023). Fresh Product Supply Chain Analysis in Cauca, Colombia — A Hass Avocado System Dynamics Approach. *Systems*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/systems11010029>
- Analuisa, I. A., García-Caicedo, S. S., Rodríguez-Ulcango, O. M., & Paredes-Orozco, M. P. (2020). Análisis primario de las cadenas de valor en el maíz Portoviejo, Ecuador. *ECA Sinergia*, 11(1), 44. [https://doi.org/10.33936/ECA\\_SINERGIA.V11I1.1692](https://doi.org/10.33936/ECA_SINERGIA.V11I1.1692)

- Andrade-Sosa, H. H., Lince-Mercado, E., Hernandez-Cuadrado, A. E., & Monsalve-Quintero, A. J. (2011). Evolución: herramienta software para modelado y simulación con Dinámica de Sistemas. *Dinámica de Sistemas*, 5(1). [https://www.researchgate.net/publication/305503842\\_Evolucion\\_herramienta\\_software\\_para\\_modelado\\_y\\_simulacion\\_con\\_Dinamica\\_de\\_Sistemas](https://www.researchgate.net/publication/305503842_Evolucion_herramienta_software_para_modelado_y_simulacion_con_Dinamica_de_Sistemas)
- Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Bawono, B., Setyohadi, D. B., Murdapa, P. S., & Jamari, J. (2023). System dynamics modelling for calculation of carbon footprint on a non-homogeneous production system: A case in a ceramic studio. *Results in Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100812>
- Babativa Novoa, C. A. (2017). Investigación cuantitativa. *AREANDINA Fundación Universitaria Del Área Andina*. <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/3544>
- Cadenas-Anaya, C. R., & Guaita, W. (2021). System Dynamics: A methodology for the construction of decision-making models in agro-industrial sectors. *Politecnico Gran Colombiano*, 1–172. <https://doi.org/10.15765/poli.v1i695.2363>
- Candelaria-Martínez, B., Ruiz-Rosado, O., Gallardo-López, F., Pérez-Hernández, P., Martínez-Becerrab, Á., & Vargas -Villamil, L. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000300004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300004)
- Castillo-Ortiz, M. I. (2022). Diversidad institucional y agregación de valor en la cadena productiva del bambú. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas*, 35–54. <https://doi.org/10.53591/FCE.V2I2.1588>
- Castro-Mercado, L., Osorio-Gómez, J. C., & Bravo-Bastidas, J. J. (2021). Production Analysis of the Beekeeping Chain in Vichada, Colombia. A System Dynamics Approach. *Studies in Computational Intelligence*, 966, 97–117. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-71115-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71115-3_5)

- Caviedes-Cepeda, G. M. (2019). Producción de semilla de maíz en el Ecuador: retos y oportunidades. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 11(1). <https://doi.org/10.18272/ACI.V11I1.1100>
- Caviedes-Cepeda, M., Carvajal-Larenas, F., & Zambrano-Mendoza, J. L. (2022). Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 14(1). <https://doi.org/10.18272/ACI.V14I1.2588>
- Cayeros-Altamirano, S. E., Robles-Zepeda, F. J., & Soto-Ceja, E. (2020). Cadenas Productivas y Cadenas de Valor. *EDUCATECONCIENCIA*, 10(11), 6–12. <https://doi.org/10.58299/EDU.V10I11.238>
- Chacón-Reales, J. L., Morales-Robalino, E. G., Luna-Peñañiel, C. A., Medina-Cárdenas, H. J., & Cantuña-Vallejo, F. P. (2022). El Muestreo Intencional No Probabilístico como herramienta de la investigación científica en carreras de Ciencias de la Salud. *Universidad y Sociedad*, 14(S5), 681-691. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3338>
- Choy-Zevallos, E. E. (2016). Cadena de producción sostenible en costos y seguridad alimenticia nacional. *Quipukamayoc*, 23(43), 153. <https://doi.org/10.15381/QUIPU.V23I43.11609>
- Cisneros-Caicedo, A. J., Guevara-García, A. F., Urdánigo-Cedeño, J. J., & Garcés-Bravo, J. E. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia. *Dominio de Las Ciencias*, 8(1), 1165–1185.
- Davezies Martinez, W. R. (2022). Repensando los procesos de definición del perfil profesional en la carrera de pedagogía de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 20(25), 55–73. <https://doi.org/10.56469/RCTI.VOL20N25.700>
- Del Cid, A., Mendéz Rosemary, & Sandoval, F. (2011). *Investigación: Fundamentos y Metodología* (M. Nuñez Viquez & A. Calderón Salas, Eds.; Segunda).
- Ding, S., Ward, H., Cucurachi, S., & Tukker, A. (2023). Revelando los potenciales ocultos de internet de las cosas (iot) - un enfoque integrado y dinámico de sistemas

- para evaluar el potencial oculto del rendimiento sostenible de la cadena de suministro. *Journal of Cleaner Production*, 421. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138558>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.04.070>
- Duque, P., Eduardo Meza, O., Giraldo, D., & Barreto, K. (2021). Economía Social y Economía Solidaria: un análisis bibliométrico y revisión de literatura. *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 1–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.5209/reve.75566>
- Espinoza Freire, E. E. (2019). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Segunda parte. *Conrado*, 15(69). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442019000400171](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000400171)
- Esteso, A., Alemany, M. M. E., Ottati, F., & Ortiz, Á. (2023). System dynamics model for improving the robustness of a fresh agri-food supply chain to disruptions. *Operational Research*, 23(2), 1–53. <https://doi.org/10.1007/S12351-023-00769-7/FIGURES/16>
- Ferro-Valdés, E. M., Martínez-Maqueira, Y., Gigato-Toledo, A., Castro-Barrio, A. M., & Velázquez Toledo, N. (2020). Analysis of the corn production chain in the San Andrés Valley, La Palma. *ECOVIDA*, 10(1). [https://www.researchgate.net/publication/371938295\\_Analisis\\_de\\_la\\_cadena\\_de\\_produccion\\_de\\_maiz\\_en\\_el\\_Valle\\_San\\_Andres\\_La\\_Palma](https://www.researchgate.net/publication/371938295_Analisis_de_la_cadena_de_produccion_de_maiz_en_el_Valle_San_Andres_La_Palma)
- Figueredo, A. L. F., Aguilar, R. F. L., & Roselló, M. M. M. (2019). Procedimiento para el procesamiento de información científica en la DPI de la carrera Ingeniería Forestal. *Biblios*, 75, 46–61. <https://doi.org/10.5195/BIBLIOS.2019.473>
- García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn History and Culture. *Corn: Chemistry and Technology, Third Edition*, 1–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>

- García-Peña, S. M., Montoya, L. A., & Montaña-Quintero, L. F. (2012). Comparative analysis of productive chain the production of cocoa between Colombia and Ecuador. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 29(1). [https://www.researchgate.net/publication/333429410\\_COMPARATIVE\\_ANALYSIS\\_OF\\_PRODUCTIVE\\_CHAIN\\_THE\\_PRODUCTION\\_OF\\_COCOA\\_BETWEEN\\_COLOMBIA\\_AND\\_ECUADOR\\_-\\_ANALISIS\\_COMPARATIVO\\_DE\\_COMPETITIVIDAD\\_DE\\_LAS\\_CADENAS\\_PRODUCTIVAS\\_DE\\_CACAO\\_DE\\_COLOMBIA\\_Y\\_ECUADOR](https://www.researchgate.net/publication/333429410_COMPARATIVE_ANALYSIS_OF_PRODUCTIVE_CHAIN_THE_PRODUCTION_OF_COCOA_BETWEEN_COLOMBIA_AND_ECUADOR_-_ANALISIS_COMPARATIVO_DE_COMPETITIVIDAD_DE_LAS_CADENAS_PRODUCTIVAS_DE_CACAO_DE_COLOMBIA_Y_ECUADOR)
- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., & Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158–163. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V81N184.37066>
- Gorripati, R., Thakur, M., & Kolagani, N. (2023). Promoting Climate Resilient Sustainable Agriculture Through Participatory System Dynamics with Crop-Water-Income Dynamics. *Water Resources Management*, 37(10), 3935–3951. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03533-w>
- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? *Folios*, 44, 165–179. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-48702016000200011&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-48702016000200011&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Hasang-Moran, E. S., García-Bendezú, S. J., Carrillo-Zenteno, M. D., Durango-Cabanilla, W. D., Cobos-Mora, F. J., Hasang-Moran, E. S., García-Bendezú, S. J., Carrillo-Zenteno, M. D., Durango-Cabanilla, W. D., & Cobos-Mora, F. J. (2021). Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(1), 26–40. <https://doi.org/10.36610/J.JSAB.2021.090100026>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
- Ibragimov, A., Sidique, S. F., & Tey, Y. S. (2019). Productivity for sustainable growth in Malaysian oil palm production: A system dynamics modeling approach.

*Journal of Cleaner Production*, 213, 1051–1062.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.113>

INEC. (2023). *Data y Resultados - INEC*. <https://www.censoecuador.gob.ec/data-y-resultados/#pix-tab-398c8f9c-4977318>

INIAP - Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2023). *Ciclo del cultivo del maíz duro*. <https://eva.iniap.gob.ec/web2/maiz-duro/>

Jamaludin, M., Fauzi, T. H., & Nugraha, D. N. S. (2021). A system dynamics approach for analyzing supply chain industry: Evidence from rice industry. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(1), 217–226.  
<https://doi.org/10.5267/J.USCM.2020.7.007>

Jin, L., Yin, Y., Du, F., Yuan, H., & Zheng, C. (2023). Impact of Engineering Changes on Value Movement in Fund Flow: Monte Carlo-System Dynamics Modeling Approach. *Buildings*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/buildings13092218>

Kirby, A. (2023). Exploratory Bibliometrics: Using VOSviewer as a Preliminary Research Tool. *Publications*, 11(1).  
<https://doi.org/10.3390/PUBLICATIONS11010010>

Konefal, J., de Olde, E. M., Hatanaka, M., & Oosterveer, P. J. M. (2023). Signs of agricultural sustainability: A global assessment of sustainability governance initiatives and their indicators in crop farming. *Agricultural Systems*, 208.  
<https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2023.103658>

Korkmaz Saricalar, S. (2023). *Citacion and co-citacion analysis in BIBLIOMETRIC METHODS*. 2, 385–394.  
[https://www.researchgate.net/publication/370690684\\_CITATION\\_AND\\_CO-CITATION\\_ANALYSIS\\_IN\\_BIBLIOMETRIC\\_METHODS](https://www.researchgate.net/publication/370690684_CITATION_AND_CO-CITATION_ANALYSIS_IN_BIBLIOMETRIC_METHODS)

Launiainen, H., Kanapeckiene -Vilna, L., Gečys, T., Zviggzdins, J., Actina, G., Tirteu, C., Rohola, K., Komsis, J., Longo, S., Tupenaite, L., & Nordlund, A. (2022). Marco Metodológico. *Universities of Applied Sciences*.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31652.55685>

- Lee, C., Ng, K., Kwong, C., & Tay, S. (2018). Un modelo de dinámica de sistemas para evaluar la gestión del desperdicio de alimentos en Hong Kong, China. *Revista de Ciclos de Materiales y*, 21(3), 433–456. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0804-8>
- Liu, P., Hendaripour, A., Hafshejani, M. F., Yaghoobi, F., & Feylizadeh, M. (2023). System dynamics model: developing model for supplier selection with a focus on CSR criteria. *Complex and Intelligent Systems*, 9(1), 99–114. <https://doi.org/10.1007/S40747-022-00788-5>
- Luis, P., Hurtado, D., David, J., Castellanos, G., Darío, I., & Gómez, O. (2023). Análisis bibliométrico de la investigación en big data y cadena de suministro. *Revista CEA*, 9(20), 1–36. <https://doi.org/10.22430/24223182.2448>
- Maghsoudi, M., & Nezafati, N. (2023). Navigating the acceptance of implementing business intelligence in organizations: A system dynamics approach. *Telematics and Informatics Reports*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2023.100070>
- MAG-Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *Estadísticas Productivas*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-productivas>
- MAG-Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). *Superficie de principales cultivos a Nivel Nacional*. Geoportal Del Agro Ecuatoriano. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>
- Martelo, R. J., Villabona, N., & Jiménez-Pitre, I. (2017). Methodological guide to define the professional profile of academic programs by using the Regnier Abacus. *Formacion Universitaria*, 10(1), 15–24. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062017000100003>
- Martínez-Soto, M. E., Rodríguez-Monroy, C., Morris, A. T., Prado-Carpio, E., & Villa, J. (2019, July 26). *Model of structural equation applied to the management of knowledge in the maize agribusiness production chain (Zea mays L.)*. LACCEI. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.217>

- Melkonyan, A., Gruchmann, T., Lohmar, F., Kamath, V., & Spinler, S. (2020). Sustainability assessment of last-mile logistics and distribution strategies: The case of local food networks. *International Journal of Production Economics*, 228. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2020.107746>
- Mingxue, M., WY-Tam, V., N.-Le, K., & Osei-Kyei, R. (2023). A system dynamics model for assessing impacts of policies on supply and demand of recycled aggregate. *Journal of Building Engineering*, 75, 107050. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107050>
- Molina Montoya, N. P. (2005). ¿Qué es el estado del arte? *Ciencia & Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 5, 73. <https://doi.org/10.19052/SV.1666>
- Mukhlis Ramadhani, I., Suryani, E., & Damanhuri. (2018). System Dynamics Implementation To Increase The Number Of Organic Maize Level On-Farm Production In Supporting Smart Agriculture (Case Study : East Java, Indonesia). *International Research Conference on Management and Business*, 1–20. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/8Q9G2>
- Perazzi, J. R., & Merli, G. O. (2022). Dinámica de sistemas y crecimiento económico. *Revista de Economía Institucional*, 24(46), 115–132. <https://doi.org/10.18601/01245996.V24N46.07>
- Pineda Ballesteros, E., & Téllez Acuña, F. (2018). Modelado y simulación de la cadena productiva del cacao en Colombia. *INGE CUC*, 14(1), 141–150. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.13>
- Pucha Medina, P. M., Muyulema Allaica, J. C., Burgos, C., & Buenaño Buenaño, E. N. (2019). Gestión de la calidad como estructura del desempeño operacional en el sector Cooperativo Financiero del segmento cinco de la provincia de Chimborazo. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v22i2.849>
- Ramírez-Flores, L., Arzube-Mayorga, M., & León-Mejía, A. (2022). Diagnóstico de la situación actual de la mecanización en el cultivo de maíz (*Zea Mays L.*) en la comuna Sinchal, Cantón Santa Elena, Provincia Santa Elena | Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS. *Revista Científica Arbitrada*

*Multidisciplinaria*      *PENTACIENCIAS*,      4(5),      111–120.  
<https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/260>

Ramos-Galarza, C. A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/CA.V9I3.336>

Reyes, Y. Q., Peñalver, L. P., Álvarez-Cabrera, E. N., & Varela, M. de la C. M. (2021). Sustainability Of production chains: Theoretical details | Sostenibilidad de cadenas productivas: Precisiones teóricas. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(6), 461–470.  
[https://www.researchgate.net/publication/366366237\\_Sustainability\\_of\\_production\\_chains\\_theoretical\\_details](https://www.researchgate.net/publication/366366237_Sustainability_of_production_chains_theoretical_details)

Roozkhosh, P., Pooya, A., & Agarwal, R. (2022). Blockchain acceptance rate prediction in the resilient supply chain with hybrid system dynamics and machine learning approach. *Operations Management Research*, 16(2), 705–725. <https://doi.org/10.1007/S12063-022-00336-X/TABLES/8>

Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2022). Enhancing the Decision-Making Process through Industry 4.0 Technologies. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/su14010461>

Rovelli, P., Ferasso, M., De Massis, A., & Kraus, S. (2022). Thirty years of research in family business journals: Status quo and future directions. *Journal of Family Business Strategy*, 13(3), 100422. <https://doi.org/10.1016/J.JFBS.2021.100422>

Sampedro, C., Pizzitutti, F., Quiroga, D., Walsh, S. J., & Mena, C. F. (2020). Food supply system dynamics in the Galapagos Islands: agriculture, livestock and imports. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(3), 234–248. <https://doi.org/10.1017/S1742170518000534>

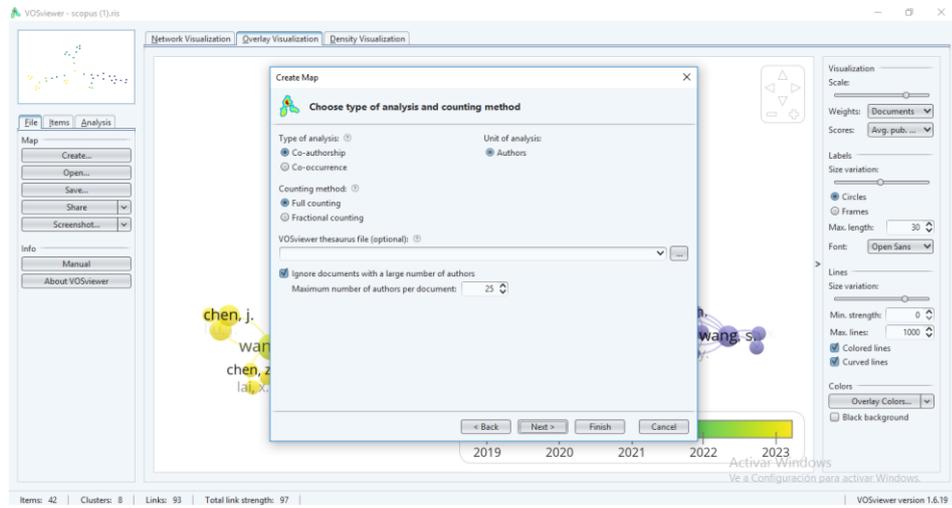
Sartori-Ruilova, A., & Kometter, R. (2020). Aprendizajes en el Fortalecimiento de Cadenas Productivas en Paisajes de Bosques Andinos. *HELVETAS Swiss Intercooperation* - *CONDESAN*.  
[https://www.researchgate.net/publication/343376309\\_Aprendizajes\\_en\\_el\\_Fortalecimiento\\_de\\_Cadenas\\_Productivas\\_en\\_Paisajes\\_de\\_Bosques\\_Andinos](https://www.researchgate.net/publication/343376309_Aprendizajes_en_el_Fortalecimiento_de_Cadenas_Productivas_en_Paisajes_de_Bosques_Andinos)

- Sembiring, N., & Sipayung Polinezer, R. I. (2020). Optimization of Durian Supply Chain with Dynamic System Simulation. *MECnIT 2020 - International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology*, 108–113. <https://doi.org/10.1109/MECnIT48290.2020.9166634>
- Shuangyan-Xu, Jinghong-Wang, Jia-Li, Yan-Wang, & Zhirong-Wang. (2021). System dynamics research of non-adaptive evacuation psychology in toxic gas leakage emergencies of chemical park. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104556>
- Sterman, J. D. (2000). System Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. *ESD Internal Symposium*. [https://www.researchgate.net/publication/44827001\\_Business\\_Dynamics\\_System\\_Thinking\\_and\\_Modeling\\_for\\_a\\_Complex\\_World](https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World)
- Suryani, E., Dewi, L. P., Junaedi, L., & Hendrawan, R. A. (2019). A model to improve corn productivity and production. *Journal of Modelling in Management*, 15(2), 589–621. <https://doi.org/10.1108/JM2-11-2018-0181>
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., Junaedi, L., & Dewi, L. P. (2019). Simulation Model and Scenario to Increase Corn Farmers; Profitability. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 924, 415–424. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6861-5\\_36](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6861-5_36)
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Experimental designs using ANOVA* (Vol. 724). [https://www.researchgate.net/profile/Barbara-Tabachnick/publication/259465542\\_Experimental\\_Designs\\_Using\\_ANOVA/links/5e6bb05f92851c6ba70085db/Experimental-Designs-Using-ANOVA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Barbara-Tabachnick/publication/259465542_Experimental_Designs_Using_ANOVA/links/5e6bb05f92851c6ba70085db/Experimental-Designs-Using-ANOVA.pdf)
- Tanklevska, N., Petrenko, V., Karnaushenko, A., & Melnykova, K. (2020). World corn market: analysis, trends and prospects of its deep processing. *Agricultural and Resource Economics*, 6(3), 96–111. <https://doi.org/10.51599/are.2020.06.03.06>
- Thanwadee, C. (2022). Feasibility study of multimodal transportation of cassava products in thailand: system dynamics modeling. *ASEAN Engineering Journal*, 12(3), 79–88. <https://doi.org/10.11113/aej.V12.17049>

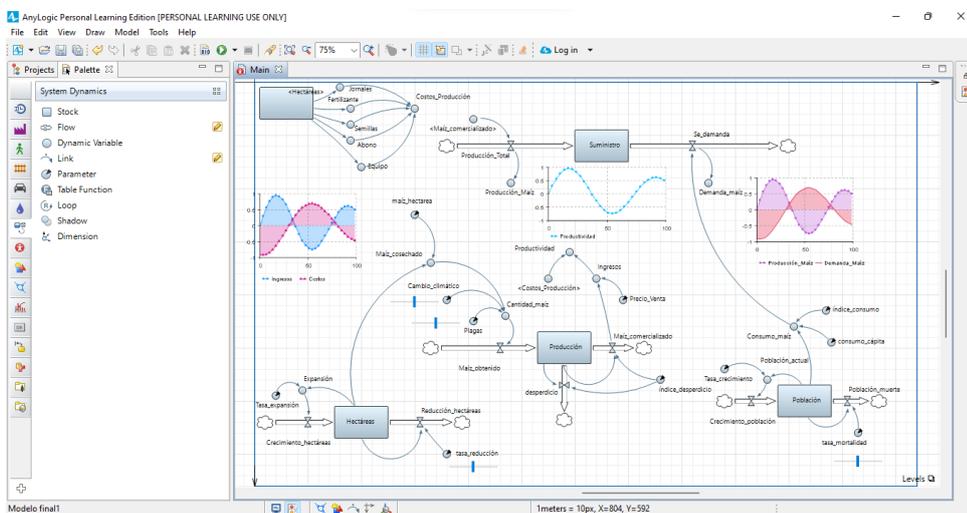
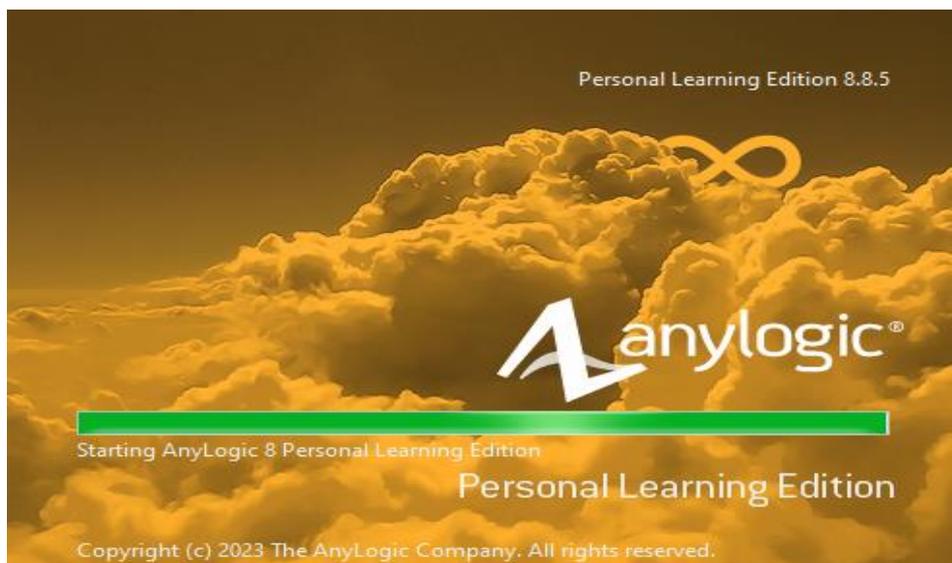
- Useche, M. C., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, E. (2020). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos Cualitativos*. Universidad de la Guajira. [https://www.researchgate.net/publication/344256464\\_Tecnicas\\_e\\_instrumentos\\_de\\_recoleccion\\_de\\_datos\\_Cuali-Cuantitativos](https://www.researchgate.net/publication/344256464_Tecnicas_e_instrumentos_de_recoleccion_de_datos_Cuali-Cuantitativos)
- Valencia-Arias, A., & Obando-Montoya, L. (2012). *Aproximaciones a la validación en dinámica de sistemas*. 6(2). [https://www.researchgate.net/publication/303698399\\_Aproximaciones\\_a\\_la\\_validacion\\_en\\_dinamica\\_de\\_sistemas](https://www.researchgate.net/publication/303698399_Aproximaciones_a_la_validacion_en_dinamica_de_sistemas)
- Wang, B., Liu, Y., Zhou, Y., & Wen, Z. (2018). Emerging nanogenerator technology in China: A review and forecast using integrating bibliometrics, patent analysis and technology roadmapping methods. *Nano Energy*, 46, 322–330. <https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2018.02.020>
- Widiaswanti, E., & Yunitarini, R. (2021). Conceptual Model of Essential Oil Agroindustry Development by Using System Dynamics Approach. *E3S Web of Conferences*, 328. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202132805003>
- Xueting Xiong. (2022). Critical Review of Quantitative and Qualitative Research. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 670. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220704.172>
- Zambrano, J. L., Velásquez, J., Racines, M., Peña-Herrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S., Ortíz-Calle, R., León, J., Campaña, D., López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín, G., Pintado, P., & Yáñez, C. (2021). Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra Ecuatoriana. *El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)*.
- Zulkarnain, Hakim, L., & Wardhana, M. Y. (2021). Alternative based farmer model for increasing red chili production in Bener Meriah, Aceh. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 644(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012050>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

# ANEXOS

## Anexos 1. Software Vosviewer.



## Anexos 2. Software Anylogic versión gratuita.



*Anexos 3. Cuestionario para la recolección de datos.*



**UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE  
SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



**Encuestas dirigidas a los productores de maíz**

Agradecemos su participación en esta encuesta. Sus respuestas son valiosas y nos ayudarán a entender mejor las necesidades y desafíos que enfrentan los productores de maíz.

**Por favor, responda las siguientes preguntas marcando la opción que mejor se ajuste a su situación.**

**1. ¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrenta como productor de maíz?**

- Cambios climáticos
- Plagas y enfermedades
- Costos de insumos agrícolas
- Suelo
- Tecnología obsoleta

**2. ¿Cuál es el número de hectáreas cosechadas de maíz?**

- Menos de 3 ha
- 3-5 ha
- 5-7 ha
- 7-10 ha
- Más de 10 ha

**3. ¿Cuál es el total de quintales de maíz producidas por hectáreas?**

- Menos de 50 q
- 50 q - 60 q
- 60 q - 70 q
- 70 q - 80 q
- Más de 80 q

**4. ¿Cuál es el precio por quintales de maíz?**

- Menos de \$15
- \$15-\$16
- \$16-\$17
- \$17-\$18
- Más de \$18

**5. ¿Cuál es la cantidad demandada del maíz?**

- Menos de 100 q
- 100 q a 200 q
- 200 q a 300 q
- 300 q a 400 q
- Más de 400 q

**6. ¿Cuál es el costo de insumos por hectáreas sembradas?**

- Menos de \$200
- \$200-\$400
- \$400-\$600
- \$600-\$800
- Más de \$1000

**7. ¿Cuáles son los gastos de operación por hectárea de maíz?**

- Menos de \$30
- \$30-\$50
- \$50-\$70
- \$70-\$90
- Más de \$90

**8. ¿Ha implementado alguna estrategia para mejorar la producción de maíz?**

- Sí
- No

**9. Si su respuesta anterior fue afirmativa, responda la siguiente pregunta ¿Qué estrategias ha implementado para mejorar la producción de maíz?**

- Uso de variedades de semillas de maíz resistentes a enfermedades y adaptadas al clima
- Gestión adecuada del agua mediante sistemas de riego eficientes
- Control integrado de plagas y enfermedades
- Gestión de nutrientes y residuos vegetales para mejorar la fertilidad del suelo

**10. ¿Considera la posibilidad de utilizar herramientas tecnológicas que permitan mejorar la producción del maíz?**

- Si
- No

**11. La dinámica de sistemas es una herramienta que permite anticipar el impacto de políticas agrícolas, cambios en el clima o tecnologías emergentes, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en la producción y distribución del maíz. ¿Tiene conocimientos previos acerca de la dinámica de sistemas y su aplicación en el sector agrícola?**

- Si
- No

**12. ¿Estaría interesado en aprender y aplicar la dinámica de sistemas en su cadena productiva de maíz?**

- Sí estoy interesado y dispuesto a aprender, pero necesito más información
- No estoy interesado en este momento

**13. ¿Cree que implementar la dinámica de sistemas en la cadena productiva de maíz podría tener un impacto positivo en la rentabilidad de su producción?**

- Sí
- No

**14. ¿Qué resultados espera obtener mediante la aplicación de la dinámica de sistemas?**

- Mejorar la productividad del cultivo
- Reducir costos de producción
- Mejorar la planificación de cultivos
- Mejorar la calidad del producto final

**Agradecemos y valoramos su tiempo invertido**

**Gracias por sus respuestas**

### Anexos 4. Formato de validación de encuesta realizada por expertos.

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>	
<b>ASUNTO: VALIDACIÓN DE ENCUESTAS POR EXPERTOS</b>		
<b>OPINIÓN:</b> Yo, _____ con Ci: _____, solicitado por la estudiante de Ingeniería Industrial <b>Cruz Flores Johanna</b> con Ci: <b>2450261850</b> , para evaluar la relevancia de las preguntas de un cuestionario dirigido a un grupo de productores de maíz localizados en el Cantón de Santa Elena, Provincia de Santa Elena, detallo las respectivas respuestas a continuación:		
<b>FIRMA:</b>		
<b>TEMA</b>	<b>METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN</b>	
"PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA PRODUCTIVA DE MAÍZ EN EL CANTÓN DE SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA"	<b>ÁBACO DE RÉGNIER</b>	
<b>Indicaciones:</b> Realice el proceso de validación de encuestas bajo la metodología Ábaco de Régnier, utilizando las respuestas proporcionadas en la escala ordinal de colores según considere apropiado.	El Ábaco de Régnier es una metodología utilizada para consultar, analizar y comparar las perspectivas u opiniones de un grupo de expertos mediante una escala ordinal de colores (Godet, 2000).	
<b>Nº</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>RESPUESTAS DECLARADA POR ESCALA DE COLORES</b>
1	¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrenta como productor de maíz?	
2	¿Cuál es el número de hectáreas cosechadas de maíz?	
3	¿Cuál es el total de quintales de maíz producidas diariamente?	
4	¿Cuál es el precio por quintal de maíz?	
5	¿Cuál es la cantidad demandada del maíz?	
6	¿Cuál es el costo de insumos por hectáreas sembradas?	
7	¿Cuáles son los gastos de operación por hectárea de maíz?	
8	¿Ha implementado alguna estrategia para mejorar la producción de maíz?	
9	¿Qué estrategias ha implementado para mejorar la producción de maíz?	
10	¿Considera la posibilidad de utilizar herramientas tecnológicas que permitan mejorar la producción del maíz?	
11	La dinámica de sistemas es una herramienta que permite anticipar el impacto de políticas agrícolas, cambios en el clima o tecnologías emergentes, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en la producción y distribución del maíz. ¿Tiene conocimientos previos acerca de la dinámica de sistemas y su aplicación en el sector agrícola?	
12	¿Estaría interesado en aprender y aplicar la dinámica de sistemas en su cadena productiva de maíz?	
13	¿Cree que implementar la dinámica de sistemas en la cadena productiva de maíz podría tener un impacto positivo en la rentabilidad de su producción?	
14	¿Qué resultados espera obtener mediante la aplicación de la dinámica de sistemas?	
<b>ESCALA ORDINAL DE COLORES</b>		<b>DATOS DEL EXPERTOS</b>
5	Muy importante	<b>Identificación</b>
4	Importante	<b>Profesión</b>
3	Duda	<b>Año de Experiencia</b>
2	Poco importante	<b>Teléfono</b>
1	Sin importancia	<b>Correo</b>
0	Sin Respuesta	<b>Fecha de Validación</b>



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**ASUNTO: VALIDACIÓN DE ENCUESTAS POR EXPERTOS**  
 OPINIÓN: Yo, Franklin Pérez con C.I: 0908335813, solicitado por la estudiante de Ingeniería Industrial Cruz Flores Johanna con C.I: 2450261850, para evaluar la relevancia de las preguntas de un cuestionario dirigido a un grupo de productores de maíz localizados en el Cantón de Santa Elena, Provincia de Santa Elena, detallo las respectivas respuestas a continuación:  
 FIRMA: Franklin Pérez

TEMA	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN
"PROPUESTA DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA PRODUCTIVA DE MAÍZ EN EL CANTÓN DE SANTA ELENA, PROVINCIA SANTA ELENA"	ÁBACO DE RÉGNIER

**Indicaciones:** Realice el proceso de validación de encuestas bajo la metodología Ábaco de Régnier, utilizando las respuestas proporcionadas en la escala ordinal de colores según considere apropiado.  
 El Ábaco de Régnier es una metodología utilizada para consultar, analizar y comparar las perspectivas u opiniones de un grupo de expertos mediante una escala ordinal de colores (Godet, 2000).

Nº	PREGUNTAS	RESPUESTAS DECLARADA POR ESCALA DE COLORES
1	¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrenta como productor de maíz?	5
2	¿Cuál es el número de hectáreas cosechadas de maíz?	5
3	¿Cuál es el total de quintales de maíz producidas diariamente?	5
4	¿Cuál es el precio por quintales de maíz?	5
5	¿Cuál es la cantidad demandada del maíz?	5
6	¿Cuál es el costo de insumos por hectáreas sembradas?	5
7	¿Cuáles son los gastos de operación por hectárea de maíz?	5
8	¿Ha implementado alguna estrategia para mejorar la producción de maíz?	5
9	¿Qué estrategias ha implementado para mejorar la producción de maíz?	5
10	¿Considera la posibilidad de utilizar herramientas tecnológicas que permitan mejorar la producción del maíz?	5
11	La dinámica de sistemas es una herramienta que permite anticipar el impacto de políticas agrícolas, cambios en el clima o tecnologías emergentes, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en la producción y distribución del maíz. ¿Tiene conocimientos previos acerca de la dinámica de sistemas y su aplicación en el sector agrícola?	5
12	¿Estaría interesado en aprender y aplicar la dinámica de sistemas en su cadena productiva de maíz?	5
13	¿Cree que implementar la dinámica de sistemas en la cadena productiva de maíz podría tener un impacto positivo en la rentabilidad de su producción?	5
14	¿Qué resultados espera obtener mediante la aplicación de la dinámica de sistemas?	5

ESCALA ORDINAL DE COLORES	
5	Muy importante
4	Importante
3	Duda
2	Poco importante
1	Sin importancia
0	Sin Respuesta

DATOS DEL EXPERTOS	
Identificación	Franklin Perique Perez Soriano
Profesión	(20 Años) I+D+i Industrial
Año de Experiencia	20 Años
Teléfono	0969 79 96 23
Correo	Perique@UPSE.edu.ec
Fecha de Validación	24/10/2023

## Anexos 5. Validación realizada por expertos.

Excel spreadsheet showing a table with two columns: 'Profesión' and 'Nombres'. The data is as follows:

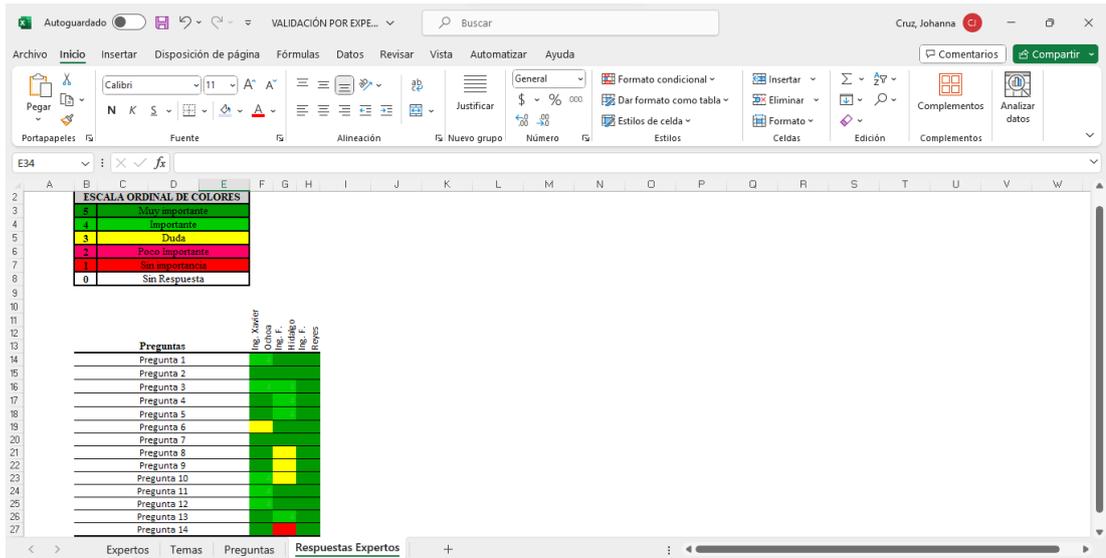
Profesión	Nombres
Ingeniero Agrónomo	Ing. Xavier Vera Ochoa
Ingeniero Industrial	Ing. Franklin Reyes
Ingeniero en Finanzas-Gerencia Financiera	Ing. Fernando Hidalgo

Excel spreadsheet showing a list of 14 questions. The questions are:

- Pregunta 1 ¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrenta como productor de maíz?
- Pregunta 2 ¿Cuál es el número de hectáreas cosechadas de maíz?
- Pregunta 3 ¿Cuál es el total de quintales de maíz producidos por hectáreas?
- Pregunta 4 ¿Cuál es el precio por quintales de maíz?
- Pregunta 5 ¿Cuál es la cantidad demandada del maíz?
- Pregunta 6 ¿Cuál es el costo de insumos por hectáreas sembradas?
- Pregunta 7 ¿Cuáles son los gastos de operación por hectárea de maíz?
- Pregunta 8 ¿Ha implementado alguna estrategia para mejorar la producción de maíz?
- Pregunta 9 ¿Qué estrategias ha implementado para mejorar la producción de maíz?
- Pregunta 10 ¿Considera la posibilidad de utilizar herramientas tecnológicas que permitan mejorar la producción del maíz?
- Pregunta 11 La dinámica de sistemas es una herramienta que permite anticipar el impacto de políticas agrícolas, cambios en el clima o tecnologías emergentes, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en la producción y distribución del maíz. ¿Tiene conocimientos previos acerca de la dinámica de sistemas y su aplicación en el sector agrícola?
- Pregunta 12 ¿Estaba interesado en aprender y aplicar la dinámica de sistemas en su cadena productiva de maíz?
- Pregunta 13 ¿Cree que implementar la dinámica de sistemas en la cadena productiva de maíz podría tener un impacto positivo en la rentabilidad de su producción?
- Pregunta 14 ¿Qué resultados espera obtener mediante la aplicación de la dinámica de sistemas?

Excel spreadsheet showing a table of responses from experts. The table is titled 'RESPUESTAS' and has columns for 'Expertos', 'N. Preguntas', and 'Respuestas'. The data is as follows:

Expertos	N. Preguntas	Respuestas
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 1	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 2	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 3	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 4	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 5	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 6	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 7	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 8	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 9	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 10	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 11	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 12	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 13	1
Ing. Xavier Vera Ochoa	Pregunta 14	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 1	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 2	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 3	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 4	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 5	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 6	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 7	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 8	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 9	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 10	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 11	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 12	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 13	1
Ing. Fernando Hidalgo	Pregunta 14	1
Ing. Franklin Reyes	Pregunta 1	1
Ing. Franklin Reyes	Pregunta 2	1



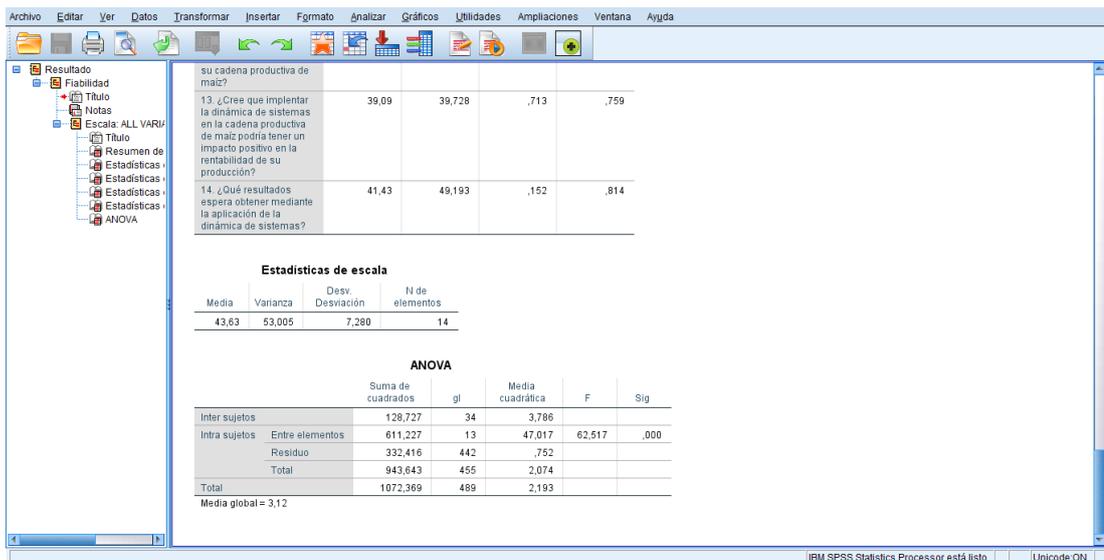
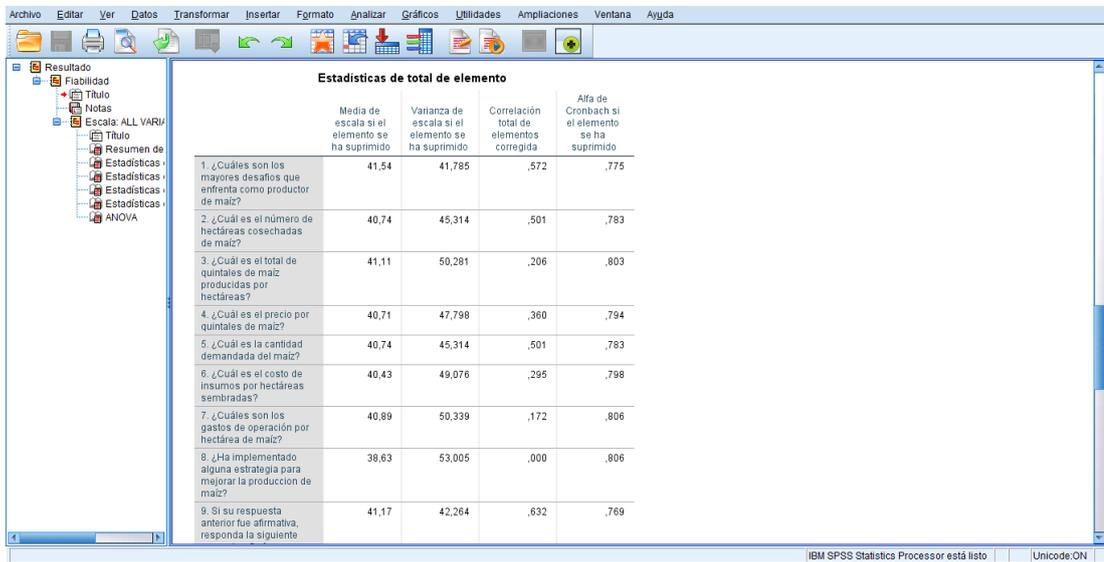
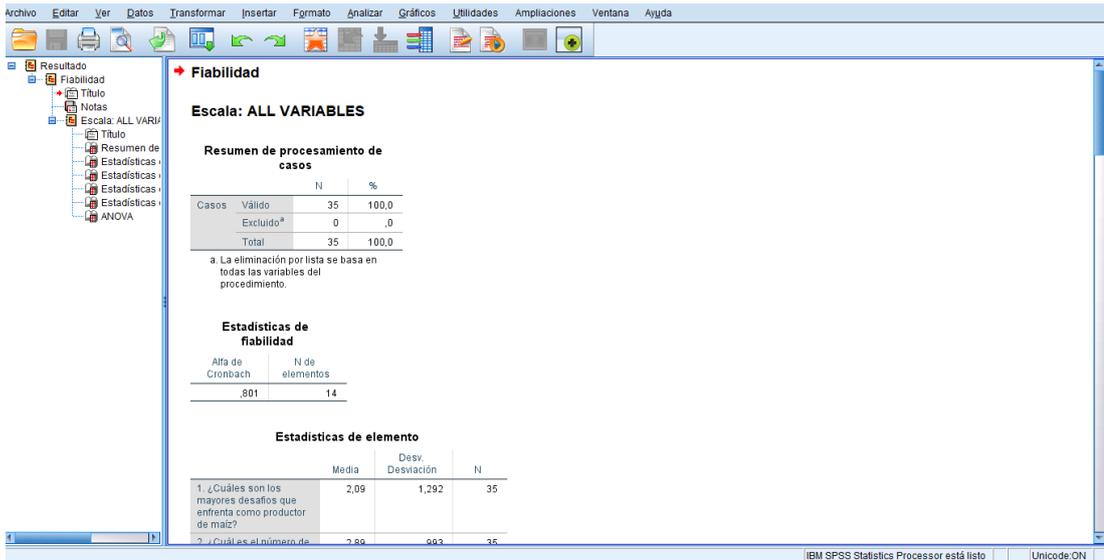
## Anexos 6. Fiabilidad en software SPSS Statistics 24.

The image shows the Variable View in SPSS Statistics 24. It displays the properties for 14 variables, labeled P\_1 through P\_14. Each variable is defined as a numeric variable with a width of 8 and 0 decimal places. The labels, values, and roles are as follows:

Variable	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	P_1	Númérico	8	0	¿Cuáles son lo...	{1, comerci...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
2	P_2	Númérico	8	0	¿Cuál es el nú...	{1, menos d...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
3	P_3	Númérico	8	0	¿Cuál es el tot...	{1, menos d...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
4	P_4	Númérico	8	0	¿Cuál es el pre...	{1, menos d...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
5	P_5	Númérico	8	0	¿Cuál es la can...	{1, menos d...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
6	P_6	Númérico	8	0	¿Cuál es el cos...	{1, más de ...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
7	P_7	Númérico	8	0	¿Cuáles son lo...	{1, más de ...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
8	P_8	Númérico	8	0	¿Ha implement...	{1, no}...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
9	P_9	Númérico	8	0	¿Qué strategi...	{1, Gestión ...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
10	P_10	Númérico	8	0	¿Considera la p...	{1, no}...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
11	P_11	Númérico	8	0	¿Tiene conoci...	{1, no}...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
12	P_12	Númérico	8	0	¿Estaría intere...	{1, no}...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
13	P_13	Númérico	8	0	¿Cree que impl...	{1, no}...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
14	P_14	Númérico	8	0	¿Qué resultado...	{1, Mejorar l...	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada

The image shows the Data View in SPSS Statistics 24. It displays the data for 14 variables (P\_1 to P\_14) across 23 cases. The data is as follows:

Caso	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_10	P_11	P_12	P_13	P_14
1	1	2	1	2	2	4	3	5	4	5	1	5	5	1
2	3	3	4	2	3	2	2	5	1	5	1	5	5	2
3	1	4	2	2	4	4	3	5	3	5	1	5	5	1
4	1	2	2	2	2	4	3	5	2	5	1	5	5	2
5	1	2	2	2	2	4	3	5	3	5	1	5	5	1
6	1	2	2	2	2	4	3	5	2	5	1	5	5	2
7	3	2	2	2	2	4	3	5	3	5	1	5	5	4
8	3	2	2	4	2	4	3	5	3	5	1	5	5	4
9	5	2	4	4	2	4	5	5	3	5	1	5	5	4
10	3	2	3	4	2	2	3	5	3	5	1	5	5	1
11	3	4	3	4	4	2	3	5	2	5	1	5	5	1
12	3	3	3	4	3	3	2	5	2	5	1	5	5	2
13	1	3	1	4	3	3	2	5	2	5	1	5	5	4
14	1	3	3	4	3	3	2	5	2	5	1	5	5	4
15	1	3	3	3	3	5	4	5	2	5	1	5	5	2
16	1	2	3	3	2	2	4	5	1	5	1	5	5	2
17	1	2	2	2	2	2	4	5	1	1	1	1	1	2
18	1	2	2	3	2	3	2	5	1	5	1	5	5	2
19	1	2	2	3	2	3	2	5	1	5	1	5	5	2
20	3	2	2	3	2	3	2	5	4	5	1	5	5	4
21	4	3	4	3	3	3	4	5	4	5	1	5	5	4
22	3	3	2	3	3	3	2	5	4	5	1	5	5	4
23	3	3	2	3	3	3	2	5	4	5	1	5	5	1



*Anexos 7. Levantamiento de información.*



