



Facultad de Economía y Negocios
Escuela de Ingeniería Informática Empresarial

Comparación de pequeños y grandes agricultores a través del estudio de dinámica de sistemas: ¿Es posible aplicar un modelo de rotación de cultivos en la agricultura con el fin de tener una producción sustentable?

Autores: Katerin Marlene Cifuentes Cifuentes
Ignacio Antonio Orellana Ibarra
Prof. guía: Martin Schaffernicht

Proyecto de Memoria para optar al título de INGENIERO INFORMÁTICO
EMPRESARIAL

TALCA - CHILE
2022

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2023

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
AGRADECIMIENTOS	6
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Sustentabilidad en el cultivo nacional	9
2.2 Agua en los riegos de cultivos nacionales	11
2.3 Modelo de cultivo rotativo	14
2.4 Modelo de dinámica de sistemas	18
2.4.1 Creación de modelo: Tipos, símbolos y diferencias	23
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	30
3.1 Documentos y artículos	30
3.2 Cuestionario y su estructura	31
3.2.1 Aplicación y participación de la encuesta	31
3.2.2 Tabulación de datos de la encuesta	33
3.3 Modelos	33
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	36
4.1 Prototipos de ideas	36
4.2 Encuesta	39
4.3 Diagramas y modelos	41
4.3.1 Diagramas de Inversiones	44
4.3.2 Diagramas de Rendimiento	51
4.3.4 Diagramas Ambientales	63
4.4 Simulaciones	69
4.4.1 Casos extremos	69
4.4.2 Comparaciones de inversiones	74
4.4.3 Comparaciones de rendimiento	77
4.4.4 Comparaciones de exportación	80
4.4.5 Comparaciones ambientales	84
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	90
5.1 Limitantes en la implementación del Modelo Rotativo	90
5.2 Relevancia de la investigación y sugerencias	91
ANEXOS	95
	1

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción general de la encuesta en el documento de analítica final de QuestionPro.....	33
Tabla 2. Definiciones de variables de modelo causal de “Inversiones”.....	46
Tabla 3. Descripción del modelo de “Flujo de Inversiones Generales”.....	48
Tabla 4. Definiciones de variables de modelo causal de “Cultivo y rendimiento”.....	52
Tabla 5. Descripción del modelo de flujo de “Rendimiento General”.....	54
Tabla 6. Definiciones de variables de diagrama causal de “Modelo Económico”.....	60
Tabla 7. Descripción del modelo de flujo de “Exportación”.....	61
Tabla 8. Definiciones de variables de diagrama causal de “Modelo Ambiental”.....	64
Tabla 9. Descripción del modelo de flujo de “CO2”.....	66
Tabla 10. Descripción del modelo de flujo de “Contaminación”.....	67
Tabla 11. Descripción del modelo de flujo de “Desechos”.....	68
Tabla 12. Valores para el ejemplo de “Inversiones”.....	74
Tabla 13. Valores para el ejemplo de “Rendimiento”.....	77
Tabla 14. Valores para el ejemplo de “Exportación”.....	80
Tabla 15. Valores para el ejemplo de “CO2”.....	84
Tabla 16. Valores para el ejemplo de “Desechos”.....	86
Tabla 17. Valores para el ejemplo de “Contaminación”.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación básica de estructura (a) y comportamiento de un sistema (b).....	20
Figura 2. Síntesis del proceso de modelización en dinámica de sistemas.....	22
Figura 3. Diagrama de influencias matriculación escolar y alfabetismo adulto “Sector educación”.....	23
Figura 4. Diagrama causal de un sistema de primer orden con retroalimentación negativa.	24
Figura 5. Diagrama de flujo de un sistema de primer orden con retroalimentación negativa.....	25
Figura 6. Comportamientos generados por un sistema de primer orden con retroalimentación negativa.....	26
Figura 7. Diagrama de un diagrama de primer orden con retroalimentación positiva.....	26
Figura 11. Crecimiento en S de una variable.....	28
Figura 12. Diagrama causal de crecimiento en S.....	29
Figura 13. Gráfico de respuesta y abandono proporcionado por el documento de analítica final de QuestionPro.....	32

Figura 14. Esquema preliminar para modelo dinámico “Método de cultivo 1”.....	36
Figura 15. Esquema preliminar para modelo dinámico “Método de cultivo 2”.....	37
Figura 16. Esquema preliminar para modelo dinámico “Agricultores”.....	37
Figura 17. Esquema preliminar para modelo dinámico “Proceso cultivo”.....	38
Figura 18. Esquema preliminar para modelo dinámico “Restauración suelo”.....	38
Figura 19. Esquema preliminar para modelo dinámico “Desarrollo cultivo”.....	39
Figura 20. Gráfico obtenido para “Dimensiones de terreno”.....	40
Figura 21. Gráfico obtenido para “Medidas contra plagas”.....	40
Figura 22. Gráfico obtenido para “Desarrollo económico en 5 años”.....	41
Figura 23. Representación de “TIPO DE CAMBIO CLP/USD” constante.....	43
Figura 24. Representación de “TIPO DE CAMBIO CLP/USD” disminuyendo.....	43
Figura 25. Representación de “TIPO DE CAMBIO CLP/USD” aumentando.....	44
Figura 26. Representación de las relaciones causales denominada “Inversiones”.....	45
Figura 27. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Flujo de Inversiones generales”.....	48
Figura 28. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Cultivo y rendimiento”.....	52
Figura 29. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Rendimiento general”.....	54
Figura 30. Representación de las relaciones causales denominada “Modelo Económico”..	59
Figura 31. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Exportación”.	61
Figura 32. Representación de las relaciones causales denominada “Modelo Ambiental”....	64
Figura 33. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “CO2”.....	66
Figura 34. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Contaminación”.....	67
Figura 35. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Desechos”...	68
Figura 36. Gráfico de “GASTOS TOTALES EN INVERSIONES” editado con valores extremos.....	70
Figura 37. Gráfico de “Ganancias acumuladas” editado con valores extremos.....	71
Figura 38. Gráfico de “Ganancias acumuladas” editado con valores extremos.....	72
Figura 39. Gráfico de “CO2” editado con valores extremos.....	73
Figura 40. Gráfico de “Desechos” editado con valores extremos.....	73
Figura 41. Gráfico de “Contaminación atmosférica” editado con valores extremos.....	74
Figura 42. Gráfico de “GASTOS TOTALES EN INVERSIONES” de pequeños agricultores.	76
Figura 43. Gráfico de “GASTOS TOTALES EN INVERSIONES” de grandes agricultores. .	77
Figura 44. Gráfico de “Ganancias acumuladas” de pequeños agricultores.....	79
Figura 45. Gráfico de “Ganancias acumuladas” de grandes agricultores.....	80
Figura 46. Gráfico de “COSTO TOTAL” de pequeños agricultores.....	81
Figura 47. Gráfico de “COSTO TOTAL” de grandes agricultores.....	82
Figura 48. Gráfico de “BENEFICIO” de pequeños agricultores.....	83
Figura 49. Gráfico de “BENEFICIO” de grandes agricultores.....	83
Figura 50. Gráfico de “CO2” de pequeños agricultores.....	85
Figura 51. Gráfico de “CO2” de grandes agricultores.....	85
Figura 52. Gráfico de “Desechos” de pequeños agricultores.....	86
Figura 53. Gráfico de “Desechos” de grandes agricultores.....	87
Figura 54. Gráfico de “Contaminación atmosférica” de pequeños agricultores.....	89
Figura 55. Gráfico de “Contaminación atmosférica” de grandes agricultores.....	89

RESUMEN

Cada vez más personas se preocupan de lo que consumen, esto gracias a diversas campañas informativas de organizaciones como la ONU (Naciones Unidas), que centra su interés en mejorar la producción de alimentos, señalan que el modelo convencional de la agricultura es insostenible a largo plazo. Existen diversos aspectos que avalan esto y que van desde el impacto en la salud del trabajador agrícola expuesto a agroquímicos o la del consumidor expuesto de igual forma, hasta la pérdida de biodiversidad implicada en el uso de recursos y la generación de productos comestibles. Una alternativa para disminuir estas repercusiones es el cambio del modelo tradicional a uno ecológico, que fomente la producción y consumo consciente para lograr un modelo sostenible.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es analizar la factibilidad del Método de Cultivo Rotativo como mecanismo para conseguir una producción agrícola sustentable. Para evaluar esta factibilidad fue necesario considerar distintos enfoques. Por tanto, en el este trabajo se realizó un modelado de 4 aspectos relevantes: Inversiones, Rendimiento, Exportación e Impacto Ambiental, los que se basaron en literatura como primera fuente y en encuestas a agricultores (grandes y pequeños) como fuente de apoyo. El análisis de datos estuvo basado en una serie de preguntas realizadas a 22 profesionales agrícolas de la sexta y séptima región, que entregaron algunos datos relevantes para diseñar y simular el comportamiento de los diagramas Causales y de Forrester desde el año 2016 a 2030.

Los resultados señalan que el Modelo Rotativo es rentable a largo plazo sin importar las dimensiones de terreno que posea el agricultor, entregando una tendencia favorable en las inversiones, el rendimiento y el impacto ambiental asociado, pero no así en la exportación, que es donde la tendencia se inclina hacia el Modelo Tradicional. Así, se concluye que existen barreras para una reconversión de modelo que necesitan de un mayor análisis y estudio, por lo que se incentiva a investigadores a profundizar y/o abordar factores causantes o limitantes, ya sea con una muestra regional o nacional que respalde los estudios.

ABSTRACT

More and more people care about what they consume, this thanks to various information campaigns from organizations such as the UN (United Nations), which focuses their interest in improving food production, indicate that the conventional model of agriculture is unsustainable in long term. There are several aspects that support this and that range from the impact on the health of the agricultural worker exposed to agrochemicals or that of the consumer exposed in the same way, to the loss of biodiversity involved in the use of resources and the generation of edible products. An alternative to reduce these repercussions is the change from the traditional to an ecological model, which foster conscious production and consumption to achieve a sustainable model.

In this context, the objective of this investigation is to analyze the feasibility of the crop rotation method as a mechanism to achieve sustainable agricultural production. To evaluate this feasibility it was necessary to consider different approaches. Therefore, in this work a modeling of 4 relevant aspects was carried out: investments, performance, exportation and environmental impact, which were based on literature as the first source and farmer surveys (large and small) as a source of support. The data analysis was based on a series of questions asked of 22 agricultural professionals from the sixth and seventh region, which provided some relevant data to design and simulate the behavior of causal and Forrester diagrams from 2016 to 2030.

The results indicate that the crop rotation model is profitable in the long term regardless of the dimensions of land that the farmer possesses, delivering a favorable tendency in investments, the performance and the associated environmental impact, but not in exportation, which is where the trend is inclined towards the traditional model. Thus, it is concluded that there are barriers for a model conversion that need a greater analysis and study, so researchers are encouraged to deepen and/or address causative or limiting factors, either with a regional or national sample that supports the studies.

AGRADECIMIENTOS

“Al profesor Martin Schaffernicht por su disposición, correcciones y sugerencias que permitieron enfocar este estudio y llevarlo a fin. Al Profesor Yony Ormazábal que nos guió y corrigió en los mínimos detalles, motivando a continuar y mejorar paso a paso esta investigación.”

Ambos tesistas

“A mi familia y amigos que me apoyaron en cada etapa de este proceso y que me dieron fuerzas para continuar y culminar esta parte de mi vida universitaria. A todos aquellos que estuvieron y están en mi vida, pero especialmente a mi madrina Ana María, porque si no fuera por ella no sería la persona que soy hoy en día. Gracias a todos.”

Katerin Marlene Cifuentes Cifuentes

“Agradezco de corazón a cada persona que estuvo durante este proceso, a mi familia, a mis padres, hermanos, a quienes me han apoyado y se preocupan por mí a pesar de todo, especialmente a aquellos que no se encuentran en este plano existencial, pero estuvieron conmigo durante mi vida universitaria, de algún punto de la existencia espero que estén orgullosos de mí. Gracias.”

Ignacio Antonio Orellana Ibarra

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Hoy en día, es fundamental encontrar soluciones para contrarrestar los crecientes problemas que afectan al medio ambiente a nivel mundial en cuanto al uso y gestión de los recursos naturales, particularmente en el tema del agua y sus usos. Al contar con escasos recursos y un entorno que cada vez se encuentra más deteriorado debido a los suelos erosionados y la mala calidad del aire, el mal uso de los recursos no hace más que dificultar la sustentabilidad de la sociedad actual y el planeta en general. Un desarrollo sustentable parece ser la respuesta más acertada a esta problemática global, destacando que el principal foco es la recuperación y fortalecimiento de los suelos y de los recursos limitados como el agua dulce, suelos fértiles o los ecosistemas naturales propios de distintos puntos de la tierra.

En la agricultura tradicional se utilizan métodos con poco control y baja capacitación técnica de productores, por lo que los cultivos y la tierra se ven expuestos a grandes cantidades de químicos, como fertilizantes y pesticidas, los cuales contaminan en gran medida el medio ambiente, logrando incluso que disminuyan de manera más rápida los nutrientes naturales que contienen los suelos. Los métodos de cultivo tradicional están más enfocados en la cantidad que en la calidad y sustentabilidad, por lo que muchos terrenos ya no presentan una condición óptima para la siembra y su fertilidad está gravemente afectada debido a los procesos descuidados a los que se ven expuestos reiteradamente. En el cultivo tradicional es común que el ecosistema que lo rodea se vea dañado, ya sea por pesticidas, herbicidas, fertilizantes, o bien por filtraciones de agua contaminada en los suelos, que causan degradación en la tierra. Por otro lado, el método de cultivo rotativo (como lo dice su nombre) se enfoca en alternar las plantaciones para evitar que se erosione el suelo, dejando tierras en barbecho, lo cual preserva de mejor manera todos los elementos naturales que contiene y repone algunos elementos perdidos, generando además un ahorro de químicos y nutrientes a aplicar.

La presente Memoria de Título se enfoca en tratar de responder la pregunta: ¿Es posible aplicar un modelo de rotación de cultivos en la agricultura con el fin de tener una producción sustentable? Para esto, se realiza una recopilación y revisión

de documentos, además de entrevistas técnicas con las que se recopila información necesaria para simular distintos escenarios mediante la metodología de dinámica de sistemas. Así, el trabajo consideró la realización de encuestas para obtener datos cualitativos y cuantitativos que permitieran conocer y estudiar el tipo de manejo de campo utilizado por grandes y pequeños agricultores de la zona centro-sur del país, teniendo como objetivo general analizar la factibilidad del método de cultivo rotativo como mecanismo para conseguir una producción agrícola sustentable. Como objetivos específicos se establecieron los siguientes:

- Recopilar información requerida para la creación de modelos de simulación, considerando documentos, artículos y la aplicación de una encuesta.
- Definir y modelar las variables que interfieren en la simulación para así organizar la información de manera efectiva.
- Elaborar modelos de dinámica de sistemas o bucles de retroalimentación que tengan interacción y cohesión entre sí, y que ayuden a resolver la interrogante principal del estudio.
- Analizar los resultados obtenidos de la base de datos y los modelos de dinámica de sistema generados.

Del análisis comparativo de los métodos de cultivo y de los tipos de agricultores, se obtienen conclusiones respecto de los beneficios, ventajas y potenciales efectos en la agricultura regional, identificando escenarios posibles a través de la dinámica de sistemas.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan y revisan diferentes conceptos y definiciones relacionados con la sustentabilidad en la agricultura, el manejo de cultivos y la dinámica de sistemas, tópicos que son necesarios de entender y tener presentes para comprender de manera apropiada el desarrollo y resultados del presente trabajo de memoria.

2.1 Sustentabilidad en el cultivo nacional

La sustentabilidad es un concepto que abarca amplios aspectos, englobando todas las acciones que se deben considerar para evitar la afectación negativa del medio ambiente, por lo que se presenta hoy en día como el camino correcto a seguir. En este contexto, la sustentabilidad apunta a generar un resultado eficaz en el cuidado del ecosistema en el que se trabaja, particularmente en la conservación de suelos, calidad del agua, calidad de aire y la baja o nula generación de contaminantes o desechos. La sustentabilidad es un tema que abarca elementos que no necesariamente son de la misma concepción, como, por ejemplo, los seres vivos y objetos inertes, y que influyen en nuestra toma de decisiones diarias. De este modo, resulta un concepto amplio donde su definición varía según el tema que abarque, pero que es esencial en cuanto a las reglas que se deben seguir y tener en cuenta en cualquier ámbito que utilice recursos naturales.

Para poder explicar y definir qué es la sustentabilidad, es necesario conocer su enfoque y el área que se requiere mejorar o cambiar para poder satisfacer las necesidades que tenga algún grupo humano o el sistema que se requiera implementar. En este sentido, para la solución de cualquier problemática, es importante conocer el entorno de desarrollo del proyecto que requiera sustentabilidad. Es evidente que las variables que se verán afectadas a grandes rasgos serán el medioambiente, la sociedad y la economía, puesto que son las materias más influyentes en la vida cotidiana y el futuro del ser humano. En el contexto de este

estudio en específico, se enfocará la atención en el área rural, al incluir de manera primordial el desarrollo sustentable de la agricultura, los cultivos, sus métodos de plantación y cuidado, y la totalidad de los elementos que inciden en todos estos procesos de producción. Sánchez (2019) sugiere que “el concepto de sustentabilidad se basa en el cálculo de la capacidad productiva de un ecosistema que permite satisfacer con relativa holgura las necesidades económicas [...] que gestionan rentas derivadas del cultivo y cosecha de algún recurso natural”; es por esta declaración que el concepto de sustentabilidad aplica de manera acertada al estudio de los cultivos y su modelo.

Refiriéndose netamente a los cultivos, la agricultura es un sistema y práctica que ha ido evolucionando con el ser humano, que busca a través de la siembra y cuidado de la tierra generar frutas, verduras o cereales que serán utilizados y aprovechados con fines alimenticios, ornamentales o bien medicinales. Es así como se entiende a la acción del cultivo sustentable como todo aquello que se realiza con el fin de mejorar, tratar y transformar las tierras para un óptimo crecimiento y desarrollo de las siembras.

En Chile cada tipo de cultivo tiene un proceso diferente, dependiendo de si son cereales, como avena, maíz y trigo; frutas tales como manzanas, peras y uvas; o verduras como ajos, cebollas, espárragos, entre otros. Estos tres tipos de productos varían en su cuidado, manejo y desarrollo, ya que, dependiendo de la especie, variedad y ubicación, se deberá trabajar en ellos de manera particular. La siembra varía de Norte a Sur, y dependiendo del lugar, el viento, el sol y el agua, estos elementos deben ser controlados de diferente manera para que el producto no se vea afectado y logre estar óptimo para su cosecha.

Como se mencionó, este estudio está enfocado específicamente en la sustentabilidad agrícola, buscando con este método el poder recuperar y fortalecer los suelos a través de procesos naturales que evitan tener que dañar gravemente la tierra y no darla por perdida debido a las anteriores maneras con las que era manejada. Este es un balance muy frágil y delicado, en donde al mínimo descuido se puede perder un recurso natural vital para los agricultores de la actualidad, así como aquellos del futuro.

Así, un diseño de sistemas sustentables en la agricultura es requerido para continuar utilizando los suelos en cultivos sin perjudicarlos a futuro. El sector agrícola se verá impulsado por estos sistemas, debido a que, dependiendo del grado de sustentabilidad agrícola, se puede mejorar o recuperar un terreno gracias a la utilización de sistemas de regadíos óptimos, nutrientes orgánicos o cualquier otro elemento que aporte a preservar el medio ambiente. Para poder llegar a este nivel ideal, se deberán implementar diversos métodos y actividades que procuren no dañar el entorno.

2.2 Agua en los riegos de cultivos nacionales

Una parte fundamental de la sustentabilidad es saber aprovechar los recursos disponibles, tratando de evitar el quedarse sin aquello. Lo que da vida a todo el proceso agrícola es el agua, la cual, según García et al. (2001) “es un compuesto con características únicas, de gran significancia para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural”. Debido a la importancia que tiene, es fundamental e indispensable mantener un control de los compuestos y sustancias que puedan dañar este recurso, evitando con esto el contaminar las reservas disponibles, además de aportar a cuidar el medioambiente en su conjunto.

Según López-Gálvez (1997) “El concepto de agricultura ha sido tradicionalmente entendido como propio de actividades muy dependientes del medio físico natural. No debe pues extrañar que la prosperidad agrícola de una zona fuera concebida como algo consustancial con circunstancias favorables de suelo, clima y agua”; esto evidencia la importancia de estos elementos en el desarrollo de cualquier actividad agrícola. Sumado a lo anterior, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) afirma que “el acceso a agua, saneamiento e higiene es un derecho humano, y, sin embargo, miles de millones de personas siguen enfrentándose a diario a enormes dificultades para acceder a los servicios más elementales” (Caycedo y

Trujillo, 2020). Es necesario destacar esto, ya que, al ser uno de los recursos naturales más importantes, influye en muchos ámbitos más allá del agrícola; su déficit y mal uso pueden provocar una reacción en cadena negativa que afectaría no solo a los humanos (de manera vital y económica), si no a la mayoría de los ecosistemas, poniendo en riesgo especies tanto de plantas como de animales ante una escasa o limitada disponibilidad de agua.

Actualmente, los países a nivel global se encuentran en alerta ya que el cambio climático y el rápido consumo del agua ha provocado enormes sequías en ciertas partes del planeta y, como se mencionó anteriormente, es un problema que afecta más allá de la producción de alimentos. Esto lo destaca la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Domínguez et al., 2019), que señala que “para el año 2050 se prevé que la población mundial alcance los 9.700 millones de personas, lo que iría acompañado de un incremento del doble del ingreso medio per cápita, aumentando en más de 50% la demanda de alimentos en el mundo”.

Como se evidencia, el agua en los cultivos es esencial para el desarrollo de la agricultura, y su escasez es una variable que puede afectar negativamente el rendimiento de los cultivos y la calidad de estos. Para que se produzcan frutos, cereales o verduras óptimas, se requiere de un cierto nivel de humedad en los suelos, lo cual puede ser controlado de acuerdo a los riegos que se administren, que a su vez varían dependiendo del método y la situación particular de cada productor/administrador y terreno. Como los cultivos son delicados y diferentes entre sí, no se puede utilizar el mismo sistema de riego, debido a que, si se hace, solo generaría pérdidas de siembras y de agua. Así, el agua es un recurso que se debe ocupar de manera eficiente, ya que su mal uso provoca un suceso en cadena que puede perjudicar a las demás siembras al quedarse sin las reservas de agua que necesitan. El saber cómo minimizar las pérdidas es la mejor herramienta para los agricultores, una que puede salvar sus cosechas y sus reservas, de esta forma el conocer el tipo de topografía y las distintas maneras de infiltración en los suelos, les permitirá distribuir y aprovechar al máximo este recurso. Se le llama infiltración a toda el agua que ingresa a los suelos, la cual es absorbida de diferente manera dependiendo de la textura de la tierra y la velocidad con la que ingresa, siendo estas

dos variables muy importantes para poder controlar posibles procesos de erosión. En cuanto a la topografía, esta es una variable que permite conocer y controlar la velocidad con la que el agua se infiltra mientras avanza, dependiendo de las pendientes y los desniveles en los suelos. Esta información es base para poder manejar la absorción y controlar zonas con mayores posibilidades de que permanezcan secas o bien con una humedad mayor a la que se necesita.

Así se debe elegir el método más eficiente para regar, cultivar y cuidar el proceso de la siembra, pudiendo clasificarse en “Riego por Superficie” y “Riego Presurizado”. El primero cuenta con diversas formas de implementación, siendo estas: por melga, surco o tendido. Este último es un tipo que, si bien tiene un bajo costo de inversión y no consume energía, tiene grandes posibilidades de infiltraciones que pueden generar pérdidas si no se sabe controlar al momento de administrar. Por estos, el riego por tendido se podría considerar el peor a utilizar, siendo el que genera más pérdidas, ya que los desniveles en la tierra y una mala distribución de las siembras pueden ocasionar que, al momento de aplicar el riego, se generen excesos de agua en los cultivos. En el riego por surcos el agua va avanzando por pequeños canales que se realizan en la tierra, donde se debe tener en cuenta la textura y otros aspectos de la misma para regular las infiltraciones, creando unos más angostos y profundos para suelos arenosos, y canales más anchos y con poca profundidad si es que la tierra es arcillosa. En el riego por melgas el agua avanza por una superficie de suelo, siendo guiada por unas elevaciones de tierra (bordos), por lo que tiene la desventaja de necesitar una gran cantidad de agua y un suelo bien nivelado para que se pueda absorber el agua necesaria, lo cual puede generar un derroche y mal uso de las reservas disponibles.

El segundo método de riego es el presurizado, un sistema que conduce el agua por tuberías, con una cierta presión que permite que esta llegue directamente a la o las plantas, ya sea por medio de una bomba o de forma natural utilizando la pendiente del terreno. En este tipo de método existen 3 opciones de riego, siendo estas: por goteo, aspersion y microaspersion. El primero consiste en aplicar el agua por medio de gotas en un lugar cercano a la planta (no de forma directa), realizando esta acción de forma continua hasta que la tierra esté suficientemente húmeda, sin formar un

charco o causar una inundación. El segundo es el riego por aspersión, el cual permite aplicar el agua en forma de lluvia sobre la planta. Aquí el agua es conducida por tuberías a presión y al llegar al aspersor el chorro se divide en muchas gotas que caen sobre el suelo. Es un método de riego que funciona muy bien, pero que puede causar muchas pérdidas, tanto de energía como del agua, ya que, al cubrir gran parte del suelo, se producen muchas pérdidas por evaporación. El último es el riego por microaspersión, que consiste en la aplicación de agua al suelo en gotas muy pequeñas, y que funciona con una presión mucho más baja que la usada en la aspersión. Los micro aspersores suelen tener un soporte que los conecta al suelo, o bien los cuelga sobre las plantas, y están unidos a una manguera que abastece de agua a los cultivos y los suelos de manera superficial.

A nivel nacional, la actividad agrícola varía según el cuidado y mantenimiento de las siembras y el método de riego con sus respectivos elementos de sanitización y distribución. A su vez, va cambiando dependiendo del ciclo en el que se encuentre, siendo las actividades después de la cosecha los procesos que traen beneficios económicos y que dan paso a que culmine, cambie o inicie otro. Cabe destacar, que además de considerar estos aspectos, es importante tener en cuenta el tipo de cultivo y el tiempo desde que se sembró, ya que dependiendo de esto el sistema y ciclo de riego variará, así como el resto de los cuidados del cultivo.

2.3 Modelo de cultivo rotativo

La agricultura es una actividad que ha ido evolucionando en el tiempo y que se ha ido perfeccionando, de manera que cada vez es más eficiente y con resultados más beneficiosos. Sin embargo, no siempre fue así, Muñoz (2010) asegura que antes de implementar métodos más eco amigables, las superficies de maíz a nivel nacional disminuyeron significativamente, pasando de 128.211 a 122.547 hectáreas desde el año 2009 al 2010. A raíz de esto, se comenzaron a utilizar diferentes métodos, como la rotación de cultivos y el uso de abonos, para poder reponer los nutrientes del suelo que son necesarios en el desarrollo de las plantas. Ríos (2016) evidencia que los

primeros abonos utilizados eran puramente orgánicos y eran absorbidos por las raíces directamente; posteriormente, se sintetizaron gracias a tecnologías desarrolladas para estos fines. Es con el pasar de los años que los métodos de preservación del suelo se profesionalizaron, aumentando la producción y cuidado de estos. Se identificó que no todos los cultivos son iguales en su cuidado y, por consiguiente, se crearon diversos modelos de cultivos, como es el caso del método de rotación que comenzó a implementarse en el año 2010 con el objeto de obtener mejoras en el rendimiento y la conservación de los suelos. Según los datos de Domínguez et al. (2010) y Muñoz (2019), existe una clara diferencia en el rendimiento del maíz desde el año 2009 al 2018, donde se pasó de 1.357.921 a 11.106.077 de toneladas de maíz, dejando en claro que, con el método de cultivo correcto, el producto puede llegar a masificarse.

Los modelos de cultivos se refieren al método que adopta cada plantación en el sector agrícola; estos varían dependiendo de muchos factores, tanto internos como externos. El factor interno más importante para el proceso y vida del cultivo (independiente de su origen) corresponde al tipo de semilla que se siembra, esto debido a que de esta nace la planta que producirá el fruto, además de considerar que en cada cultivo son distintos los cuidados, las cantidades de químicos para su desarrollo y principalmente su cosecha. En los factores externos, el clima es determinante en el desarrollo de los cultivos. A su vez, las plagas, productos químicos y cuidados humanos son otros elementos que influyen en la correcta proliferación de frutas y verduras u otros. Sin embargo, el más importante es el suelo, es decir, el tipo de tierra en que se planta y trabaja el producto, por ende, es indispensable pensar en el método de cultivo y riego más acertado para cada tipo de planta y el suelo en el que se desarrollará.

Un buen manejo de la tierra es vital para producir los mejores productos y esto es algo que los agricultores conocen bien. Por lo mismo, para poder nutrir los suelos se utilizan diversas formas y métodos durante cada proceso del cultivo, incluyendo químicos que ayudan y “fortalecen” la tierra, aunque a largo plazo la deterioran más. Actualmente, solo una pequeña parte de los cultivos alrededor del mundo respeta el uso adecuado de fertilizantes y pesticidas, lo cual lleva a problemas ambientales y de

salud para los trabajadores de los alrededores (ONU, 2022). Los productos que se aplican se caracterizan por contener altos grados de nitrógeno, por ejemplo, que puede ayudar a aumentar o disminuir el dióxido de carbono en los suelos, generando pérdidas de los cultivos y de terreno, ya que al no obtener los resultados esperados se deben replantar, si es posible, todo el cultivo que no esté en su máximo desarrollo y condición. Así, un mal proceso de siembra, producción y/o cosecha, puede llegar a deteriorar la tierra, hasta que poco a poco perderá los nutrientes naturales y necesarios para los cultivos. Es aquí donde entra la rotación de cultivos, un método más natural y amigable con el entorno que permite obtener excelentes resultados sin dañar el balance del ecosistema que lo rodea.

En el año 2010 fue sugerido e implementado un modelo que buscaba la producción sustentable en el país, todo esto a través de la rotación de cultivos agrícolas, un método no invasivo ni dañino. Este programa llamado “Recuperación de los Suelos” fue propuesto y establecido por el Ministerio de Agricultura en la Ley N°20.412 (Decreto N°51) con el fin de ayudar y apoyar a los grandes y pequeños agricultores del país, bajo la premisa de que, con el apoyo, la guía y los conocimientos necesarios, es posible lograr maximizar la producción de los cultivos, así como la calidad de estos, sin tener que dañar de forma permanente la tierra en la que se siembra.

El modelo de rotación de cultivos considera un tipo de asociación de plantas que se van alternando de lugar, teniendo en cuenta para esto su familia (tipo o grupo de cultivo) y los nutrientes que necesitan para desarrollarse. Al contar con esta información es posible tener un mayor control sobre la calidad del suelo (nutrientes), así como de las enfermedades que pueden aumentar o disminuir dependiendo de la secuencia de cultivos. Para poder aplicar este modelo a los campos, es necesario conocer los 3 tipos de asociaciones, que son: 1) Mezclados, que es cuando en el terreno se siembran al azar, sin mantener un control o un orden predeterminado de los cultivos; 2) Intercalados, que es cuando se siembra las plantaciones con una distancia de un surco entre los tipos de cultivos; y 3) En parcelas, donde se siembran secuencias de cultivos en parcelas y se van intercalando por fajas que actúan de barrera contra el viento y el agua del suelo y los demás cultivos.

La arquitectura de estos policultivos permite disminuir la velocidad del agua entre los terrenos, causando una infiltración más lenta que mantiene la humedad necesaria en los suelos, que además va lavando los tallos y hojas de estas plantas permitiendo recuperar los nutrientes necesarios para la tierra, y manteniendo así la fertilidad en los suelos. Este es un método que promueve el equilibrio biológico, buscando sacar provecho de los recursos naturales en los terrenos sin aplicar métodos agresivos para el entorno.

El fin de esta estrategia agrícola, hace alusión a la continuidad de la fertilidad y restauración de los suelos a través de un plan de producción que genere beneficios económicos y ecológicos, ya que, al utilizar material orgánico, la calidad de los suelos se mantiene estable y se evita el daño y deterioro prolongado de los mismos. Además, al utilizar este método de cultivo es posible reducir el uso de maquinarias en los campos, al disminuir la necesidad de labranza, así como el uso de químicos para plagas que es reemplazado con la secuencia de cultivos que actúan como repelentes y/o protectores de estas enfermedades.

La constante demanda de productos amigables con el medioambiente está cobrando importancia y va creciendo aceleradamente en los últimos años debido a que las generaciones actuales están tomando conciencia sobre el real estado en el que se encuentra el planeta y, a raíz de esto, buscan soluciones ecológicas y sustentables. La agricultura sustentable es una de las tantas medidas que se toman para apoyar esta corriente, siendo este un método eco amigable, que fomenta e impulsa el uso racional de los recursos y componentes en el área agropecuaria. Según la ODEPA (2019), Chile es un país que poco a poco va implementando estas ideas y tendencias, por lo que, a través del ministerio de agricultura, se impulsa diversas medidas con prácticas tendientes a una agricultura sustentable.

Una producción sustentable es la meta, por lo que una gran parte de las superficies agrícolas actualmente están implementando medidas orgánicas, en donde limitan el uso de plaguicidas y fertilizantes en los cultivos, y con esto se evitan productos alterados, así como un daño irreparable al potencial productivo que son los

suelos (ONU, 2022). El conservar y restaurar los suelos se ha vuelto un foco a tener en cuenta para el sector agrícola (ODEPA, 2019), ya que este provee los nutrientes y minerales necesarios para el continuo desarrollo de los recursos y productos a cultivar, y una medida para lograr esto sin dañar el entorno es mediante la rotación de cultivos, un plan de secuencias de siembras que considera la especie, tiempo y tipo de suelo. Para esto se debe evaluar y discernir el mejor patrón de cultivos, considerando la ubicación de cada uno para controlar los beneficios o daños que podría traer consigo en su conjunto.

Establecer patrones de cultivos genera un buen aprovechamiento de los suelos, lo que logra no solo un beneficio ambiental, sino que además uno económico, porque al disminuir los gastos en maquinaria, insumos y en producción, se puede tener un sistema agrícola sustentable que genere un cambio positivo y con un valor añadido en su producto al ser considerado orgánico. Al contar con productos libres de químicos, se obtienen mejores tratos comerciales, sobre todo en el extranjero, lo que asegura una mejor recepción de sus cosechas y con mayores posibilidades de venta.

2.4 Modelo de dinámica de sistemas

La sociedad constituye un complejo gran sistema, relacionado, entre otras cosas, a sus actividades y costumbres, y que alberga a su vez, a otros múltiples sistemas. Al respecto, Méndez (2016) indica que “los sistemas están presentes en todas partes”. Así, el concepto de sistema es amplio y variado, según Aracil (1995) “hablamos de un sistema como de un objeto dotado de alguna complejidad, formado por partes coordinadas, de modo que el conjunto posea una cierta unidad, que es precisamente el sistema”. Sin embargo, la definición de sistema varía según el contexto en el que se aplique; en este estudio nos centraremos en el significado de este concepto para el estudio de la dinámica de sistemas. Es así como Aracil (1995) sugiere que “un sistema, en este sentido, lo entendemos como una unidad cuyos

elementos interaccionan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común”.

El término “dinámica” indica que estamos en un entorno cambiante, que es influido por muchos factores para poder llegar a un estado y desenvolverse en el mismo. Estos factores no son estáticos por naturaleza, es decir, cambian ya sea por influencia humana o por sí mismos, cambiando a su vez los resultados finales de cada elemento en el que inciden, siendo esto, un entorno dinámico. Según lo evidenciado por Aracil (1995) “la dinámica de sistemas es una metodología ideada para resolver problemas concretos”, un proceso que brinda claridad sobre la situación a resolver, así como la causa de esta. Con esto se busca conocer la interacción mutua entre las variables, además de ofrecer una retroalimentación sobre esta información, así como sus causas circulares (que se interconectan unas con otras); todo esto siendo analizado y diseñado idealmente por medio de un programa computacional. Así, esta herramienta constructiva permite realizar un análisis y simulación de los problemas a resolver, conectando hipótesis con causales, lo que permite observar los cambios y comportamiento de las variables a evaluar con un tiempo finito medio o largo, brindando la oportunidad de reconocer e identificar la evolución de estos en el modelo de simulación llamado dinámica de sistemas.

Una parte fundamental de la dinámica de sistemas y sus representaciones es su construcción, la cual está conformada por un conjunto de flechas y puntos, todo lo cual se denomina “diagrama causal”. Ibarra y Redondo (2015) aseguran que estos “capturan todas las hipótesis propuestas por el modelador, desde las que se puede aprender del sistema para intervenir sobre él en el ejercicio de decisión”. En cuanto a la estructura y lo fundamental, tenemos los denominados “modelos”, que según Cadenas y Guaita (2020) se refieren a “toda la información obtenida sobre las características y componentes de dicho sistema, de su estructura y comportamiento con respecto al medio que lo rodea, lo que permite crear una representación mental del mismo”, teniendo como sistema, el universo del tema y/o los objetos que se están estudiando. En la Figura 1 se muestra cómo es una representación de la estructura y el comportamiento de un sistema, sin especificar sus incidencias ni resultados.

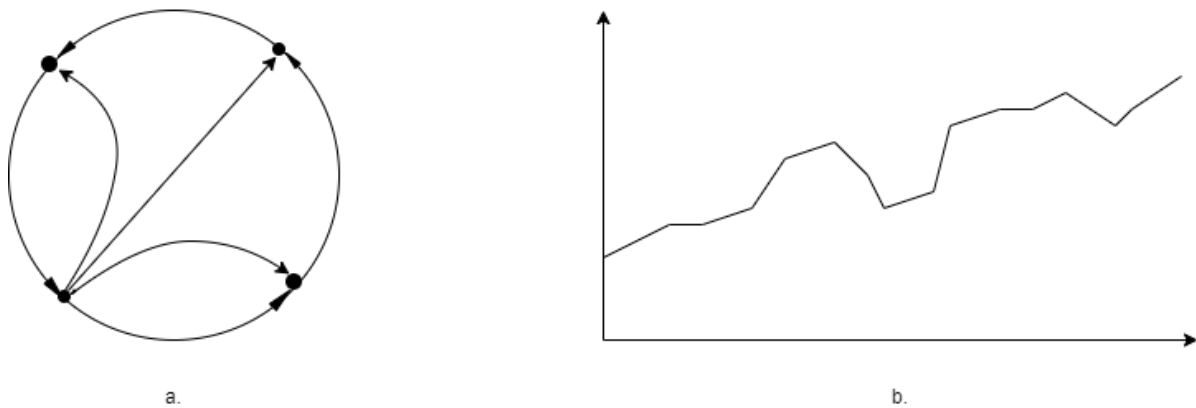


Figura 1. Representación básica de estructura (a) y comportamiento de un sistema (b). Fuente: (Aracil, 1995).

El estudio de dinámica de sistemas no está limitado a ciertos temas ni pretende resolver solo dudas informáticas, sino lo contrario, tiene la virtud de poder incidir y estudiar temas variados y no correspondientes a un solo saber, es ahí donde este método de estudio destaca y es ampliamente utilizado para instruir el espectro completo de un cuestionamiento y poder formular conclusiones del estudio y/o análisis formulado.

El uso del modelo de dinámica de sistemas proporciona (mediante su modelado) un análisis y construcción de la situación a estudiar. Este, en ocasiones y dependiendo del estudio, puede ser un sistema enmarañado, con un tamaño sujeto a la cantidad de atributos o variables que lo componen. Tomando en cuenta además el tiempo total al que se somete el estudio, puede haber una serie de ciclos en donde se toman decisiones para el control, ordenamiento y evaluación del proceso completo. El desarrollo de modelado no es secuencial en sí, es decir, se generan muchas dudas a lo largo del desarrollo, a raíz de la información que puede influir o no (supuestamente) en el análisis completo de la situación; es debido a esto, que es importante el estar siempre considerando todos los factores incidentes y no ignorarlos.

Existen diversos significados para la palabra “sistema”, como se mencionó anteriormente, por lo que debe ser entendido perfectamente para hacer un uso correcto del mismo. Existen dos definiciones que ayudan a comprender la idea básica

de este concepto: la primera definición de sistema en dinámica se puede describir como una cantidad determinada de partes (variables, herramientas, sistemas, piezas, etc.) que tienen interacciones entre sí para poder conseguir y/o alcanzar una meta u objetivo en común; mientras que la segunda interpretación hace referencia a un “sistema dinámico”, significado que toma una connotación más específica respecto al presente estudio, debido a que se define como muchos elementos (parecidos a la definición anterior de “partes”) que comparten algún ambiente, comportamientos, objetivos u otras cualidades, y que van desarrollándose en común a lo largo del tiempo (definido o no) a raíz de algún proceso interno del agente que los manipula (empresa, terceros, privados, máquinas, entre muchos otros).

Con el concepto de “sistema” ya definido, es posible pasar a especificar lo que representa el término “modelo” en la dinámica de sistemas, refiriéndose a este como la representación de un sistema (independiente de su tamaño), el cual está formado por elementos (variables) que influyen directa o indirectamente en el proceso del mismo; estos elementos forman el universo del modelo y son determinantes en su funcionamiento y parte fundamental del objetivo final de este, junto a sus conclusiones y su respectiva meta. Cada modelo tiene diversas finalidades según se requiera, y dependen del tipo de resultado que se necesite (predecir, entregar evaluaciones, entre otros ejemplos). Además, son muchos los factores que influyen en su desarrollo, tal como el tiempo determinado en el que se desean entregar resultados (corto, mediano y largo plazo), sus diagramas e incluso sus ecuaciones.

El concepto de dinámica de sistemas nace con el fin de darle solución de forma óptima y temprana a las incidencias que ocurran en proyectos, actividades y empresas. Esta pronta respuesta ayuda a acelerar y mejorar el proceso de interacción, debido a que, al realizar una retroalimentación de las incidencias, se aligera la carga y beneficia a las partes interconectadas. Si bien este método comenzó con un fin más ligado al mundo industrial, con el paso del tiempo ha ido evolucionando a una línea más social, llegando incluso a influir en el campo informático, en donde las herramientas de apoyo a esta dinámica están en auge continuamente. Estas herramientas permiten comprender el comportamiento, realizar una mejor toma de

decisiones, ofrecer soluciones más analíticas y en menor tiempo en las simulaciones por computadora, por lo que la dinámica de sistemas se ha vuelto muy frecuente.

En la elaboración de un modelo es importante considerar diversos factores que son necesarios para esclarecer y ofrecer una idea de qué aspectos influyen en el proceso de creación de este, siendo necesario considerar siete focos para comprender el inicio y fin de los problemas a suceder (Figura 2).

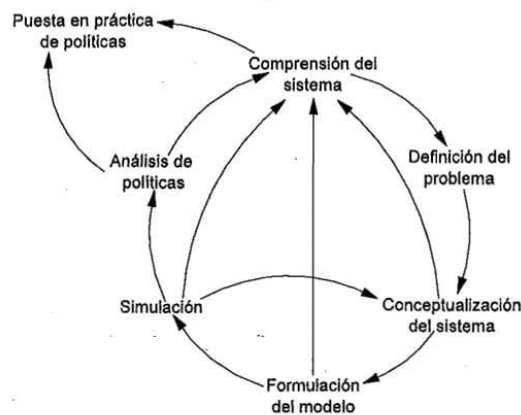


Figura 2. Síntesis del proceso de modelización en dinámica de sistemas.
Fuente: Richardson y Pugh (1981).

La dinámica de sistemas como metodología de investigación tiene la cualidad y ventaja de ser una herramienta que se puede ocupar en todos los ámbitos; no se limita solamente a problemas informáticos o de industria como fue en sus primeros años (décadas del 50 y 60). Posterior a sus primeras décadas de gestación, la dinámica de sistemas fue expandiendo su participación en asuntos sociales, desarrollo de políticas, medioambientales o laborales, llegando a ser útil en cualquier escenario en el cual se necesitará predecir y estudiar acciones a futuro para la toma de decisiones. Los tipos de modelos aplicados son muy amplios de abordar, ya que al ser una herramienta permisiva (dependiente de solo los conocimientos y foco del investigador y diseñador) brinda libertad creativa e investigativa que muy pocos métodos permiten. Un ejemplo de los casos y sectores abordados es en la educación, donde es posible evaluar la relación de la alfabetización con la tasa de matrículas en

la búsqueda de posibles vías de inversión que generen un cambio significativo para la población (Figura 3).

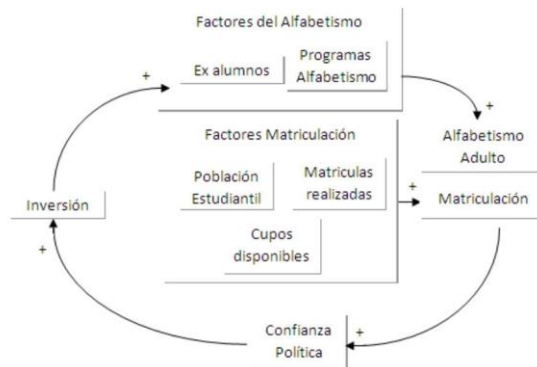


Figura 3. Diagrama de influencias matriculación escolar y alfabetismo adulto “Sector educación”. Fuente: Osorio et al. (2010).

2.4.1 Creación de modelo: Tipos, símbolos y diferencias

A manera de contextualizar debidamente la aplicación de la dinámica de sistemas como metodología, se debe mencionar las partes que componen y hacen posible el funcionamiento, conexión e interacción. El modelo conceptual de la hipótesis de cualquier investigación debe estar formado por un llamado “diagrama causal”, el cual, como su nombre lo dice, es un diagrama que posee elementos importantes (variables) con sus características. Estos pertenecen a un ambiente o sistema con un fin específico o características comunes entre sí, destacando la relación que existe entre cada variable y si esta es positiva (+) o negativa (-). Como se muestra en la Figura 4, estos símbolos indican el tipo de incidencia que tiene una variable sobre otra o algún elemento externo a estas que influya directa o indirectamente. Cuando el signo “+” influye en una variable, significa que los cambios aplicados a la primera variable serán también aplicados a la variable receptora del mismo modo que la emisora. Por otro lado, el signo “-” significa que los cambios en la variable receptora serán aplicados en sentido opuesto a la emisora. Una característica

importante a destacar es la denominación de “bucle”, lo cual es en esencia la relación constante o infinita de múltiples variables, un ciclo sin fin de interacciones entre estas.

Otro elemento importante de mencionar es el “diagrama de flujo” (o “diagrama de Forrester” en honor a su creador), ejemplarizado en la Figura 5 que representa un diagrama causal que puede ser leído por un software, adoptando diversas modalidades, clasificaciones, realización de análisis y la inclusión de ecuaciones en el modelo. Este tipo de estructura posee los “bucles de retroalimentación”, que son básicamente decisiones para la influencia de la variable dentro del proceso, teniendo como características importantes los “niveles” y “flujos”. En primer lugar, los “niveles” (representados por rectángulos en los softwares) son elementos que evidencian el estado del proceso en el modelo y cómo este se va desarrollando; mientras que los “flujos” son determinantes en la información que entregan los “niveles”, ya que acogen los resultados que se van dando de forma temporal en el modelo. Cabe destacar que en medio de estos flujos se pueden presentar Loops R (positivo +) y C (negativo-), dando una retroalimentación del comportamiento del modelo.

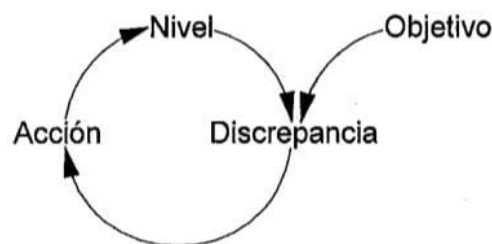


Figura 4. Diagrama causal de un sistema de primer orden con retroalimentación negativa. Fuente: González-Busto (1998).

Cabe señalar que no existe un orden estricto en la creación de los diagramas, usualmente se crea primero el “diagrama causal” para poder traducir este a “diagrama de flujo”, sin embargo, no siempre esto es así, todo depende del tipo de investigación y los elementos que se posean para sus respectivas creaciones.

Para poder modelar de forma concreta es necesario conocer la estructura implícita que se va formando al crear un sistema, teniendo en cuenta no solo el comportamiento, sino que también los elementos causantes de este comportamiento

dinámico, permitiendo con esto observar las estructuras que podrían generarse en sistemas reales. No obstante, al momento de analizar esto se deben tener en cuenta cinco estructuras simples, que son:

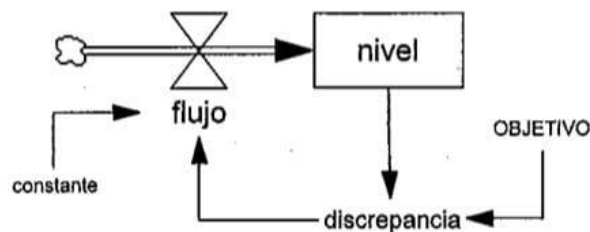


Figura 5. Diagrama de flujo de un sistema de primer orden con retroalimentación negativa. Fuente: González-Busto (1998).

1) Bucles de primer orden de retroalimentación negativa: Este tipo de sistema se caracteriza por tener un comportamiento dependiente de un objetivo. Siendo este un sistema de realimentación negativa, se consideran que son capaces de ser autorreguladores (establece un límite, un parámetro) y ser homeostáticos (estado de equilibrio). En las Figuras 4 y 5 se puede observar que el objetivo es una variable exógena, ya que se forma fuera del modelo, pero que sin duda afecta al comportamiento de este al toparse con el nivel. Este es un objeto de control que puede representar las acciones pasadas que varían por medio del flujo, definiendo y buscando un objetivo a través de un bucle (Figura 4) o de un diagrama de flujo (Figura 5). En la Figura 6 se puede observar el crecimiento o decrecimiento que se genera gracias a los bucles negativos, comportamientos totalmente dependientes de la relación que se forme entre el nivel y el objetivo.

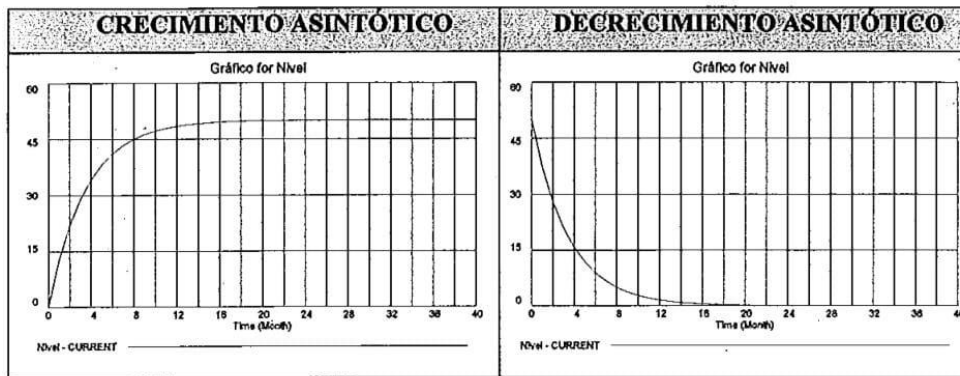


Figura 6. Comportamientos generados por un sistema de primer orden con retroalimentación negativa. Fuente: González-Busto (1998).

2) Sistemas de primer orden de retroalimentación positiva: En este tipo de sistema (Figura 7) es donde los efectos o salidas generan la acumulación de las acciones pasadas que se observan en la entrada de los sistemas negativos, dando lugar a los procesos de crecimiento o decrecimiento exponencial como los que se muestran en la Figura 8. Este tipo de sistema positivo tiene la característica de ser análogo al sistema negativo mencionado anteriormente, pero con la diferencia de que no tiene un objetivo que mantener o alcanzar.

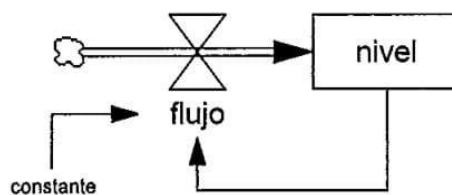


Figura 7. Diagrama de un diagrama de primer orden con retroalimentación positiva. Fuente: González-Busto (1998).

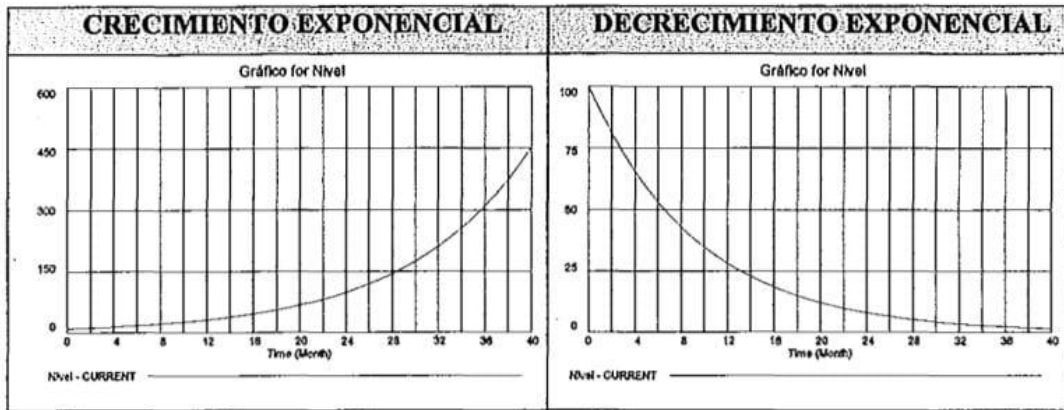


Figura 8. Comportamientos generados por un sistema de primer orden con retroalimentación positiva. Fuente: González-Busto (1998).

3) Bucles de segundo orden con oscilaciones: Los sistemas de segundo orden cuentan con dos niveles en su estructura, los cuales dan origen a la presencia de oscilaciones. Como se puede observar en la Figura 9, existen 3 bucles retroalimentados, presentando una estructura en donde uno es el principal que se conecta con los otros en los niveles, y dos son secundarios, pero que solo se conectan en su nivel, dando paso con esto a que se puedan generar o no oscilaciones crecientes, mantenidas o amortiguadas, como se observa en la Figura 10.

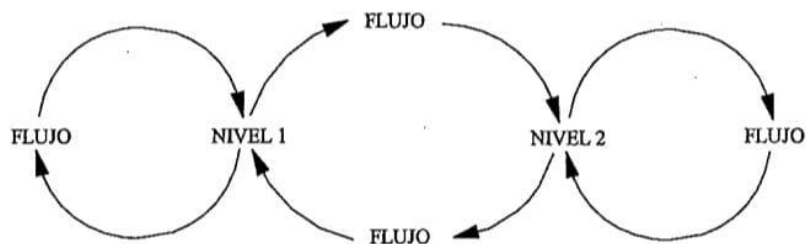


Figura 9. Diagrama causal de segundo orden. Fuente: Aracil (1986).

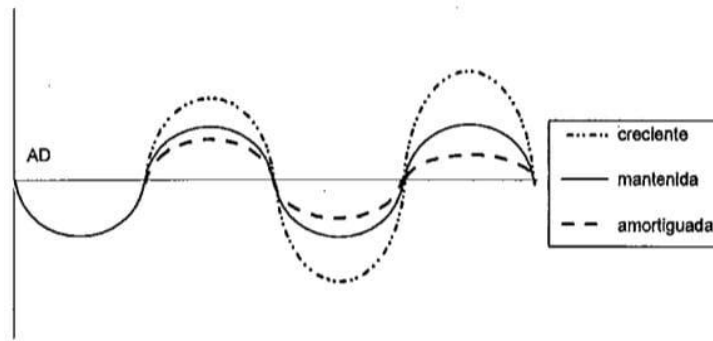


Figura 10. Tipos de oscilación de segundo orden. Fuente: Aracil (1986).

4) Curvas de crecimiento en S: Las curvas de crecimiento en S se caracterizan por tener una variable evolutiva de dos etapas, siendo estas el crecimiento exponencial y el crecimiento asintótico. En la Figura 11, se puede observar estas dos fases, donde gracias a la realimentación positiva se crea un crecimiento exponencial, mientras que en la segunda gracias a la retroalimentación negativa se logra estabilizar el crecimiento, dando origen a el crecimiento asintótico, un proceso estabilizador que va limitando el crecimiento.

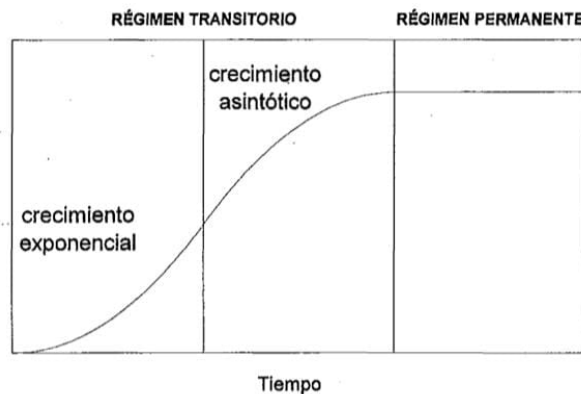


Figura 11. Crecimiento en S de una variable. Fuente: González- Busto (1998).

5) Fenómenos de acoplamiento entre dos bucles: Durante el estudio de la estructura de crecimiento en S, se puede indicar que el comportamiento es transitorio, ya que pasa de una retroalimentación positiva a una negativa, que es análoga a la positiva, generando con esto el fenómeno de un crecimiento en S entre estos dos bucles. Esto se puede observar en la Figura 12, donde se muestra un diagrama causal con la estructura mencionada.

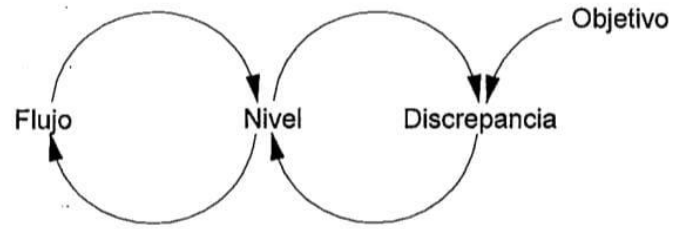


Figura 12. Diagrama causal de crecimiento en S. Fuente: González-Busto (1998).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

En este capítulo se aborda la metodología que se utilizó en el trabajo para obtener información y datos relevantes, dividiéndola en partes y subpartes. Los títulos importantes en esta sección se conforman primeramente por “Documentos y artículos”, que indica cómo y de donde se obtuvo la información para la creación de modelos de simulación; en segundo lugar, se encuentra “Cuestionario y estructura”, que entrega detalles de cómo se realizó el cuestionario y la participación en este; y finalmente “Modelos”, que indica los pasos a seguir para la construcción de los modelos de simulación.

En términos generales, para concretar la realización de los modelos de dinámica de sistemas fue necesario recopilar datos e información mediante documentos y artículos especializados en los temas a tratar, correspondientes a agricultura y cultivos, que detallan elementos influyentes en los procesos agrícolas, lo cual sirvió para delimitar el universo en el cual se desarrolló la investigación. Por otro lado, se realizó un cuestionario online a través de la página web de QuestionPro (www.questionpro.com), que se aplicó a agricultores de la VI y VII región; esta fuente de datos se usó de forma secundaria para armar los modelos de investigación. En cuanto a la creación y validación de la encuesta, se tomaron en cuenta 3 etapas: Diseño, Aplicación y Tabulación. En lo referente a los modelos creados, fue necesario seguir ciertos pasos para llegar a los ajustes deseados, los cuales son: Conceptualización, Construcción y Análisis. A continuación, se exponen los procesos que se hicieron para la recopilación y realización de modelos.

3.1 Documentos y artículos

La información recopilada para armar la base de los modelos de dinámica de sistemas fue obtenida de diversos documentos e investigaciones acreditadas, disponibles en la base de datos de la biblioteca de la Universidad. Otra información se obtuvo de la Biblioteca Digital ODEPA (Consultores, 2019), la cual cuenta con

cifras reales y específicas de los datos y balances de la agricultura nacional en ciertos períodos y bajo diversos estándares, tal como la cantidad de producción, gasto de insumos, contaminación, calidad del suelo y de productos, entre otros.

3.2 Cuestionario y su estructura

Para la realización del cuestionario, primero se consultaron diversas aplicaciones web para poder encontrar la más cómoda e intuitiva (tanto para la formulación como para el entrevistado). Posteriormente, tomando en cuenta el tipo de datos que se requería recopilar, se realizó una lluvia de ideas a partir de la cual se fue separando y clasificando los temas por importancia, a través de varios mapas conceptuales que se dividieron en grupos y subgrupos. Con esto se procedió a realizar un listado preliminar de preguntas que fueron evaluadas por un profesional del área de agricultura (Ing. Agrónomo Francisco Ibarra Ahumada, titulado en la Universidad de Talca), así como una revisión en conjunto con el profesor guía. Luego de esta asesoría, se realizaron ciertos cambios en la redacción y enfoque de algunas preguntas, en donde la mayoría de estos cambios se enfocaron en acotar las interrogantes, o bien realizar un desglose de estas para abordar de mejor manera los temas mencionados.

La encuesta quedó compuesta por un total de 30 consultas de tipo cualitativa y cuantitativa. Estas fueron convertidas a preguntas de selección única, múltiple y desarrollo, de las cuales 12 fueron de explicación (divididas en 7 enfocadas en recopilar datos cualitativos y 5 en datos cuantitativos), 10 fueron de selección única (con solo 1 pregunta de tipo cuantitativa y 9 de tipo cualitativa), mientras que las 8 restantes fueron de elección múltiple (siendo todas estas del tipo cualitativa).

3.2.1 Aplicación y participación de la encuesta

Luego de las correcciones del cuestionario preliminar por el equipo profesional, se llegó a la versión definitiva del mismo. A continuación, se procedió a la distribución

online de la encuesta a los profesionales y expertos del área agrícola, sin discriminar en cuanto a la cantidad de hectáreas en las que trabajan, cultivos o métodos de venta y distribución.

La encuesta fue respondida por 22 participantes de la VI y VII región. Estas personas fueron seleccionadas debido a sus conocimientos del área, obtenidos por medio de estudios superiores, o bien por medio de la experiencia en faenas de campo. Los participantes tienen cargos como Ingeniero Agrónomo, Gerente Agrícola, e incluso Supervisores; estos últimos entregando respuestas desde la experiencia y con conocimientos superiores limitados. Los datos recopilados en el cuestionario de 32 preguntas, nos permitió reunir un conjunto total de 642 respuestas, además de apreciaciones (escritas), siendo estas tomadas como fuente secundaria para la realización de los modelos.

En la Figura 13 se observa un gráfico circular que muestra las entradas al cuestionario online (62 en total), donde se evidencia que solo 22 fueron completadas, debido a que el archivo preliminar y el definitivo de la encuesta eran el mismo. Dicho de otra manera, las 40 salidas (que no responden la encuesta) corresponden a revisiones del equipo profesional para evaluar cómo se iba armando correctamente la formulación de preguntas y respuestas, lo cual no afecta en ninguna medida a las respuestas ni resultados entregados por la aplicación QuestionPro.

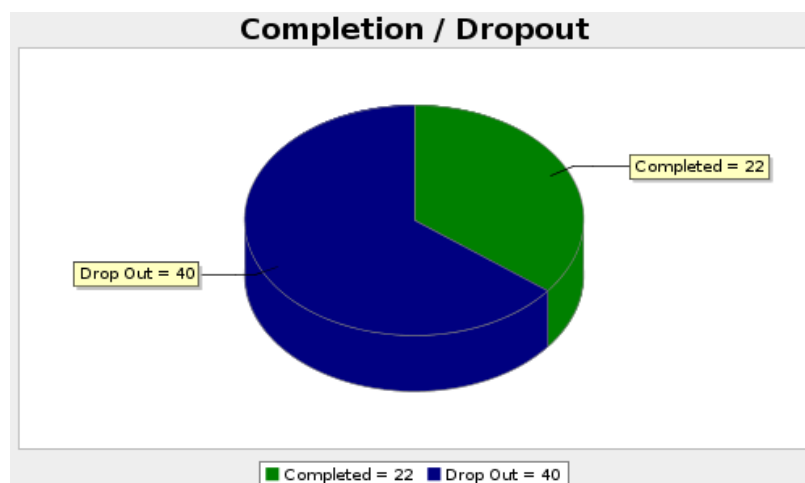


Figura 13. Gráfico de respuesta y abandono proporcionado por el documento de analítica final de QuestionPro. Fuente: QuestionPro.

En la Tabla 1, proporcionada igualmente por QuestionPro, se aprecia (además de las vistas, entradas y completadas) la tasa de finalización con un 35,48% (22 de 62), el supuesto “abandono” (40) y el tiempo promedio en que se completaba la encuesta, que correspondió a 5 minutos.

Tabla 1. Descripción general de la encuesta en el documento de analítica final de QuestionPro. Fuente: QuestionPro.

Viewed	Started	Completed	Completion Rate	Drop Outs (After Starting)	Average Time to Complete Survey
106	62	22	35,48%	40	5 minutes

3.2.2 Tabulación de datos de la encuesta

Una vez aplicada la encuesta, se procedió a generar los reportes de datos en Excel y Word; con esta información se realizó un análisis de los datos entregados, para luego continuar con la organización de la información. En este ordenamiento se aplicó un filtrado por pregunta, tipo de pregunta (desarrollo o alternativa) y tipo de grupo (grandes o pequeños agricultores). Al reorganizar la información del reporte en un nuevo Excel, se pudo buscar una nueva media o tendencia de cada grupo de encuestados (grandes y pequeños agricultores) y con dicha información desarrollar las ecuaciones y modelos de Diagramas Causales y Modelos de flujo o Forrester.

3.3 Modelos

Para la conceptualización de los modelos fue necesario identificar las partes a abordar, dividiéndolas en cuatro específicas y una general. Los cuatro modelos

específicos corresponden a: Inversiones, Cultivo, Riego y Económico, los cuales luego se fusionaron y ajustaron para crear lo que se presenta como el Modelo General.

Antes de haber construido estos diagramas causales y modelos de flujo o Forrester, fue necesario identificar y establecer las variables y las relaciones causales, diferenciando las variables de estado, de flujo y las auxiliares en el modelo, así como la polaridad de las relaciones causales formadas, para una vez realizado esto, observar la interacción entre la causa-efecto de las variables. En este sentido, Sterman (2000) indica que se debe seguir una serie de pasos para el proceso de modelamiento, y corresponden a:

- **Definir el problema**

Se enfoca en limitar la validez en la que trabajará el modelo y la relevancia de las variables que se aplicarán. Para definir correctamente el inicio de la fase de modelado se deben formular las preguntas que necesitan respuesta a los temas planteados, saber a qué se debe responder con el resultado final y cómo resolver el problema en cuestión. De este modo, la simulación queda comprometida a ser válida solo para resolver el dilema planteado.

- **Elaboración del modelo conceptual**

Se comienzan a definir las variables que participarán en el modelo y sus relaciones, buscando generar el primer diagrama de cada modelo, denominado “Diagrama causal”, que cumple la función de definir de manera previa las variables posibles que se verán involucradas en el “Diagrama de Forrester”, que es el modelo de medición cuantitativa que dará solución a la problemática. Volviendo al modelo “causal”, este consta de una simulación que deja espacio para conjeturas en el estudio del problema formulado, es menos preciso que el diagrama “Forrester” y su comportamiento es más atribuido a la suposición de ciertos aspectos que a la viabilidad de sus resultados.

- **Cuantificar el modelo**

Para crear el modelo “Forrester” se deben definir las funciones y valores que contendrán las variables que deban interactuar en la simulación, tener en cuenta todas las repercusiones que se tendrán en el “mundo real” y representarlas lo más fielmente posible, distinguir su unidad de medida que hace que los resultados sean factibles y conocer las cantidades que se aplicarán en cada caso.

En el caso de este estudio, se requiere que los modelos no contemplen valores previos, que si sea cambiante y adaptable a cada situación y que no tenga limitaciones a la hora de aplicarse en diversos extremos comparativos, como a los grandes y pequeños agricultores.

- **Validación del modelo**

Refiere a la confianza otorgada al modelo que se estudia, donde la documentación del modelo es fundamental para tener credibilidad en la simulación trabajada, que su resultado sea confiable y pertinente respecto a lo que se busca solucionar y/o medir.

- **Explotación del modelo**

Aquí básicamente se usan valores extremos para probar las capacidades del modelo, de esta manera, se observa la flexibilidad de cambio y adaptación que posee el modelo en la aplicación de diversos casos que difieren en demasía uno del otro.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación, que se obtuvieron a partir de dos fuentes de información para la conformación de los modelos considerados en este estudio, siendo primordial la extraída de documentos e investigaciones científicas. La fuente secundaria, encuesta aplicada a un segmento de agricultores, aportó con información para realizar supuestos en el valor cuantitativo de los modelos de la simulación.

4.1 Prototipos de ideas

Como se mencionó anteriormente, se hizo una lluvia de ideas que dio origen a diversos mapas conceptuales que posteriormente permitieron la creación y análisis de los modelos presentados más adelante, además de ayudar a crear el primer prototipo de encuesta. A continuación, se exponen los diversos diagramas:

- **Método de cultivo 1:** corresponde a un mapa realizado para señalar los diversos tipos de métodos de cultivo que utilizan los agricultores en las plantaciones (Figura 14).

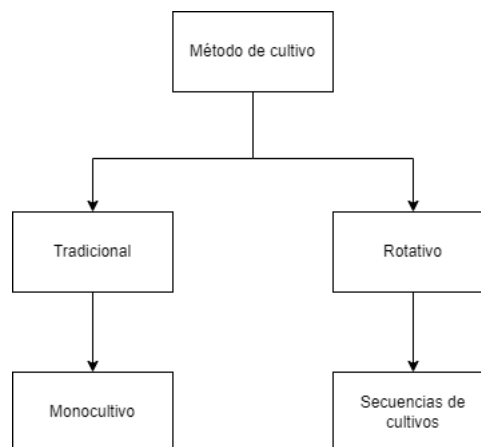


Figura 14. Esquema preliminar para modelo dinámico “Método de cultivo 1”.
Fuente: Elaboración propia.

- **Método de cultivo 2:** hace referencia a los diversos factores que intervienen en el proceso de cultivo y que a su vez conforma al método de cultivo que elige cada agricultor (Figura 15).

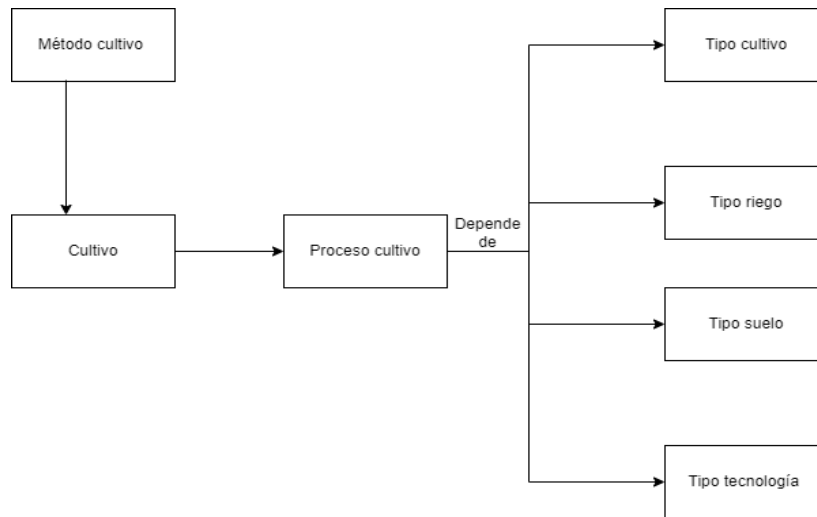


Figura 15. Esquema preliminar para modelo dinámico “Método de cultivo 2”.
Fuente: Elaboración propia.

- **Agricultores:** hace referencia a las diferencias que existen entre los agricultores por sus dimensiones de terreno y los métodos de cultivo y cuidado que se apliquen en este.

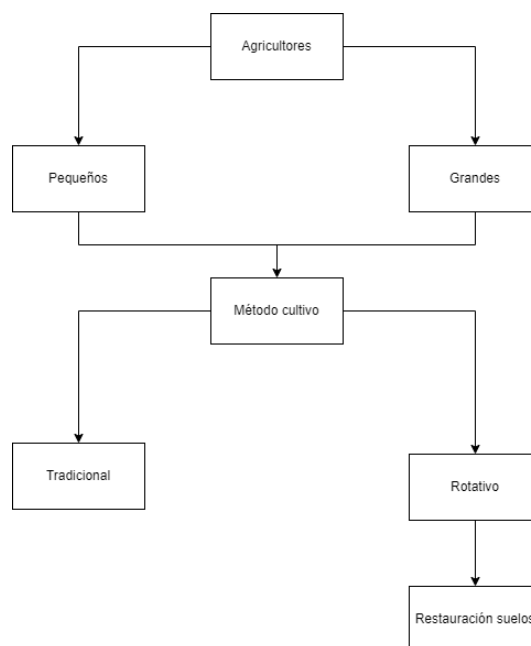


Figura 16. Esquema preliminar para modelo dinámico “Agricultores”. Fuente: **Elaboración propia.**

- **Proceso cultivo:** busca relacionar los elementos básicos e insumos utilizados en el cuidado de los cultivos, como el tipo de suelo, riego y trato que se le da a cada plantación.

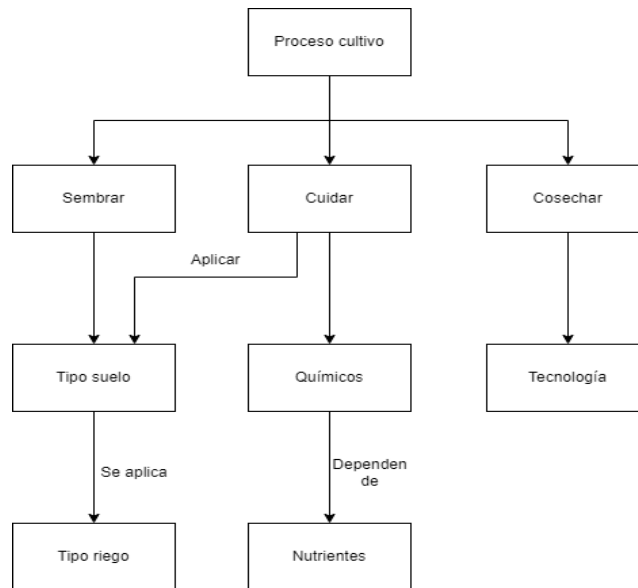


Figura 17. Esquema preliminar para modelo dinámico “Proceso cultivo”.
Fuente: Elaboración propia.

- **Restauración suelo:** hace referencia al cuidado de la tierra considerando el tipo de suelo y la calidad de este, basándose en la presencia o ausencia de los nutrientes necesarios para su vida útil.

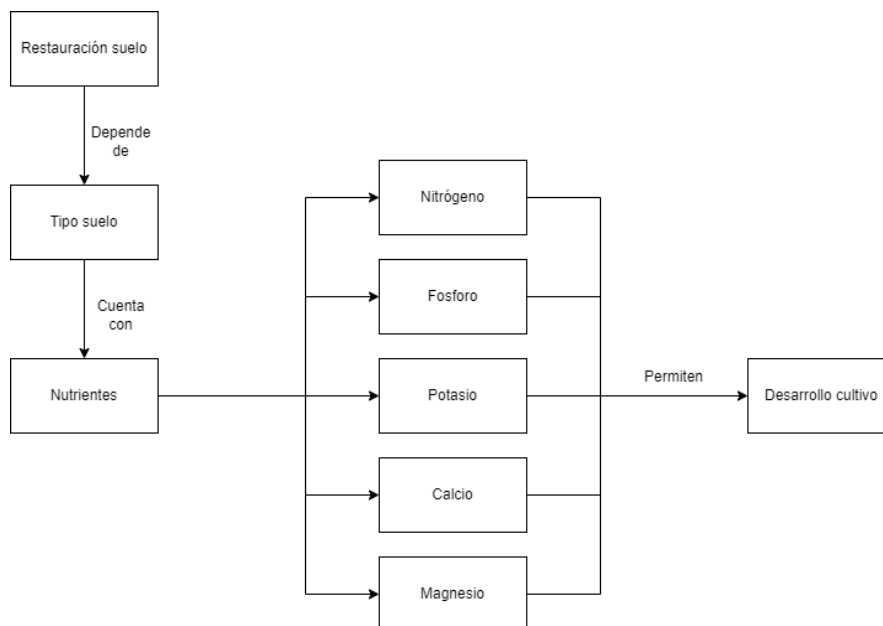


Figura 18. Esquema preliminar para modelo dinámico “Restauración suelo”.
Fuente: Elaboración propia.

- **Desarrollo cultivo:** hace referencia a las variantes que afectan al desarrollo óptimo del cultivo, así como las elecciones que se deben tomar para disminuir los riesgos en torno a este.

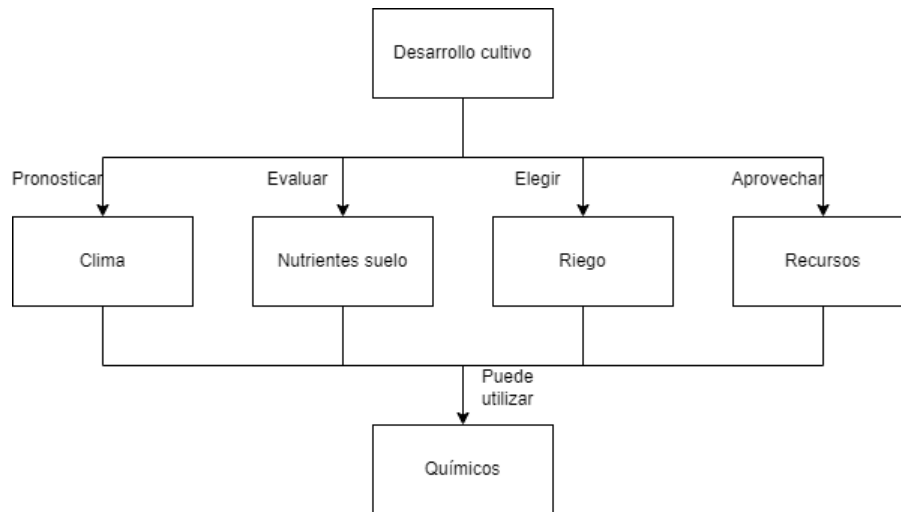


Figura 19. Esquema preliminar para modelo dinámico “Desarrollo cultivo”.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Encuesta

El cuestionario creado y aplicado fue construido en base a los mapas conceptuales señalados anteriormente, lo que dio origen a un listado de 30 preguntas. A continuación, se muestra el resultado de algunas de estas:

- **Dimensiones de terreno:** Pregunta ¿Cuáles son las dimensiones de su(s) terreno(s)? En hectáreas totales.

De esta consulta se obtuvo información respecto del área de terreno con el que los agricultores disponen para siembra (Figura 20), lo cual permitió establecer una división de grupos de pequeños (0-5 hectáreas) y grandes agricultores (+10 hectáreas).

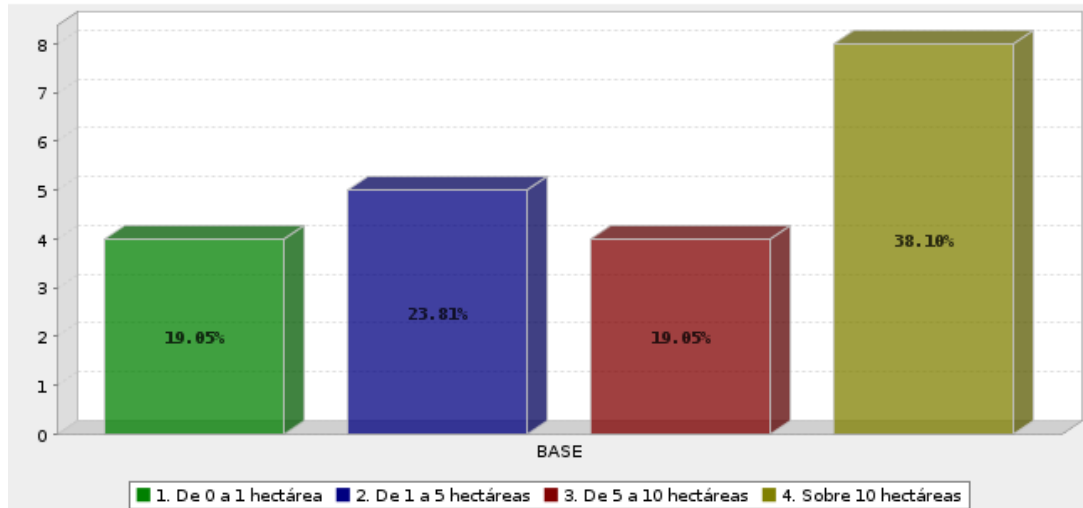


Figura 20. Gráfico obtenido para “Dimensiones de terreno”. Fuente: Elaboración propia.

- **Medidas contra plagas:** Pregunta ¿Las combate con químicos o con secuencias de cultivos (método orgánico)?

Las respuestas obtenidas (Figura 21) permitieron discriminar el uso de químicos o nutrientes en los suelos, lo cual indica el cuidado de la tierra y los métodos que aplican los agricultores.

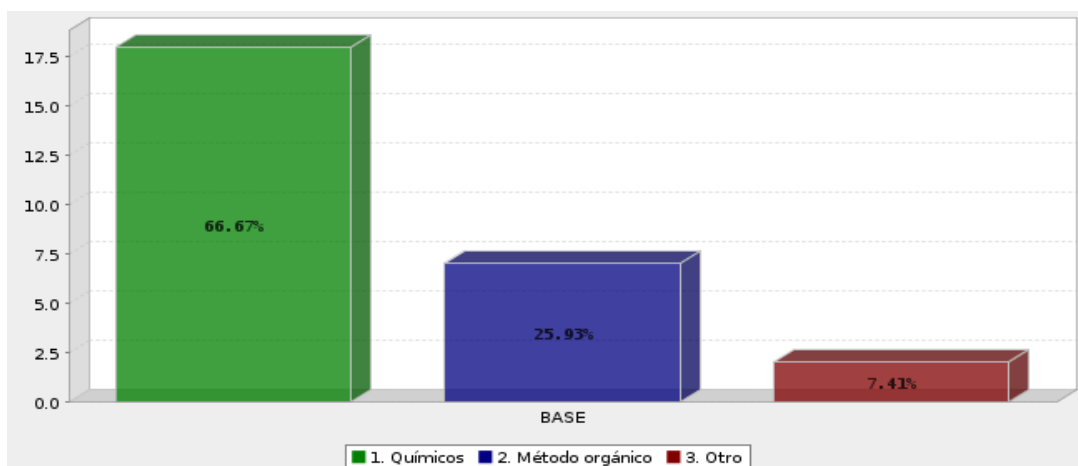


Figura 21. Gráfico obtenido para “Medidas contra plagas”. Fuente: Elaboración propia.

- **Desarrollo económico de 5 años:** Pregunta ¿Cómo ha sido el desarrollo de sus resultados económicos en los últimos 5 años?

En la Figura 22 se puede observar la tendencia económica que mantuvieron los agricultores en los últimos 5 años, lo que permite hacer supuestos sobre la rentabilidad de sus cultivos.

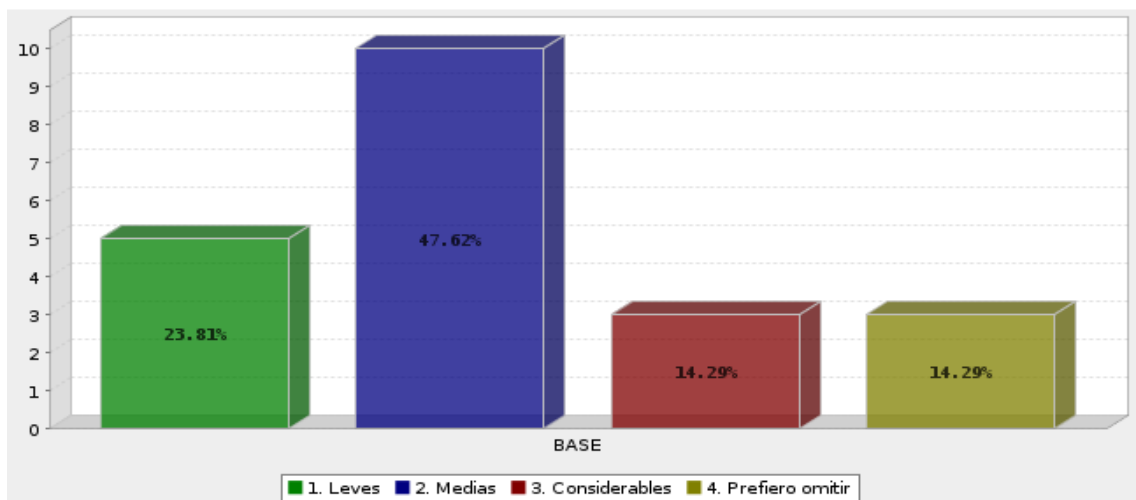


Figura 22. Gráfico obtenido para “Desarrollo económico en 5 años”. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Diagramas y modelos

La representación gráfica de un sistema dinámico se constituye de los elementos que son bosquejados por una unión de variables a través de flechas, que busca identificar y especificar las causas y efectos que trae consigo cierta acción de los agricultores, pudiendo afectar no solo a una etapa, sino que a todo el proceso de interés y variables envueltas.

Para la construcción de estos modelos de flujo (causal y Forrester) se tienen en consideración las variables y relaciones anteriores, pero con leves cambios en su distribución, además de considerar unas variables extras para el funcionamiento de

este en su simulación. La escritura de las ecuaciones de cada variable es otro paso a considerar para el correcto funcionamiento del modelo de flujo.

Durante el desarrollo del modelado es importante contar con las descripciones de las variables, debido a que estas permiten tener una contextualización del tema a abordar, brindando además una base para relacionar variables en el modelado.

En los puntos siguientes, se muestran los resultados del modelamiento de cada etapa de este estudio, comenzando con las representaciones causales, siguiendo posteriormente con los diagramas de Forrester. Los modelos están hechos de tal manera que cubra tanto a pequeños y grandes agricultores en distintos contextos, abordando los cuatro temas principales de estudio que son las inversiones, el rendimiento, exportación y ambiental.

Como se mencionó cada modelo tiene sus propias características y tabla con descripciones detalladas de sus variables, destacando las tablas de los diagramas de Forrester, los cuales indican “Unidad”, “Ecuación” y “Tipo” en las variables y su relaciones, cosa que en los diagramas causales no existen y que por sus características solo se limitaron a “Nombre” y “Descripción” (en estas se incluyen a los Forrester igualmente).

Cabe señalar que todos los modelos abarcan desde el año 2016 a 2030 y reflejan los resultados de sus gráficos por temporadas (“Quarter” dentro de la aplicación Vensim), lo cual divide de mejor manera las fases o ciclos que cumplen los cultivos para poder analizar de forma efectiva el beneficio o perjuicio en los ámbitos económico y sustentable.

Cabe mencionar que para representar diversos escenarios a futuro, desde 2016 a 2022 se sacó un promedio del valor del dólar en Chile a lo largo de tres temporadas en el año, por ende, para reflejar escenarios en donde el dólar varía, se hicieron tres estimaciones desde 2022 hasta 2030:

- Escenario A: Donde el dólar después de 2022 se mantiene constante (Figura 23).

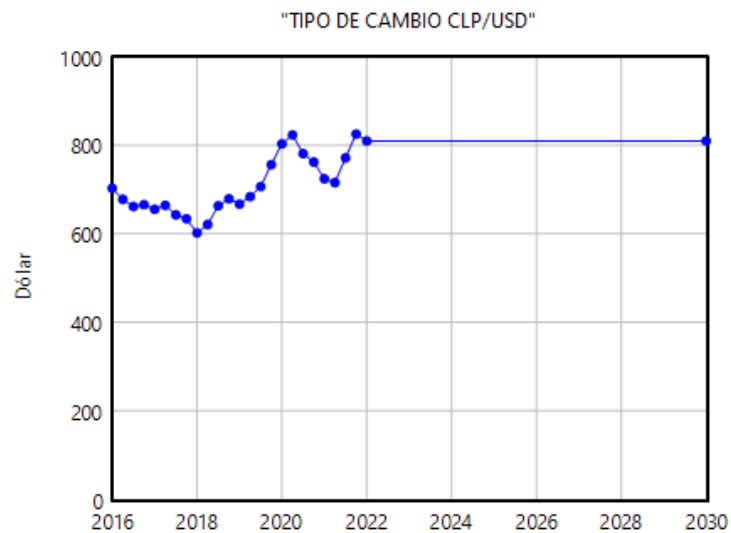


Figura 23. Representación de “TIPO DE CAMBIO CLP/USD” constante. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- Escenario B: Donde el dólar después de 2022 disminuye (Figura 24).

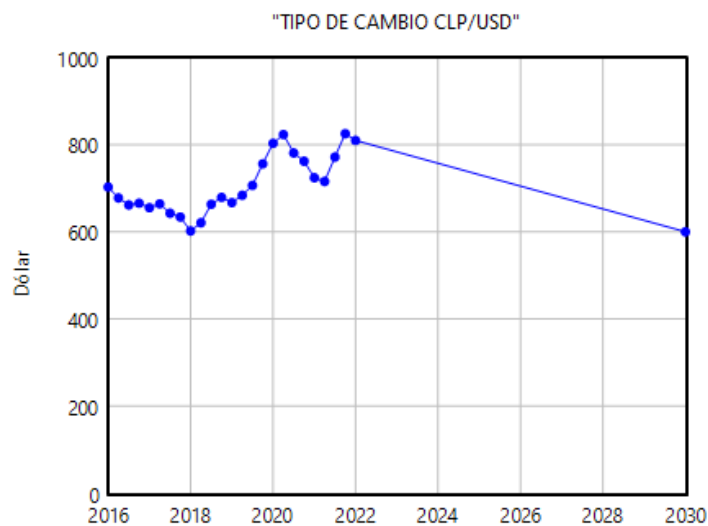


Figura 24. Representación de “TIPO DE CAMBIO CLP/USD” disminuyendo. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- Escenario C: Donde el dólar después de 2022 aumenta (Figura 25).

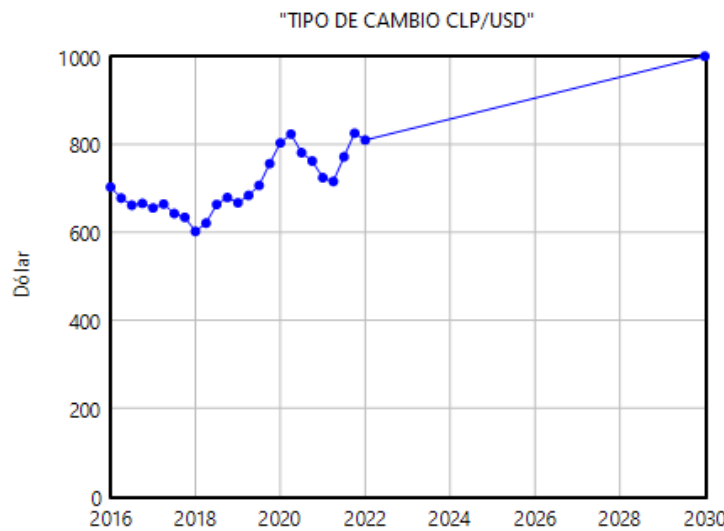


Figura 25. Representación de “TIPO DE CAMBIO CLP/USD” aumentando.
Fuente: Vensim, elaboración propia.

4.3.1 Diagramas de Inversiones

El presupuesto por temporada es una preocupación constante de los agricultores que cuentan con un rango preestablecido de dinero a gastar, pero ¿Qué variables afectan al presupuesto de la temporada agrícola y cuáles son los gastos en este? Los modelos contextualizan esta interrogante, logrando esquematizar los procesos y relaciones que se forman dependiendo de las elecciones de cada agricultor.

- **Causal**

El diagrama causal de la Figura 26 (Tabla 2) está enfocado en las inversiones en insumos que realizan los agricultores, tanto en nutrientes como en químicos. Estos dos elementos son muy importantes para el cuidado de los suelos y los cultivos, es por esto que cada temporada se debe contar con ambos insumos para poder continuar sembrando, cultivando y cosechando los cultivos, sean hortalizas, frutas, verduras, cereales, entre otros. Así, es importante el contar con un presupuesto para invertir y comprar en los nutrientes y químicos necesarios a utilizar durante el proceso de cultivo del maíz, por ejemplo.

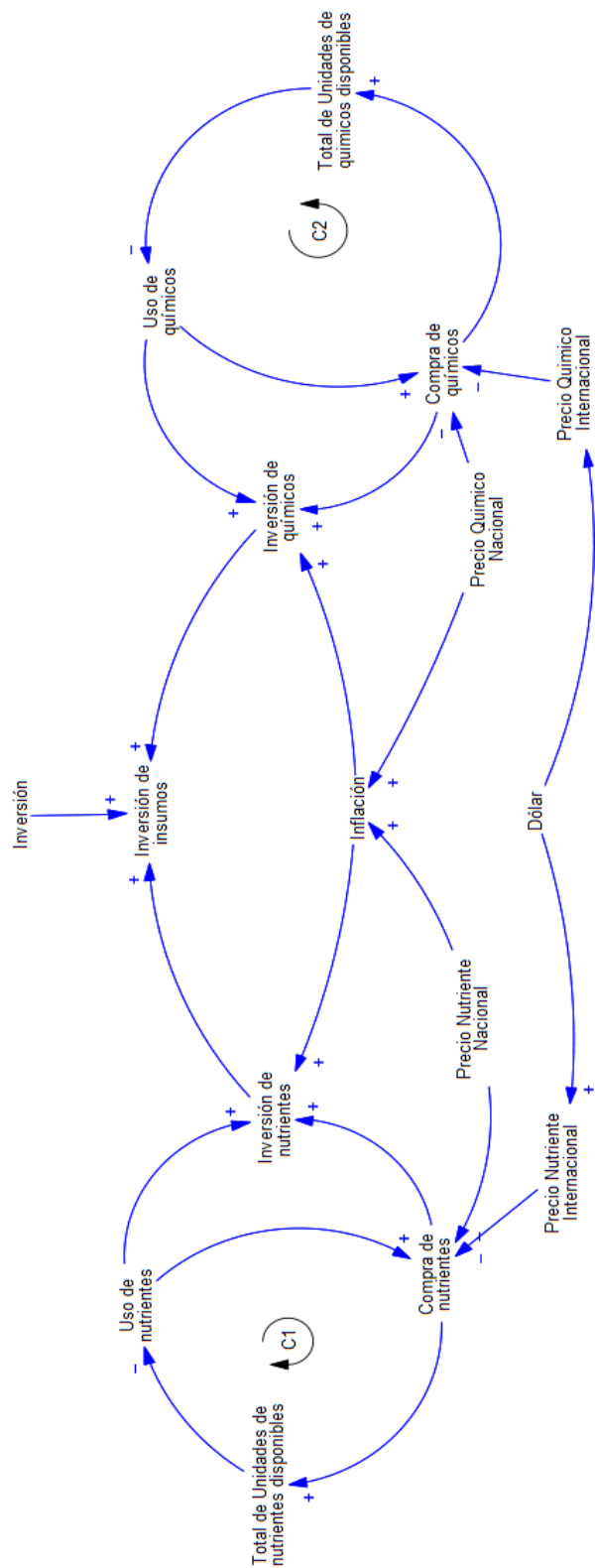


Figura 26. Representación de las relaciones causales denominada "Inversiones". Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 2. Definiciones de variables de modelo causal de “Inversiones”. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Descripción
Inversión	Hace referencia al presupuesto que destina el agricultor/supervisor a gastar durante la temporada.
Inversión de insumos	Hace referencia al monto fijado para la compra de insumos (maquinaria, semillas, herramientas, entre otros).
Inversión de nutrientes	Hace referencia al monto fijado para la compra de productos naturales necesarios para el cuidado agrícola.
Uso de nutrientes	Hace referencia a la aplicación de productos más naturales y amigables con el medioambiente, como es el caso de los fertilizantes (abono hecho de ramas y hojas), residuos de podas o residuos de ganado.
Compra de nutrientes	Hace referencia a la acción de la compra de productos naturales (biofertilizantes) para el cuidado del suelo y cultivos.
Inversión de químicos	Hace referencia al presupuesto destinado a compra de insumos químicos, tales como: fertilizantes con azufre, fósforo, nitrógeno, potasio, o bien herbicidas e insecticidas, entre otros.
Uso de químicos	Hace referencia a la aplicación de los químicos en el suelo o cultivo, lo cual varía dependiendo del problema a enfrentar. Por ejemplo, a falta de nutrientes en suelo se aplica fertilizante con nutriente faltante, o si son problema de plagas herbicida e insecticida.
Compra de químicos	Hace referencia a la acción de gasto de presupuesto en químicos que son necesarios para cuidar y desarrollar los cultivos en esta temporada.
Inflación	Hace referencia a una variable externa, que no se puede controlar, ya que es un proceso económico desequilibrado entre la producción y la demanda que causa una pérdida del valor del dinero.
Dólar	Moneda extranjera que es utilizada para comerciar productos entre países, el alza del dólar beneficia a exportadores y si disminuye los perjudica.
Total de Unidades de nutrientes disponibles	Total de kilos de cada nutriente disponible para la temporada.
Total de Unidades de químicos disponibles	Total de litros de cada químico disponible para la temporada.
Precio Nutriente Nacional	Valor monetario unidad (kilo) nutriente nacional.
Precio Nutriente Internacional	Valor monetario de unidad (kilo) nutriente internacional (dólar).
Precio Químico Nacional	Valor monetario unidad(litro) químico nacional.
Precio Químico Internacional	Valor monetario de unidad (litro) químico internacional (dólar).

En cuanto a las 2 variables externas (inflación y dólar), si bien estas no crean una realimentación, sí afectan indirectamente al comportamiento de las variables relacionadas de forma negativa; como es el caso de la relación del dólar con la compra de químicos y nutrientes, o bien de forma positiva; como es el caso de la inflación con las inversiones en químicos y nutrientes. Esto es debido a que, al producirse una inflación, el precio de los artículos tiende a subir o bajar considerablemente, dando como resultado que el presupuesto estimado a invertir es afectado por esta variable. Por su parte, el dólar afecta a la importación de los nutrientes y químicos, ya que dependiendo de si sube o baja el valor de este pueden comprar más o menos. Cabe destacar, que, si el dólar sube, la inflación se ve afectada de igual manera al retrasarse la disminución en la inflación.

En el modelado (Figura 23) se tomaron en cuanto diferentes variantes y situaciones, considerando no solo el presupuesto y la compra, sino que también las unidades a necesitar para la temporada, restando las ya disponibles de temporadas anteriores, así como el valor de estas (CLP/USD). Una vez ya formada esta conexión, es que se procede a enlazar con la variante del precio, ya que dependiendo del valor monetario que tengan estos artículos, es que se puede aumentar, mantener o disminuir el presupuesto para la temporada. El origen del insumo a comprar determina el valor monetario (precio) de este bien, afectando a la cantidad de unidades a obtener, lo que a su vez afecta al capital de inversión para la temporada, porque si este no cubre el gasto en insumos, entonces se debe aumentar.

- **Forrester**

El modelo Forrester expuesto en la Figura 27 (Tabla 3) demuestra cómo gracias al valor del dólar, puede llegar a subir la inversión que enfrentan los agricultores en la compra de químicos y nutrientes. El valor de los “GASTOS TOTALES EN INVERSIONES” se ve afectado por todas las variables que componen la simulación. La variable “<Time>” aplica ciertos tiempos al valor del dólar, simulando su alza a través de los años con un promedio estimado de su valor (supuesto) entre 2016 y 2030, con el fin de simular fielmente la variación de este y el efecto en insumos y transportes en una compra general.

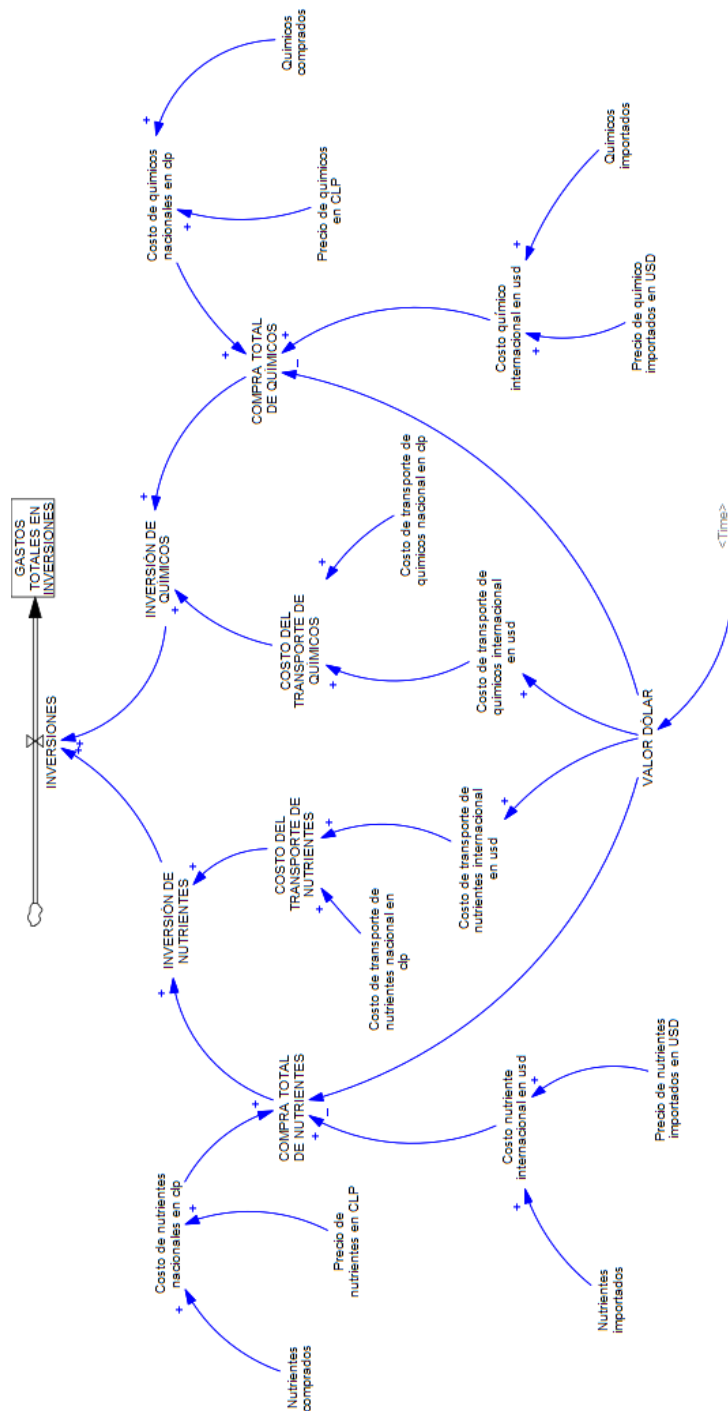


Figura 27. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Flujo de Inversiones generales”. Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 3. Descripción del modelo de “Flujo de Inversiones Generales”. Fuente: Elaboración propia.

Gastos totales en inversiones = Inversiones [Valor inicial: 0] [CLP]
 Consta de todo el dinero que se invierte para abastecerse de los insumos y productos (químicos y/o naturales) necesarios para el cuidado y desarrollo agrícola durante la temporada.

<p>Inversiones = Inversión de Nutrientes+Inversión de Químicos [CLP] Es el dinero fijado para gastar en la compra de insumos, herramientas, productos, entre otras cosas.</p>
<p>Inversión de nutrientes = Compra Total de Nutrientes+Costo del Transporte de Nutrientes [CLP] Presupuesto para la compra de productos naturales agrícolas.</p>
<p>Inversión de químicos = Compra Total de Químicos+Costo del Transporte de Químicos [CLP] Presupuesto para la compra de químicos agrícolas.</p>
<p>Compra total de nutrientes = Costo de nutrientes nacionales en CLP+(Costo nutriente internacional en USD*Valor Dólar) [CLP] Suma del monto gastado en la adquisición de productos agrícolas.</p>
<p>Costo del transporte de nutrientes internacional en USD = X*Dólar [Dólar] Monto a pagar por servicio de traslado de nutrientes desde el extranjero.</p>
<p>Costo del transporte de químicos internacional en USD = X*Dólar [Dólar] Monto a pagar por servicio de traslado de químicos desde el extranjero.</p>
<p>Compra total de químicos = Costo de químicos nacionales en CLP+(Costo químico internacional en USD*VALOR DÓLAR) [CLP] Suma del monto gastado en adquisición de productos químicos agrícolas.</p>
<p>Compra total de químicos = Costo de químicos nacionales en CLP+(Costo químico internacional en USD*VALOR DÓLAR) [CLP] Suma del monto gastado en adquisición de productos químicos agrícolas.</p>
<p>Costo del transporte de nutrientes nacional en CLP = X [CLP] Monto a pagar por servicio de traslado de nutrientes en el país.</p>
<p>Costo del transporte de químicos nacional en CLP = X [CLP] Monto a pagar por servicio de traslado de químicos en el país.</p>
<p>Nutrientes Importados = X [Kilos] Refiere a los nutrientes comprados en el extranjero y traídos al país.</p>
<p>Químicos Importados = X [Kilos] Refiere a los químicos comprados en el extranjero y traídos al país.</p>
<p>Precio de nutriente importado en USD = X+RAMP((X*0.06),2022,2030) [Dólar] Valor del nutriente en el extranjero.</p>
<p>Precio de químicos importados en USD = X+RAMP((X*0.06),2022,2030) [Dólar] Valor de químico en el extranjero.</p>
<p>Costo del transporte de nutrientes = Costo de transporte de nutrientes internacional en USD+Costo de transporte de nutrientes nacional en CLP [CLP] Monto total a pagar por el servicio de traslado de nutrientes.</p>

<p>Costo del transporte de químicos = Costo de transporte de químicos nacional en CLP+Costo de transporte de químicos internacional en USD [CLP] Monto total a pagar por el servicio de traslado de químicos.</p>
<p>Costo nutriente internacional en USD = Nutrientes importados*Precio de nutrientes importados en USD [CLP] Valor de nutrientes en el extranjero.</p>
<p>Costo químico internacional en USD = Precio de químico importados en USD*Químicos importados [CLP] Valor de químico en el extranjero.</p>
<p>Costo de nutrientes nacionales en CLP = Nutrientes comprados*Precio de nutrientes en CLP [CLP] Total de nutrientes que deben comprar para aplicar en la temporada.</p>
<p>Nutrientes comprados = X [Kilos] Refiere a la cantidad de nutrientes adquiridos por un precio.</p>
<p>Precio de nutrientes en CLP = $X + RAMP((X * 0.05), 2022, 2030)$ [CLP] Refiere al valor monetario del nutriente adquirido.</p>
<p>Costo de químicos nacionales en CLP = Precio de químicos en CLP*Químicos comprados [CLP] Total de químicos con los que se cuentan para la temporada.</p>
<p>Precio de químicos en CLP = $X + RAMP((X * 0.05), 2022, 2030)$ [CLP] Refiere al valor monetario del químico adquirido.</p>
<p>Químicos comprados = X [Kilos] Refiere a la cantidad de químicos adquiridos por un precio.</p>
<p>Valor dólar = De 2016 a 2030 en general. Desde 2016 hasta la 3ra temporada de 2022 se sacó el promedio de la variación del dólar en Chile: ((0,0)-(10,10)),(2016,702.7),(2016.25,677.6),(2016.5,661.6),(2016.75,665.7),(2017,655.2),(2017.25,664.15),(2017.5,642.65),(2017.75,633.8),(2018,601.94),(2018.25,620.94),(2018.5,663.19),(2018.75,678.8),(2019,667.01),(2019.25,683.9),(2019.5,706.6),(2019.75,755.98),(2020,802.8),(2020.25,822.97),(2020.5,780.93),(2020.75,761.96),(2021,724.18),(2021.25,715.55),(2021.5,771.3),(2021.75,825.23),(2022,809.43) [Dólar] Precio de moneda extranjera en el mercado de divisas.</p>
<p><Time> = N/A [N/A] Variable “sombra” para determinar valores en el tiempo, en este caso, USD/CLP.</p>

Este modelo permite observar el control del presupuesto por temporada, simulando un registro de datos que brinda un historial financiero con el cual se pueden ver las tendencias de los valores que se presentan al realizar una acción de compra

de insumos, ya sea en el país o el extranjero. Las variables que interfieren en esta acción son el precio de los bienes y las unidades de insumos a necesitar, debido a que si el precio es superior al estimado no se podrá comprar todos los kilos de nutrientes o los litros de químicos para el correcto funcionamiento de la temporada, lo que a su vez genera un registro de aumento de capital sobre el límite fijado, tanto para esta temporada como para futuras.

4.3.2 Diagramas de Rendimiento

La gestión de un campo direcciona y establece el rendimiento para la temporada, una mala elección desencadena pérdidas y una baja rentabilidad, pero ¿El método de cultivo afecta a las ganancias del agricultor? En estos diagramas señalamos las variables que repercuten en el rendimiento del agricultor, ya sea pequeño o grande.

- **Causal**

El diagrama causal de la Figura 28 (Tabla 4) señala las opciones con las que cuenta el Agricultor para el funcionamiento de su campo, en donde debe considerar el proceso, producción y método que utiliza en sus cultivos. Dependiendo de la elección del profesional es que se desarrolla un plan de trabajo, ya que el cuidado de estos varía mucho entre uno y otro. En el caso del método tradicional se debe contar con conocimientos de químicos para aplicarlos, ya que un error lleva a la pérdida de cultivos y nutrientes del suelo, ya sea parcial o total de sus cultivos. Mientras que en el método rotativo se toma en cuenta la especie del cultivo, la calidad del suelo y las secuencias idóneas para conservar los nutrientes de la tierra, además de combatir las plagas. Este tipo de producción es diferente a la tradicional, debido a que busca generar ganancias sin dañar el terreno y su ecosistema.

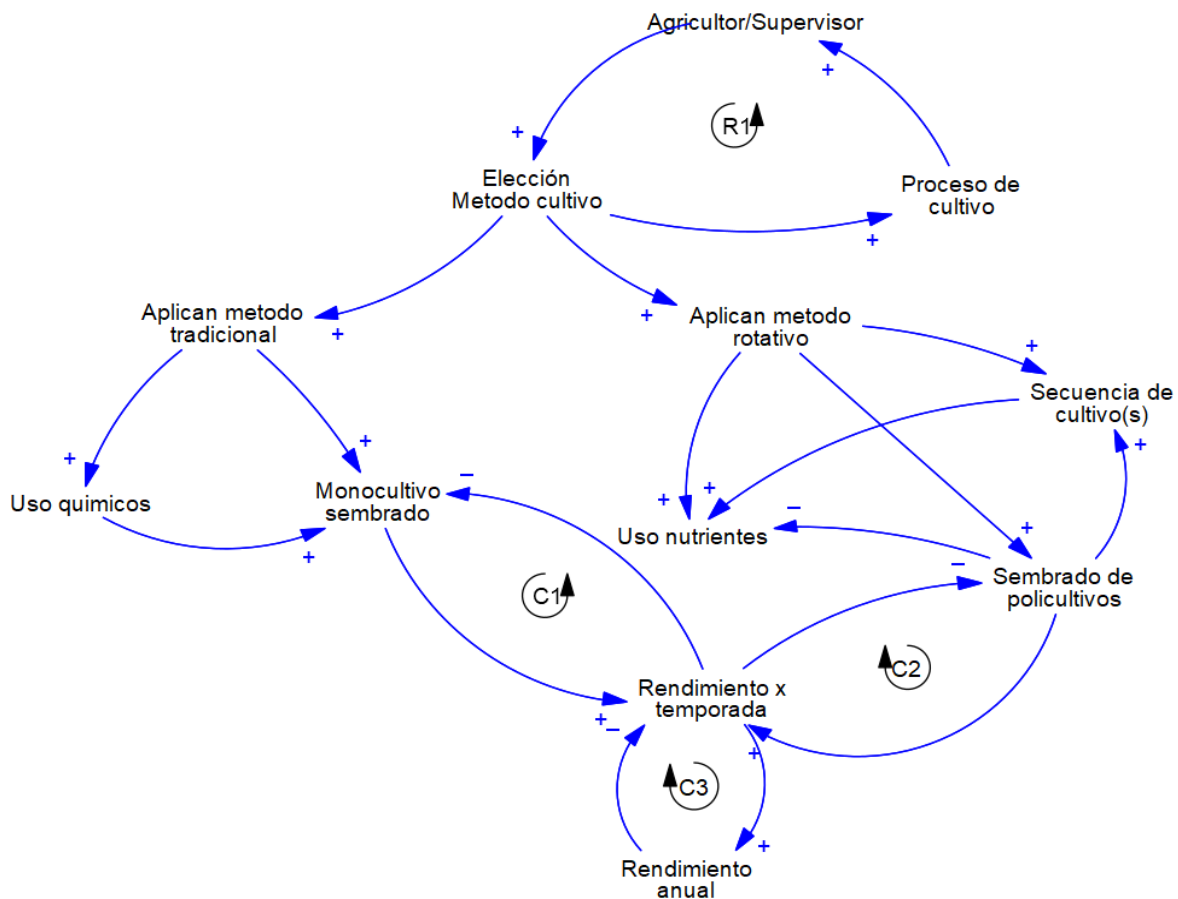


Figura 28. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Cultivo y rendimiento”. Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 4. Definiciones de variables de modelo causal de “Cultivo y rendimiento”. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Descripción
Agricultor/Supervisor	Persona a cargo de tomar decisiones basándose en datos pasados o experiencias vividas para aplicar en su suelo.
Elección Método cultivo	Hace referencia a la elección del agricultor del tipo de cuidado (químicos o nutrientes) que decidirá utilizar en sus cultivos.
Proceso de cultivo	Hace referencia a la siembra, cuidado y cosecha del cultivo, dependiendo del método de cultivo que aplicó el agricultor en este terreno/campo.
Aplican método tradicional	Hace referencia a la decisión del agricultor en donde prioriza cantidad por sobre calidad, no toma en cuenta cuidado de la tierra y utiliza químicos para combatir plagas, enfermedades, malezas, u otros.

Aplican método rotativo	Hace referencia a la elección del agricultor por un método eco amigable, en donde considera calidad de cultivo y suelo. Utiliza al mínimo químicos en estos.
Uso químicos	Hace referencia a la aplicación en suelo y/o cultivos de productos como fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, insecticidas, entre otros.
Monocultivo sembrado	Hace referencia a la fijación de agricultores con la siembra de un solo tipo de cultivo en el suelo. Suelen dejar la plantación por largos periodos hasta agotar nutrientes del suelo.
Uso nutrientes	Hace referencia al aprovechamiento de los nutrientes naturales y orgánicos que se obtienen de los cultivos (abono), en donde si llega a faltar algún nutriente necesario para el suelo, se compra. Algunos nutrientes son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio.
Secuencia de cultivo(s)	Hace referencia al tipo de organización de siembra de cultivos que eligió utilizar el agricultor en sus terrenos. Tipo de distribución, considera tipo suelo, tipo riego, tipo cultivo y tipo de tecnología disponible.
Sembrado policultivos	de Hace referencia a la siembra de 2 o más tipos de cultivos en una dimensión de terreno, en donde se considera la familia de la planta, el tipo de cuidado de esta, el tiempo de crecimiento y los nutrientes que necesita y/o extrae del suelo.
Rendimiento temporada	x Hace referencia a la cantidad cosechada después del crecimiento y desarrollo total del cultivo(s).
Rendimiento anual	Hace referencia a la cantidad cosechada en el año de cada cultivo sembrado en el terreno.

- **Forrester**

El diagrama de flujo denominado “Rendimiento General” de la Figura 29 (Tabla 5) demuestra cómo las elecciones del agricultor pueden afectar al funcionamiento y producción de su campo. El valor de “Ganancias acumuladas” se ve afectado por variables que aumentan las ganancias, tales como las ventas locales, las ventas internacionales y el precio al que se vendieron; y variables que disminuyen las ganancias pero se considera una inversión, como es el caso de los gastos en

químicos y/o nutrientes, ya sea local o importados considerando su precio en CLP o en USD por su distribución, el producto en sí, y su aplicación (mano de obra).

El modelo permite observar los procesos necesarios para obtener insumos, considerando su gasto y costo relacionados con el funcionamiento del campo y sus cultivos para la temporada, siendo estas elecciones lo que determinan el mantenimiento y gestión del Agricultor que se ve reflejado en el “Ganancias acumuladas” con sus “Ingresos de venta” y sus “Gastos Totales”.

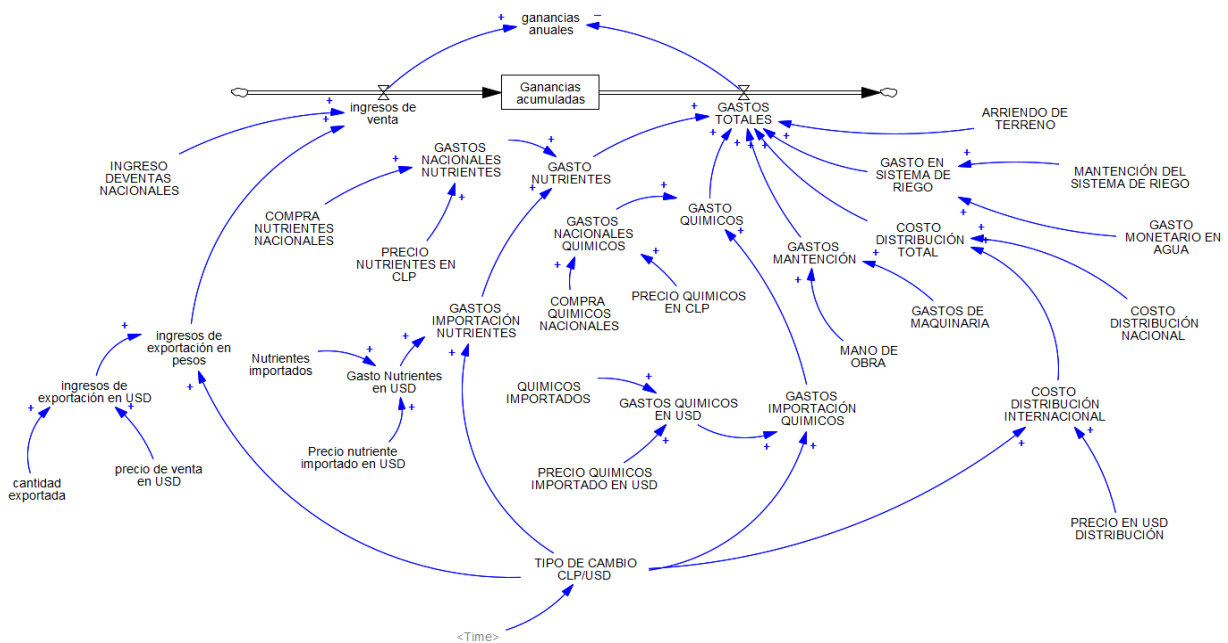


Figura 29. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Rendimiento general”. Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 5. Descripción del modelo de flujo de “Rendimiento General”. Fuente: Elaboración propia.

GANANCIAS ACUMULADAS = Gastos Totales-Ventas Totales [Valor inicial: 0] [CLP]

Se trata de la relación entre las ventas y gastos generales que abordan los agricultores en su proceso de adquisición de elementos y venta de sus cosechas.

GASTOS TOTALES = Arriendo de Terreno+Costo Distribución Total+Gasto en Sistema de Riego+Gasto Nutrientes+Gasto Químicos+Gastos

Mantenimiento+Insumos [CLP]

Consta de todo el dinero que se invierte para poder tener y traer elementos para la conservación, crecimiento y mantenimiento de los cultivos.

Ingresos de Ventas = Ingresos de exportación en Pesos+Ingreso de Ventas Nacionales [CLP]

Refiere a todas las ventas que hacen los agricultores respecto a sus cosechas.

COSTO DISTRIBUCIÓN TOTAL = Costo Distribución Internacional+Costo Distribución Nacional [CLP]

Gasto total en el proceso de traslado de productos en general.

COSTO DISTRIBUCIÓN NACIONAL = X [CLP]

Costo del traslado nacional.

COSTO DISTRIBUCIÓN INTERNACIONAL = Precio en USD Distribución*"Tipo de Cambio CLP/USD" [Dólar]

Costo del traslado internacional.

GASTO NUTRIENTES = Gastos Nacionales Nutrientes+Gastos Importación Nutrientes [CLP]

Cantidad de nutrientes adquiridos.

GASTOS QUÍMICOS = Gastos Nacionales Químicos+Gastos Importación Químicos [CLP]

Cantidad de químicos adquiridos.

GASTOS DE MANTENCIÓN = Gastos de Maquinaria+Mano de Obra [CLP]

Gasto total referido a la suma entre gastos de maquinaria y mano de obra.

GASTOS DE MAQUINARIA = X [CLP]

Refiere al gasto de mantenimiento y adquisición de máquinas para el trabajo en los cultivos.

MANO DE OBRA = X [CLP]

Refiere a los gastos en sueldo y mantenimiento de trabajadores.

Ingreso de Ventas Nacionales = $X + RAMP((X * 0.05), 2022, 2030)$ [CLP]

Refiere a las ventas que hacen los agricultores dentro de las áreas cercanas y nacionales que abarcan.

Ingresos de exportación en pesos = ingresos de exportación en USD * "TIPO DE CAMBIO CLP/USD" [Dólar]

Refiere a la exportación, usualmente atribuida a los grandes agricultores.

ARRIENDO DE TERRENO = X [CLP]

Valor que cancelan los agricultores por arriendo de terreno.

GASTO EN SISTEMA DE RIEGO = Gasto Monetario en Agua + Mantención del Sistema De Riego [CLP]

Total de dinero gastado en mantener el sistema y adquirir agua.

MANTENCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO = X [CLP]

Dinero invertido en mantener el sistema de riego utilizado por los agricultores.

GASTO MONETARIO EN AGUA = X [CLP]

Cantidad de dinero que se invierte en agua por temporada.

Precio en USD distribución = $X + RAMP((X * 0.05), 2022, 2030)$ [Dólar]

Valor monetario del traslado internacional.

ingresos de exportación en USD = cantidad exportada * precio de venta en USD [Dólar]

Refiere a los beneficios monetarios obtenidos por el intercambio de los productos agrícolas.

Cantidad exportada = X [Kilos]

Refiere al número de kilos vendidos en el extranjero.

Precio de venta en USD = $X + RAMP((X * 0.05), 2022, 2030)$ [Dólar]

Refiere al valor monetario con el que fueron vendidos los productos agrícolas.

GASTOS NACIONALES NUTRIENTES = Compra Nutrientes Nacionales * Precio Nutrientes en CLP [CLP]

Refiere a los nutrientes adquiridos en el país.

COMPRA NUTRIENTES NACIONALES = X [Kilos]

Refiere a la cantidad de nutrientes nacionales comprados.

PRECIO NUTRIENTES EN CLP = $X + \text{RAMP}((X * 0.05), 2022, 2030)$ [CLP]

Refiere al valor monetario de los nutrientes adquiridos.

Nutrientes importados = X [Kilos]

Refiere a la cantidad de nutrientes traídos desde el extranjero.

Precio nutriente importado en USD = $X + \text{RAMP}((X * 0.06), 2022, 2030)$ [Dólar]

Refiere al valor monetario por la adquisición de nutrientes extranjeros.

GASTOS IMPORTACIÓN NUTRIENTES = Gasto Nutrientes en USD * "TIPO DE CAMBIO CLP/USD" [CLP]

Refiere al gasto que trajo consigo el traslado y compra de nutrientes extranjeros.

PRECIO QUÍMICOS IMPORTADO EN USD = $X + \text{RAMP}((X * 0.06), 2022, 2030)$ [Dólar]

Refiere al valor monetario por la adquisición de químicos extranjeros.

GASTOS QUÍMICOS EN USD = Precio Químicos Importado en USD * Químicos Importados [Dólar]

Refiere al gasto que trajo consigo el traslado y compra de químicos extranjeros.

QUIMICOS IMPORTADOS = X [Kilos]

Refiere a la cantidad de kilos de químicos comprados y trasladados desde el extranjero al país.

GASTOS IMPORTACIÓN QUÍMICOS = Gastos Químicos en USD * "Tipo de Cambio CLP/USD" [CLP]

Refiere al costo que trajo consigo la adquisición de químicos extranjeros.

PRECIO QUÍMICOS EN CLP = $X + \text{RAMP}((X * 0.05), 2022, 2030)$ [CLP]

Refiere al valor monetario de los químicos adquiridos.

COMPRA QUÍMICOS NACIONALES = X [Kilos]

Refiere a la cantidad de químicos nacionales comprados.

GASTOS NACIONALES QUÍMICOS = Compra Químicos Nacionales*Precio Químicos en CLP [CLP]

Refiere a los químicos adquiridos en el país.

Ganancias anuales = Ingresos de Venta-Gastos Totales [CLP]

Refiere a los beneficios económicos recopilados en el año.

INSUMOS = X [CLP]

Refiere a los gastos en materiales que se debe hacer en caso de que sea necesario.

"TIPO DE CAMBIO CLP/USD" = De 2016 a 2030 en general. Desde 2016 hasta la 3ra temporada de 2022 se sacó el promedio de la variación del dólar en Chile:
[(0,0)-

(10,10)],(2016,702.7),(2016.25,677.6),(2016.5,661.6),(2016.75,665.7),(2017,655.2),
(2017.25,664.15),(2017.5,642.65),(2017.75,633.8),(2018,601.94),(2018.25,620.94),
(2018.5,663.19),(2018.75,678.8),(2019,667.01),(2019.25,683.9),(2019.5,706.6),
(2019.75,755.98),(2020,802.8),(2020.25,822.97),(2020.5,780.93),(2020.75,761.96),
(2021,724.18),(2021.25,715.55),(2021.5,771.3),(2021.75,825.23),(2022,809.43)

[Dólar]

Precio de moneda extranjera en el mercado de divisas.

<Time> = N/A [N/A]

Variable "sombra" para determinar valores en el tiempo, en este caso, USD/CLP.

Gasto nutriente en USD = Precio Nutrientes Importados en USD *Nutrientes Importados [Dólar]

Refiere al gasto que trajo consigo el traslado y compra de nutrientes en el extranjero.

Tabla 6. Definiciones de variables de diagrama causal de “Modelo Económico”. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Descripción
Venta	Hace referencia a la acción de ofrecer y entregar un producto agrícola al potencial comprador/consumidor.
Gasto	Salida de dinero que permite financiar las actividades agrícolas del campo.
Ganancia	Beneficios obtenidos a través de una actividad y/o negociación financiera, que aumenta los ingresos y disminuye las pérdidas de los productos agrícolas.
Inversión	Hace referencia a la acción de compra de insumos (semillas, abono, químicos, etc.) que permite el aumento de valor y rendimiento con el tiempo, manifestándose en ganancias económicas.
Importación	Hace referencia a la compra de insumos en el extranjero, los cuales son necesarios para el funcionamiento del campo.
Exportación	Acción de vender o enviar productos agrícolas que son nacionales al extranjero.
CLP	Cantidad monetaria de pesos chilenos en la que se evalúa la importación.
USD	Valor del dólar al momento de simular.
Precio	Precio del cultivo que incidirá en el proceso, variable dependiente del “Tipo de Cultivo”.
Tipo de cultivo	Demuestra el tipo de cultivo que se tasará, es una variable no cuantitativa que incide en el valor de la variable “Precio”.
Comisión de traslado	Dinero gastado en el traslado general de elementos y que incide en la variable “Gastos”.

- **Forrester**

El modelo de la Figura 31 (Tabla 7) refiere a los gastos generales de importación y exportación, tanto de manera internacional como regional, cubriendo el caso de los grandes y pequeños agricultores. El diagrama contiene dos variables de stock (que acumulan valores), siendo una para los gastos denominada “Costo total” y otra para el beneficio (o pérdida) llamada a su vez “Beneficio”. En este modelado se exponen

las relaciones de variables que afectan los procesos de venta y gasto, lo cual se proyecta en “beneficio”, en donde este varía dependiendo del tipo de moneda con el que se realiza la transacción e intercambio (nacional o internacional).

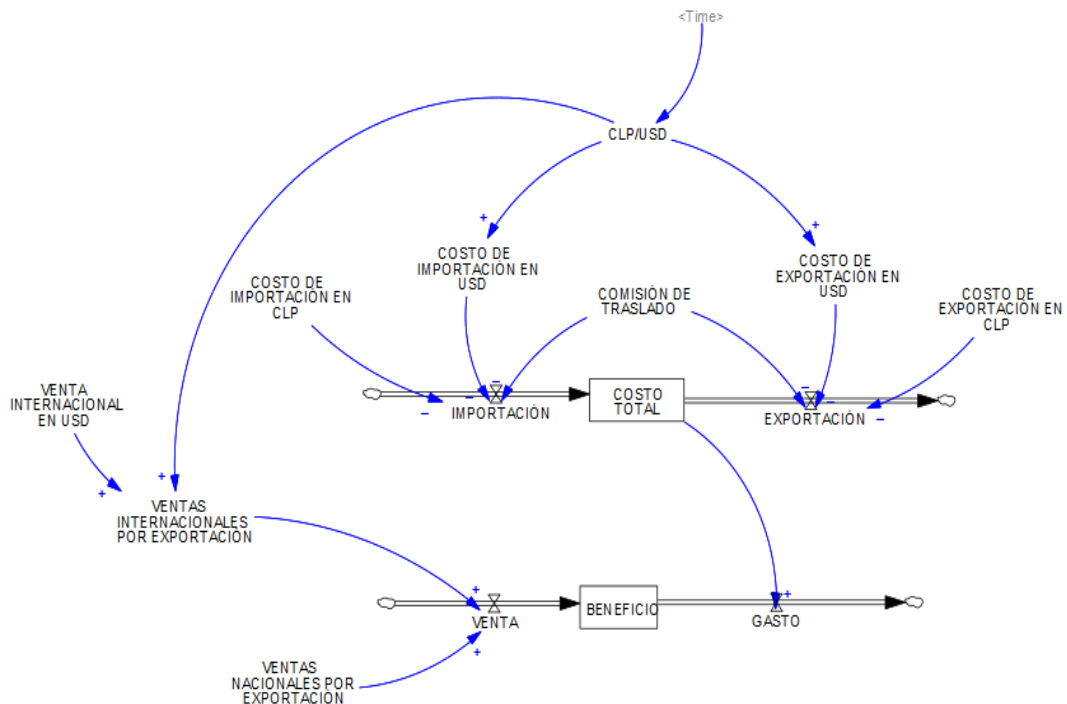


Figura 31. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Exportación”. Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 7. Descripción del modelo de flujo de “Exportación”. Fuente: Elaboración propia.

<p>Costo total = Importación+Exportación [Valor inicial: 0] [CLP] Suma de gastos económicos fijos y variables.</p>
<p>Importación = Costo de Importación en CLP+Costo de Importación en USD+Comisión de Traslado [CLP] Hace referencia a la compra de insumos en el extranjero, los cuales son necesarios para el funcionamiento del campo.</p>
<p>Exportación = Costo de exportación en CLP+Costo de exportación en USD+Comisión de traslado [CLP] Hace referencia a la acción de vender o enviar productos agrícolas que son nacionales al extranjero.</p>
<p>Beneficio = Venta-Gasto [Valor inicial: 0] [CLP] Corresponde a la cantidad monetaria recibida (ingresos) menos el costo de inversión.</p>
<p>Venta = Ventas internacionales por exportación+Ventas nacionales por exportación [CLP]</p>

Hace referencia a la acción de ofrecer y entregar un producto agrícola al potencial comprador/consumidor con el fin de obtener beneficios monetarios.

Gasto = COSTO TOTAL [CLP]

Salida de dinero que permite financiar las actividades agrícolas del campo.

Costo de importación en CLP = X [CLP]

Corresponde al precio en pesos de la compra más los gastos extras para conseguir y traer el bien (traslado, seguro, impuestos, derechos, etc.).

Costo de exportación en CLP = X [CLP]

Valor monetario en pesos que se pide al importador por el producto ofrecido.

Costo de importación en USD = X*"CLP/USD" [Dólar]

Corresponde al precio en dólares de la compra más los gastos extras para conseguir y traer el bien (Traslado, seguro, impuestos, derechos, etc.).

Costo de exportación en USD = X*"CLP/USD" [Dólar]

Valor monetario en dólares que se pide al importador por el producto ofrecido.

Comisión de traslado = X [CLP]

Dinero gastado en el traslado general de elementos y que incide en la variable "Gastos".

Venta internacional en USD = X [Dólar]

Acuerdo entre importador y exportador de países distintos que intercambian mercancía a cambio de un precio en dólares.

Ventas internacionales por exportación = "CLP/USD"*Venta Internacional en USD [CLP]

Hace referencia a la acción de transferir un producto internacional a un país distinto por un beneficio monetario.

Ventas nacionales por exportación = X [CLP]

Hace referencia a la acción de transferir un producto nacional a un país distinto por un beneficio monetario.

CLP/USD = De 2016 a 2030 en general. Desde 2016 hasta la 3ra temporada de 2022 se sacó el promedio de la variación del dólar en Chile: ((0,0)-(10,10)),(2016,702.7),(2016.25,677.6),(2016.5,661.6),(2016.75,665.7),(2017,655.2),(2017.25,664.15),(2017.5,642.65),(2017.75,633.8),(2018,601.94),(2018.25,620.94),(2018.5,663.19),(2018.75,678.8),(2019,667.01),(2019.25,683.9),(2019.5,706.6),(2019.75,755.98),(2020,802.8),(2020.25,822.97),(2020.5,780.93),(2020.75,761.96),(2021,724.18),(2021.25,715.55),(2021.5,771.3),(2021.75,825.23),(2022,809.43) [Dólar]

Precio de moneda extranjera en el mercado de divisas.

<Time> = N/A [N/A]

Variable "sombra" para determinar valores en el tiempo, en este caso, USD/CLP.

4.3.4 Diagramas Ambientales

La realidad de cada agricultor se diferencia en las elecciones y métodos que aplican en sus campos. El cómo repercute esta gestión en el medioambiente podría desencadenar un cambio en su modelo agrícola, debido a que, si bien todos buscan obtener beneficios y una producción rentable, el método tradicional genera más beneficios a corto plazo, pero con un daño a los recursos naturales alto, casi irreparables en cierto momento. Por esto es que se formuló la pregunta que guía este trabajo ¿Es posible aplicar un modelo de rotación de cultivos en la agricultura con el fin de tener una producción sustentable? Esto apuntando a generar ganancias sostenibles de forma consciente, pero sin dañar la biodiversidad que rodea el campo, tanto en pequeños como grandes agricultores. En los siguientes modelos ambientales se señalan las variables que intervienen y cómo se ven afectadas, estableciendo un aumento o mitigación de daño, dependiendo de las decisiones tomadas.

- **Causal**

El diagrama causal de la Figura 32 (Tabla 8), señala los ciclos y repercusiones que trae consigo la actividad agrícola, en donde las malas técnicas de riego, arado y cultivo, repercuten tanto en el ecosistema como en la salud de las personas. En este modelo observamos las acciones que generan emisiones de gases que contaminan el aire, agua y suelo, causando un deterioro de estos recursos. Por esto se contextualizan las variables que contribuyen a este proceso, siendo algunas vitales como las “Técnicas adecuadas de riego”, “Aplicar Técnicas contra N₂O, NH₃ y NO₃-” y la “Concentración de carbono en los suelos”, debido a que si se quiere implementar cambios ligados a mitigar el efecto invernadero y dirigir esta producción hacia la sustentabilidad, es necesario establecer e implementar estrategias integradoras, no priorizando ninguna técnica por sobre otra, ya que esto solo causaría un daño mayor.

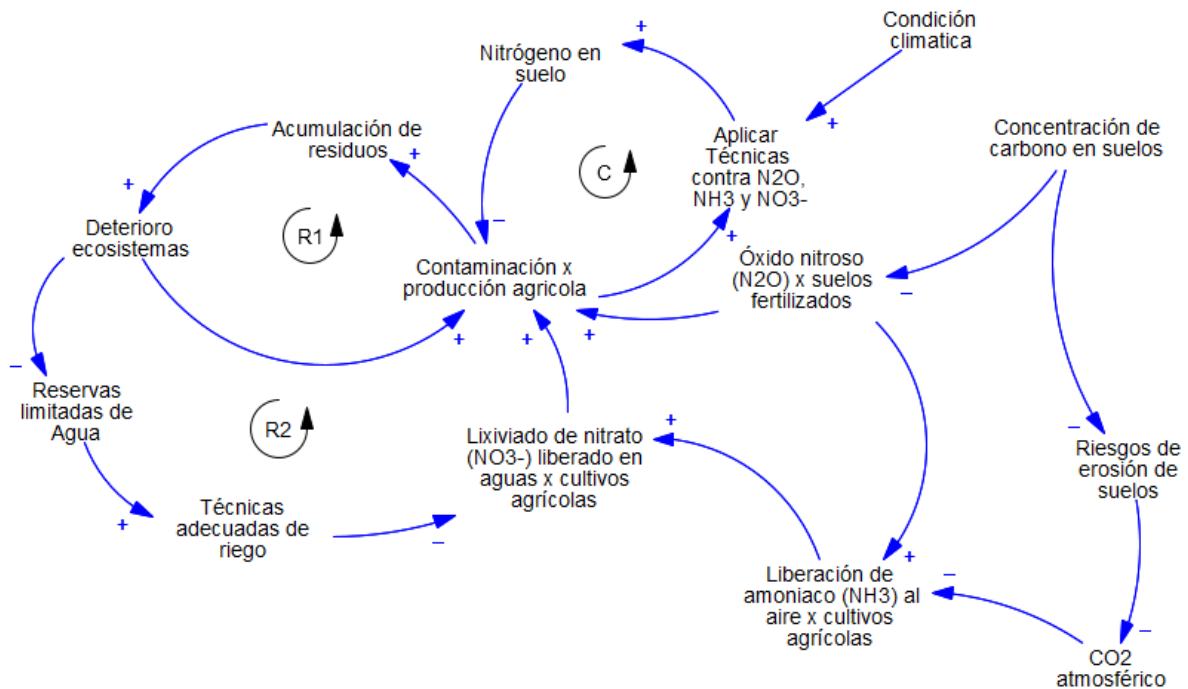


Figura 32. Representación de las relaciones causales denominada "Modelo Ambiental". Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 8. Definiciones de variables de diagrama causal de "Modelo Ambiental". Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Descripción
Condición climática.	Considera las características del clima en la región al momento de aplicar Técnicas Agrícolas, estas deben adecuarse a la condición climática que presente el lugar (seco, árido, húmedo, tropical, u otro).
Nitrógeno en suelo.	Nutriente natural de suelos que permite el desarrollo de cultivos.
Aplicar Técnicas contra N ₂ O, NH ₃ y NO ₃ ⁻ .	Estrategias integradoras para el correcto manejo agrícola. Medida sustentable.
Deterioro ecosistemas.	Estado del medio ambiente por causas externas.
Contaminación por producción agrícola.	Suma de contaminaciones por trabajo agrícola.
Óxido nitroso (N ₂ O) x suelos fertilizados.	Emisión de N ₂ O por malas técnicas agrícolas. En busca del equilibrio de fertilizantes.
Concentración de carbono en suelos.	Técnica contra óxido nitroso N ₂ O.

Reservas limitadas de Agua.	Cantidad de agua entregada para cumplir labores agrícolas.
Acumulación de residuos.	Mala gestión de desechos agrícolas.
Riesgos de erosión de suelos.	Al aplicar una mayor concentración de carbono en los suelos, es más difícil que los suelos erosionen y se vuelvan inestables frente a un cambio climático. Por erosión se entiende que la capa superior de la tierra se elimina, es en esta donde están los minerales y nutrientes que vuelven fértil la tierra.
Técnicas adecuadas de riego.	Uso correcto y no excesivo de agua durante el riego. Considerar tipo de suelo al aplicar este recurso.
Lixiviado de nitrato (NO ₃ ⁻) liberado en aguas por cultivos agrícolas.	Contaminante de agua que perjudica la salud de las personas y a los ecosistemas. Este es provocado por mala gestión de riego y mala implementación en cultivos agrícolas.
Liberación de amoníaco (NH ₃) al aire x cultivos agrícolas.	Emisión de amoníaco que contamina aire.
CO ₂ atmosférico.	Emisión de dióxido de carbono por malas técnicas agrícolas.

- **Forrester CO₂**

Este modelo de flujo de la Figura 33 (Tabla 9) hace referencia a factores ambientales que se deben considerar al momento de realizar labores agrícolas, ya que el CO₂ es un gas que afecta significativamente a la atmósfera del planeta, y por lo tanto a la vida misma. Las variables señaladas son las causantes de la emisión de este componente; al menos en el área agrícola, y es por esto que se debe tomar conciencia y establecer estrategias que limiten esta emisión, o bien que la reduzcan.

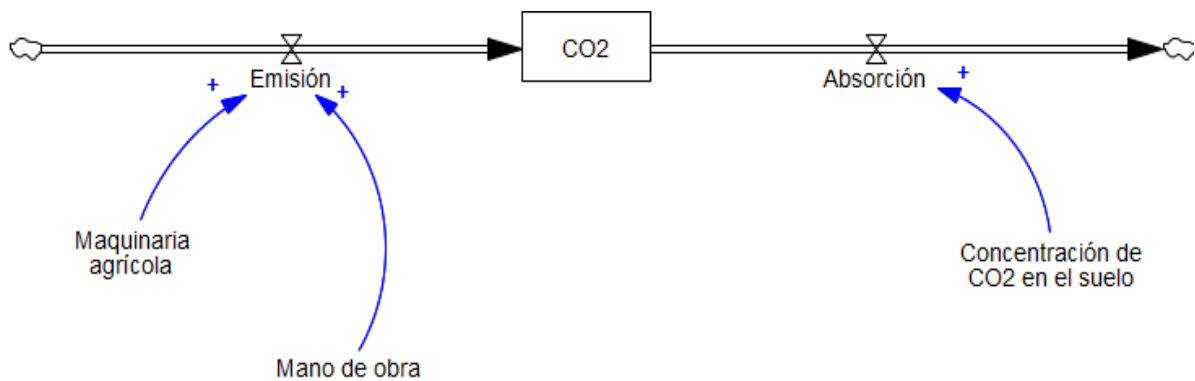


Figura 33. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “CO2”. Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 9. Descripción del modelo de flujo de “CO2”. Fuente: Elaboración propia.

<p>CO2 = Emisión-Absorción [Toneladas] Relación entre el CO2 emitido y absorbido en toneladas.</p>
<p>Emisión = Mano de obra+Maquinaria agrícola [Toneladas] Liberación de gases al medio ambiente.</p>
<p>Absorción = Concentración de CO2 en el suelo [Toneladas] Absorción de gases por parte de las plantas y el sol.</p>
<p>Maquinaria agrícola = X [Toneladas] Equipos que se utilizan en la agricultura para desempeñar labores de mantenimiento y cuidado de las siembras y suelo, entre otras acciones, estas emiten CO2 por sus combustibles.</p>
<p>Mano de obra = X [Toneladas] Emisión de CO2 al ambiente por parte de las prácticas agrícolas de la mano de obra.</p>
<p>Concentración de CO2 en el suelo = X [Toneladas] Dióxido de carbono absorbido desde la atmósfera.</p>

- **Forrester Contaminación**

En este diagrama de flujo llamado “Contaminación” de la Figura 34 (Tabla 10) se pueden apreciar los efectos que trae consigo la actividad agrícola, y que daña de cierta manera el aire, agua y suelo. En este modelado se define la “Emisión” y “Mitigación” de la contaminación, incluyendo elementos que aportan y técnicas que limitan la liberación y reducen el deterioro que trae consigo este proceso.

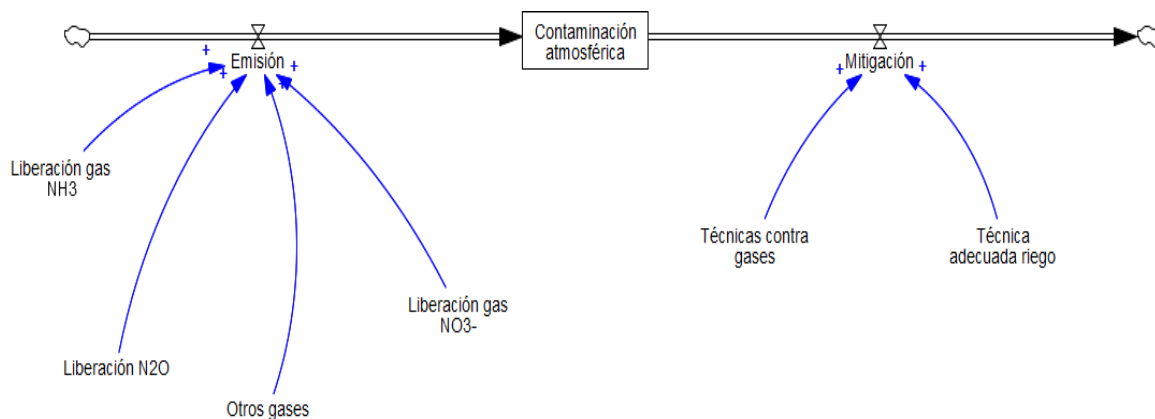


Figura 34. Representación del flujo de las relaciones causales denominada "Contaminación". Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 10. Descripción del modelo de flujo de "Contaminación". Fuente: Elaboración propia.

<p>Contaminación atmosférica = Emisión-Mitigación [Toneladas] Presencia de materias dañinas para las personas y el ecosistema.</p>
<p>Emisión = Liberación gas NH₃+Liberación N₂O+Otros gases+"Liberación gas NO₃-" [Toneladas] Liberación de materias dañinas al aire, agua y suelo.</p>
<p>Mitigación = Técnica adecuada riego+Técnicas contra gases [Toneladas] Técnicas o estrategias para disminuir la contaminación por labores agrícolas.</p>
<p>Liberación gas NH₃ = X [Toneladas] Emisión de amoníaco a la atmósfera que contamina el aire.</p>
<p>Liberación N₂O = X [Toneladas] Emisión de Óxido nitroso al suelo por malas técnicas agrícolas.</p>
<p>Liberación gas NO₃- = X [Toneladas] Emisión de Lixiviado de nitratos que contamina el agua.</p>
<p>Otros gases = X [Toneladas] Suma de gases extra que afecta a la contaminación, tales como CH₄, CO₂, entre otros.</p>
<p>Técnicas contra gases = X [Toneladas] Estrategias integradoras implementadas para reducir emisiones de gases al medio ambiente.</p>
<p>Técnica adecuada riego = X [Litros] Aplicación y distribución limitada de agua en cultivos, no usar excesivamente este recurso.</p>

- **Forrester Desechos**

En el modelo denominado “Desechos” de la Figura 35 (Tabla 11) se señala la gestión de residuos que se realizan en un campo, en donde algunos se reutilizan en “compost” y en una “Cobertura orgánica”, mientras que otros son desechados al ser inutilizables.

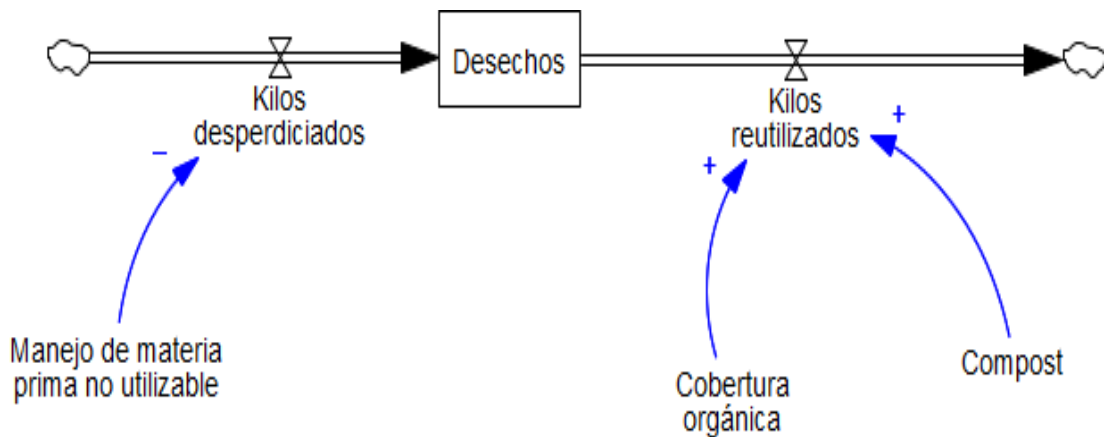


Figura 35. Representación del flujo de las relaciones causales denominada “Desechos”. Fuente: Vensim, elaboración propia.

Tabla 11. Descripción del modelo de flujo de “Desechos”. Fuente: Elaboración propia.

<p>Desechos = Kilos desperdiciados-Kilos reutilizados [Kilos] Cantidad de desechos (materia prima) que se genera durante la temporada.</p>
<p>Kilos reutilizados = Cobertura orgánica+Compost [Kilos] Cantidad de materiales que son productivos y brindan soluciones a labores cotidianas de la agricultura.</p>
<p>Kilos desperdiciados = Manejo de materia prima no utilizable [Kilos] Cantidad de materiales que son desechados durante la faena.</p>
<p>Cobertura orgánica = X [Kilos] Corresponde a una capa de residuos de cultivos como paja, hojas, tallos y otros materiales, con los que se forma un acolchado protector del suelo y cultivos.</p>
<p>Compost = X [Kilos] Mezcla de residuos de vegetales y animales en estado de descomposición que se transforma en un producto rico en nutrientes y potenciador del crecimiento del crecimiento. Este producto aumenta la calidad de los suelos y reduce las</p>

infestaciones de plagas y enfermedades en los cultivos.

Manejo de materia prima no utilizable = X [Kilos]

Acción de desechar materiales inútiles que dan vueltas y generan malestar al no ser productivos o reutilizables.

4.4 Simulaciones

Luego de crear y probar los modelos, se procedió a simular en estos, lo cual entregará la información exacta que se busca y las respuestas a las preguntas que se han planteado, independiente del contexto de los datos. Por esta razón, antes de cada gráfico se menciona si se ocuparon o no variables dentro de la simulación para generar la diferencia (basada en la información) entre pequeños y grandes agricultores. Los datos ocupados para modelar son estimaciones de ejemplo que simulan situaciones reales, el objetivo es demostrar el correcto funcionamiento de los diagramas, sobre todo en los modelos económicos, ya que, las cifras que usarán dependiendo del contexto son altamente variables. Por otro lado, los modelos ambientales también poseen datos aproximados de ejemplo, sin embargo, se hace más énfasis en estos resultados puesto que reflejan la respuesta a la pregunta general de esta investigación. Para el caso de los pequeños agricultores, no se tomó en cuenta ningún factor que trabaje con USD (dólar) o variable que refiera al extranjero.

4.4.1 Casos extremos

Se aseguró el correcto funcionamiento de cada modelo, para lo que se forzó el modelo a funcionar con datos absurdos (extremos), situaciones inexistentes o poco probables en una situación real y cotidiana, además de comprobar con valores normales que sus resultados fuesen válidos. No todas las variables fueron puestas a prueba de forma simultánea, sino que para estas pruebas en cada modelo Forrester se consideraron variables aleatorias y con ellas medir su funcionamiento.

- **Forrester de inversiones**

Se tomaron tres escenarios (Figura 36) en la prueba de valores extremos, el primero (línea verde) es el resultado común con los valores de la Tabla 12 con dólar en aumento hasta 1000 CLP en 2030 (Grandes/Rotativos). El segundo (línea roja) posee valores aumentados de las variables de adquisición de productos (químicos y nutrientes), lo que produjo un evidente aumento exponencial en la línea de tiempo. El tercer caso considera una disminución de las mismas variables (línea azul), incluso teniendo valores negativos en situaciones imposibles como es adquirir un valor negativo de unidades de algún producto; como era de esperarse, la línea tiende a valores negativos en el tiempo y demuestra la coherencia con los dígitos simulados.

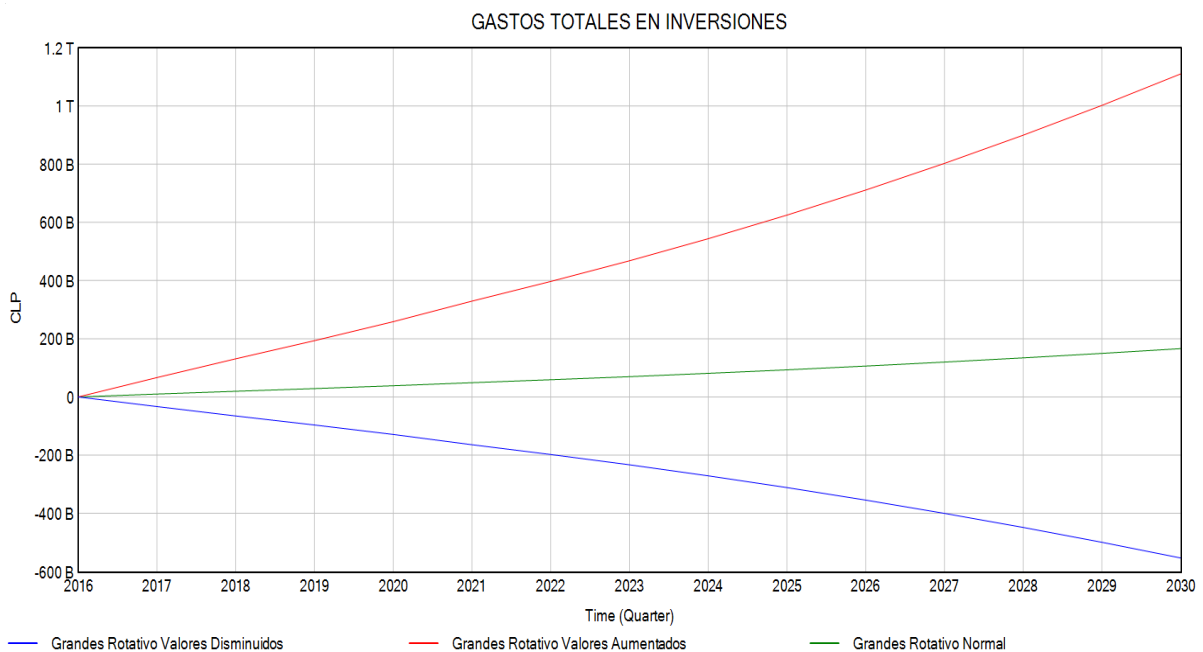


Figura 36. Gráfico de “GASTOS TOTALES EN INVERSIONES” editado con valores extremos. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Forrester de rendimiento**

Al igual que en el caso anterior, se tomaron tres casos en donde dos de estos demuestran la robustez del modelo, tomando valores extremos positivos y negativos con valores bases de la Tabla 13 con dólar al ascenso a 1000 CLP hasta 2030. La reacción del modelo es similar al caso anterior, teniendo en línea verde los valores

comunes, en rojo los valores aumentados en números positivos extremos y en la línea azul valores disminuidos en negativos en donde no existe coherencia en las relaciones de las cifras y sus variables.

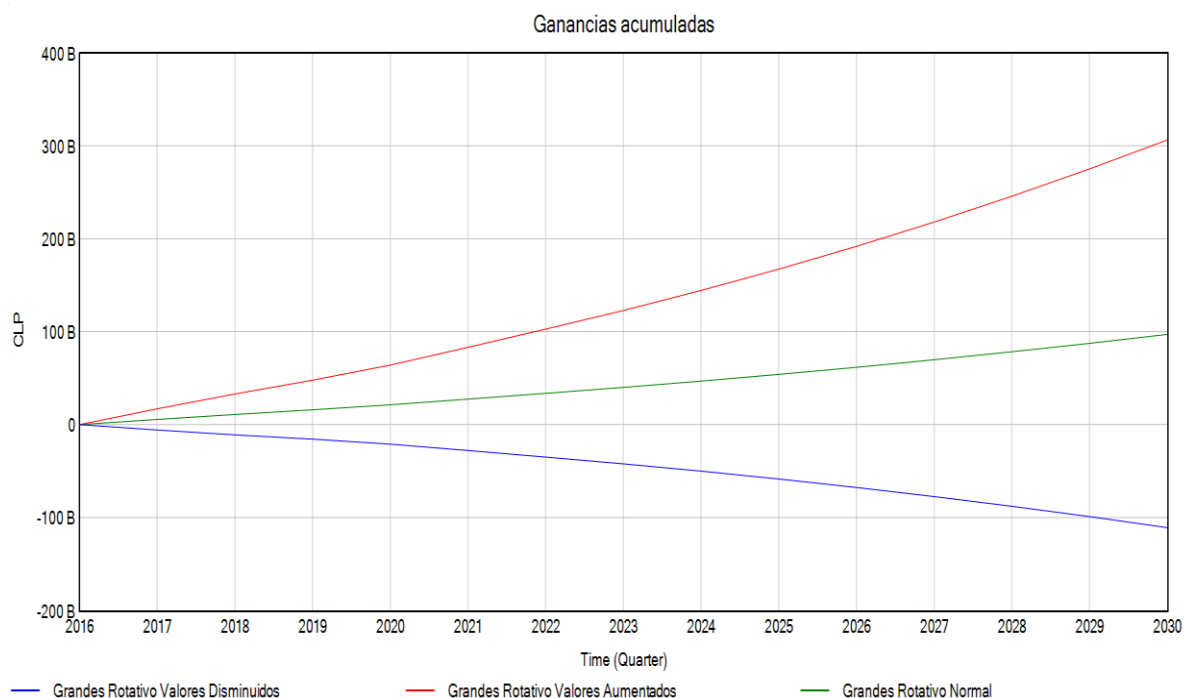


Figura 37. Gráfico de “Ganancias acumuladas” editado con valores extremos.
Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Forrester de exportación**

Nuevamente, con el valor del dólar subiendo a 1000 CLP hasta 2030 se hicieron las pruebas del modelo de exportación, siguiendo la misma lógica que los anteriores casos, y tomando los datos de los “Grandes/rotativos” de la Tabla 14, con lo que se obtuvo el resultado reflejado en el gráfico de la Figura 38.

Se usó la variable de almacenamiento “COSTO TOTAL” para variar en la aplicación del proceso en general, dejando de lado algunas variables que no intervienen en el mismo. Tal como en los casos anteriores, el color verde indica el proceso normal con los valores numéricos fijos, el rojo hace referencia a los valores aumentados positivamente y el azul disminuidos, pudiendo observarse que el comportamiento es idéntico a los casos anteriores.

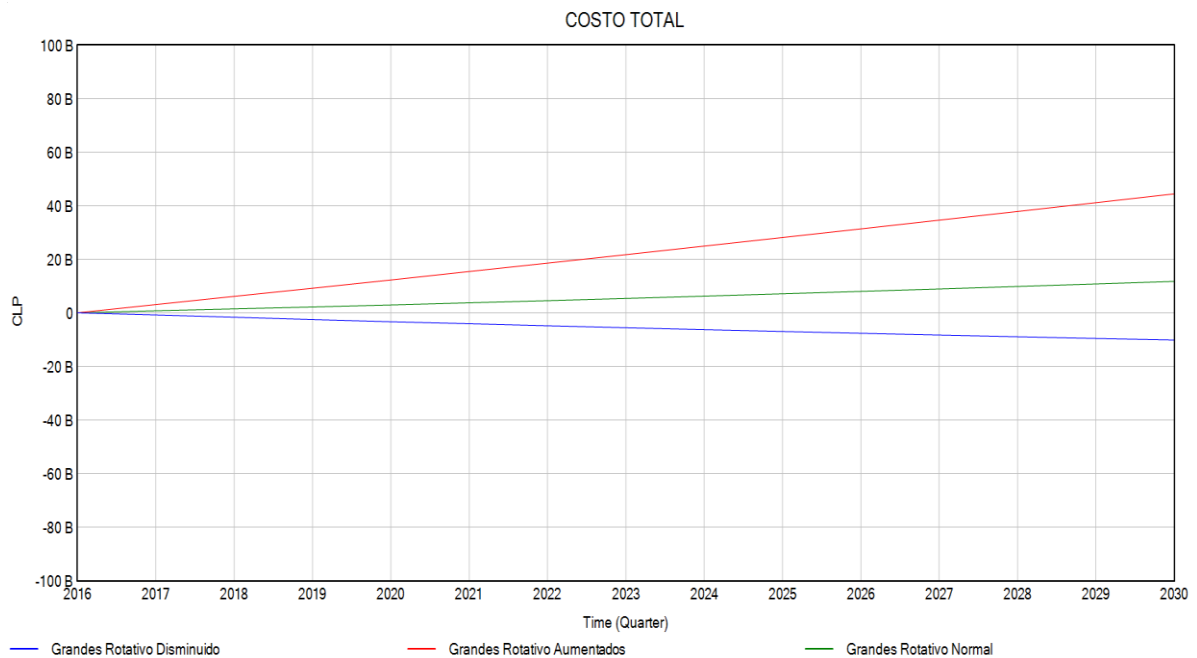


Figura 38. Gráfico de “Ganancias acumuladas” editado con valores extremos.
Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Forrester ambientales**

Se ocuparon los datos bases de las Tabla 15, 16 y 17 para su realización (Grandes/Rotativos).

En el caso del gráfico de CO2 de la Figura 39, se observa que es el que más varía respecto a todas las otras pruebas, si bien, los valores están en parámetros correctos (verde) y extremos (rojo como positivo y azul como negativo), se puede observar que la simulación con datos normales supera a la simulación con extremo positivo, debido a la relación de las variables.

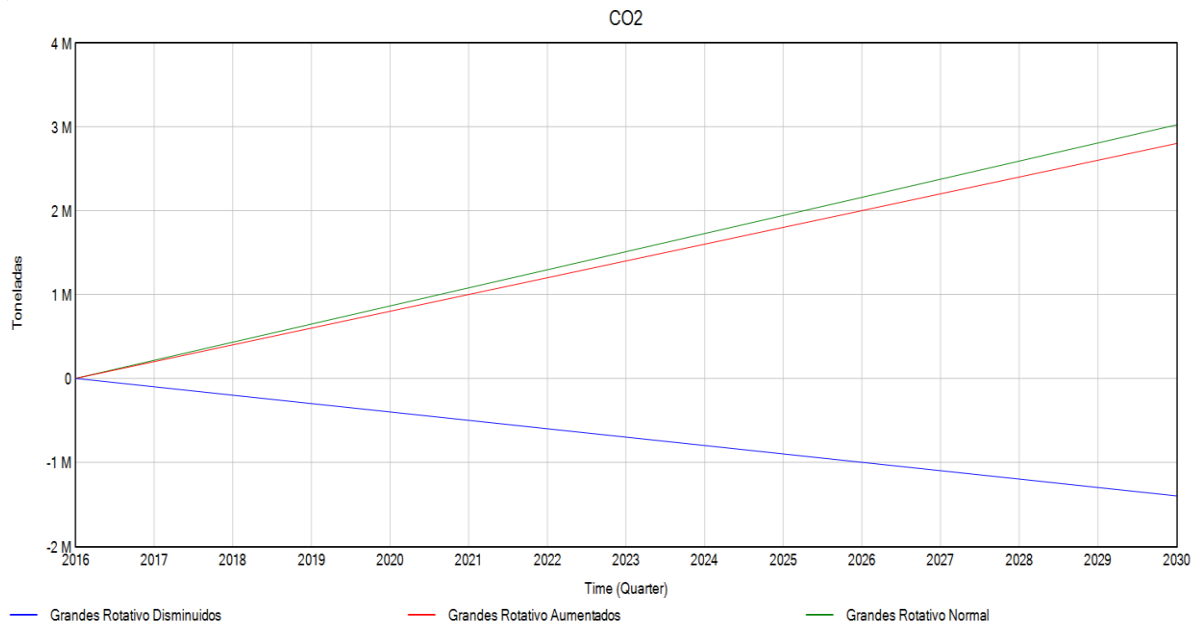


Figura 39. Gráfico de “CO2” editado con valores extremos. Fuente: Vensim, elaboración propia.

En la prueba de gráficos de desechos de la Figura 40 se observa una conducta similar a las anteriores pruebas, sin embargo, en el caso se ve que el valor extremo negativo (línea azul) está con un resultado positivo, lo que significa que los desechos son más producidos que reciclados. Por otro lado, la línea roja que indica los valores positivos extremos demuestra lo contrario, teniendo una gama amplia de valores entre un ejemplo y otro.

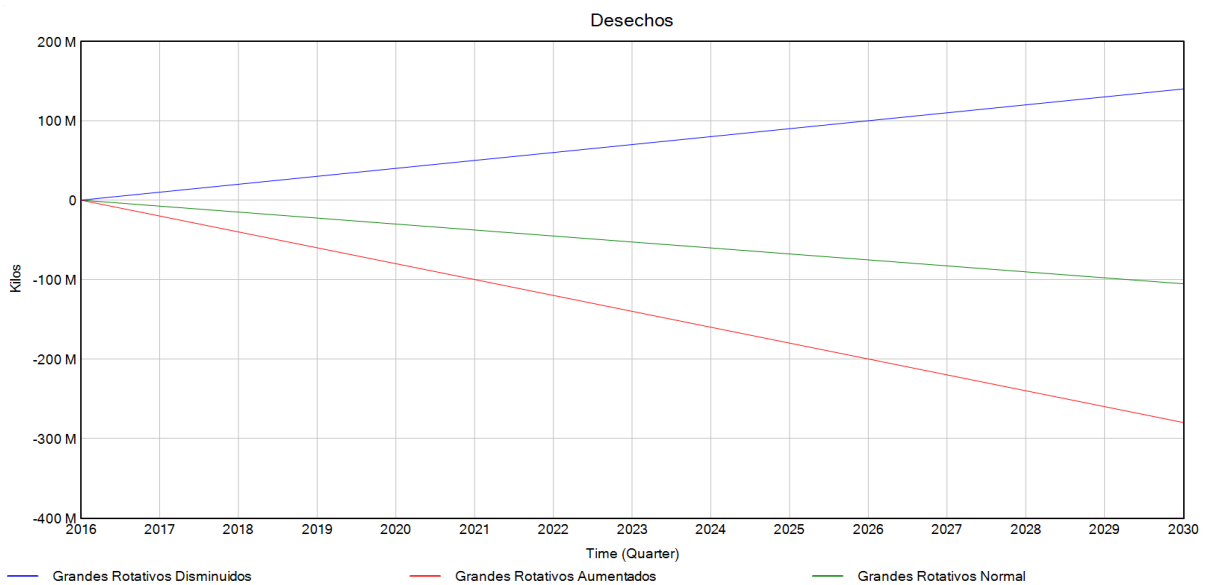


Figura 40. Gráfico de “Desechos” editado con valores extremos. Fuente: Vensim, elaboración propia.

Finalmente, el gráfico de contaminación de la Figura 41 tiene el comportamiento esperado, al contrario de la mayoría de las pruebas anteriores en donde el valor extremo que aumenta produce un resultado positivo, este lo evidencia de manera negativa (lo cual es beneficioso en este gráfico de emisiones) y el valor extremo disminuido (línea azul) tiene un resultado positivo.

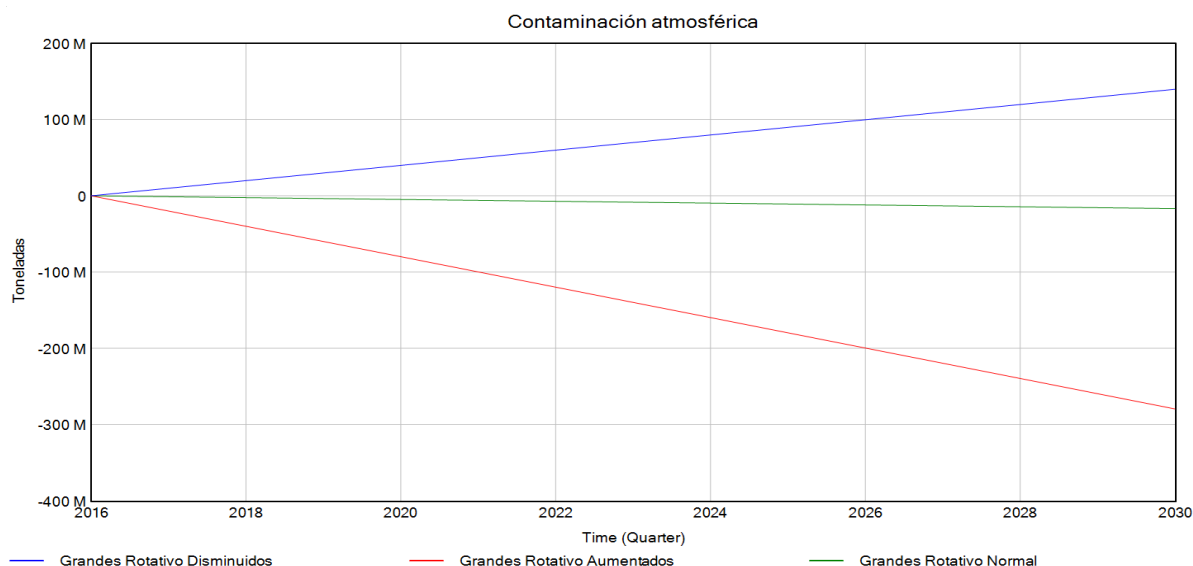


Figura 41. Gráfico de “Contaminación atmosférica” editado con valores extremos. Fuente: Vensim, elaboración propia.

4.4.2 Comparaciones de inversiones

Con el modelo de inversiones se relacionaron variables de costo, gasto, stock y traslado. A partir de esto, se grafican los comportamientos basados en los datos absurdos que se muestran en Tabla 12.

Tabla 12. Valores para el ejemplo de “Inversiones”. Fuente: Elaboración propia.

INVERSIONES	Pequeños/ Tradicional	Pequeños/ Rotativo	Grandes/Tra dicional	Grandes/Rot ativo
Costo del transporte de nutrientes internacional (USD)	0	0	921.740,82	46.087
Costo del transporte de químicos internacional (USD)	0	0	921.740,82	46.087
Precio nutriente (CLP)	1.860	0	1.860	1.860

Precio químico (CLP)	10.717	0	10.717	0
Precio de nutriente importados (USD)	0	0	1,91	1,91
Precio de químico importados (USD)	0	0	17,43	17,43
Costo del transporte de nutrientes nacionales (CLP)	496.330	0	0	0
Costo del transporte de químicos nacionales (CLP)	505.187	0	0	0
Nutrientes comprados [Kilos]	0	0	0	2.833.050
Químicos comprados [Kilos]	379	0	3.790	0
Químicos importados [Kilos]	0	0	1.263.207	63.160
Nutrientes importados [Kilos]	0	0	141.653	2.833.050

- **Pequeños agricultores**

Cherlinka (2022) plantea que el uso de químicos y nutrientes en el cultivo rotativo no existe, bajo esa lógica, basamos la primera comparación de las inversiones en pequeños agricultores, usando el modelo de cultivo tradicional y posteriormente el rotativo. Los gastos totales de inversiones en el cultivo tradicional se ven al alza a través de los años (10 millones aproximadamente cada dos años), esto al tener gastos en nutrientes y químicos; sin embargo, el modelo de cultivo rotativo no contiene estos gastos, por ende, el gasto total es siempre de 0. La variación del dólar no afecta a resultado de estas simulaciones, puesto que, ninguno utiliza variables con este valor; aun así, se representan las variaciones en el diagrama, donde el resultado es el mismo para los tres escenarios de aumento, disminución o valor constante.

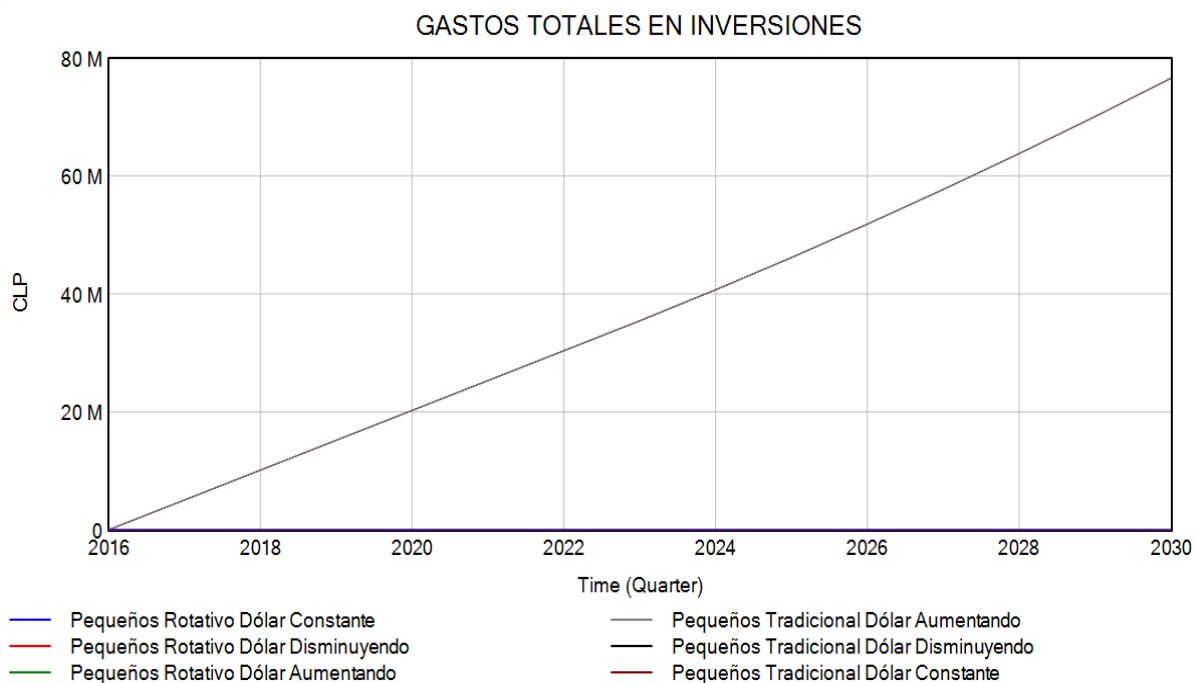


Figura 42. Gráfico de “GASTOS TOTALES EN INVERSIONES” de pequeños agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Grandes agricultores**

Ocupando el mismo modelo que en el caso de los pequeños agricultores, pero ahora con cifras más altas, podemos calcular el comportamiento del gráfico para el gasto en nutrientes y químicos para grandes agricultores con sistema de cultivo tradicional (Figura 43). Aquí se tiene un gasto comparativamente más exponencial que sus similares menores. Cabe mencionar que, para el caso de cultivo rotativo, quisimos agregar datos que demostraran una situación real, agregando costo por transporte y cantidad de químicos y nutrientes por temporada. De este modo, la comparación de ambos gráficos demuestra que el gasto en inversiones es mucho menor con el modelo de cultivo rotativo, ya que, como mencionamos, se gasta mucho menos en elementos para la mantención de los suelos y cosechas. Esto sucede a raíz de la rotación, donde básicamente las mismas plantas utilizadas en el proceso recomponen el suelo trabajado. En relación con la variación del dólar, el comportamiento es similar en los tres casos de cambio para ambos métodos de cultivo, sin embargo, el tradicional demuestra que se ve más afectado por el cambio del dólar que el rotativo.

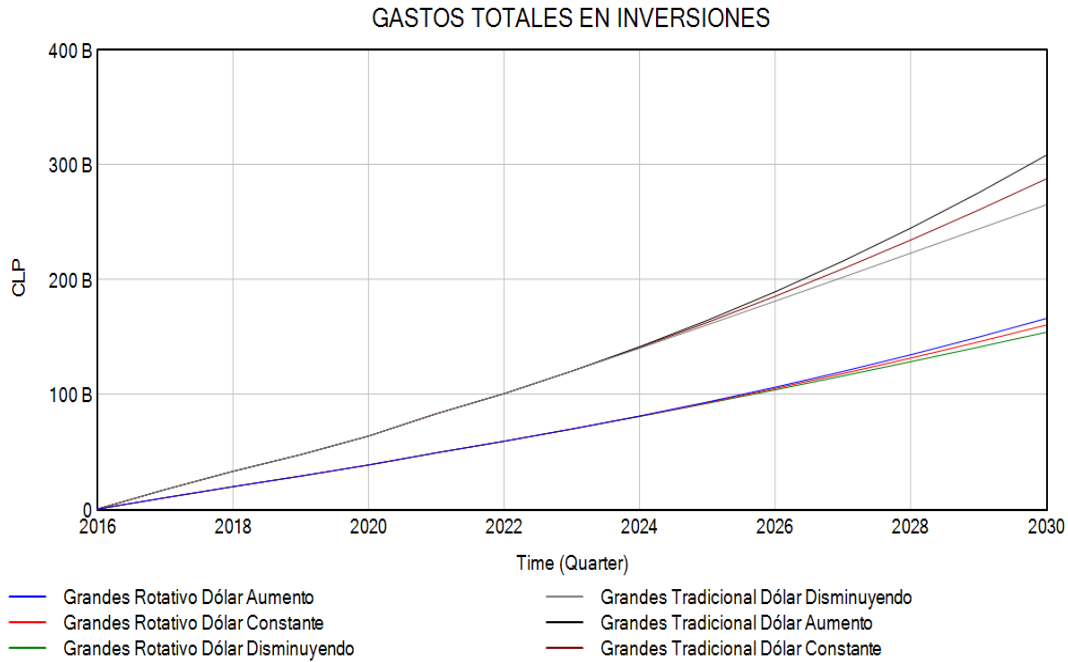


Figura 43. Gráfico de “GASTOS TOTALES EN INVERSIONES” de grandes agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

4.4.3 Comparaciones de rendimiento

Con el modelo de rendimiento se relacionan variables de ventas de productos y gastos en mantención, cuidado y producción. De estos datos se obtiene el rendimiento económico que resulta del proceso y se observan en Tabla 13. Cabe destacar, que los gráficos simulan datos similares a la realidad, pero que pueden no ser exactos.

Tabla 13. Valores para el ejemplo de “Rendimiento”. Fuente: Elaboración propia.

RENDIMIENTO	Pequeños/ Tradicional	Pequeños/ Rotativo	Grandes/ Tradicional	Grandes/ Rotativo
Costo distribución nacional (CLP)	494.470	494.470	623.724	623.724
Gastos de maquinaria (CLP)	878.000	578.000	8.780.000	5.780.000
Mano de obra (CLP)	390.000	450.000	390.000	450.000
Ingreso de ventas nacionales (CLP)	173.750.000	183.150.000	1.737.500.000	1.831.500.000

Arriendo de terreno (CLP)	900.000	900.000	9.000.000	9.000.000
Precio nutrientes importados (USD)	0	0	1,91	1,91
Mantenimiento del sistema de riego (CLP)	202.000	202.000	6.060.000	6.060.000
Precio distribución (USD)	0	0	320,32	320,32
Gasto monetario en agua (CLP)	144.000	120.000	1.440.000	1.200.000
Insumos (CLP)	190.000	190.000	1.900.000	19.000.000
Cantidad exportada (venta en el extranjero) [Kilos]	0	0	695.000	495.000
Precio de venta (USD)	0	0	6,24	10,87
Compra nutrientes nacionales (CLP)	0	0	0	0
Precio nutrientes (CLP)	0	0	0	0
Nutrientes importados [Kilos]	0	0	0	0
Precio químicos importados (USD)	0	0	17,43	0
Químicos importados [Kilos]	0	0	6605,97	0
Precio químicos (CLP)	10.717	0	107.174	0
Compra químicos nacionales [Kilos]	379	0	3.790	0

- **Pequeños agricultores**

En el gráfico de la Figura 44, vemos la relación de las ganancias acumuladas (rendimiento) en los pequeños agricultores. Se ve claramente que el modelo de cultivo rotativo tiene más ganancias a largo plazo que el modelo de cultivo tradicional. Al ser pequeños agricultores, hay variables que quedan con un valor 0, al no incidir el dólar en estas o cualquier relación con el extranjero, por ende, las variaciones del dólar no hacen cambiar en lo más mínimo a ninguna curva. La ecuación RAMP incide para

poder tener más variaciones a lo largo del tiempo en las variables, de este modo, en las variables de transporte, distribución, precio y/o costo se suma un 5% por cada periodo de tiempo, por otro lado, en las de importación y exportación se suma un 6%. En este caso de ejemplo, tres variables quedaron en valor 0 en todos los escenarios, esto no refleja la totalidad de las posibilidades que pueda haber en un futuro o en diversos proyectos agrícolas. Por tanto, si bien estas variables no fueron necesarias en estas simulaciones, podrían ser requeridas en otras (se encuentran funcionales).

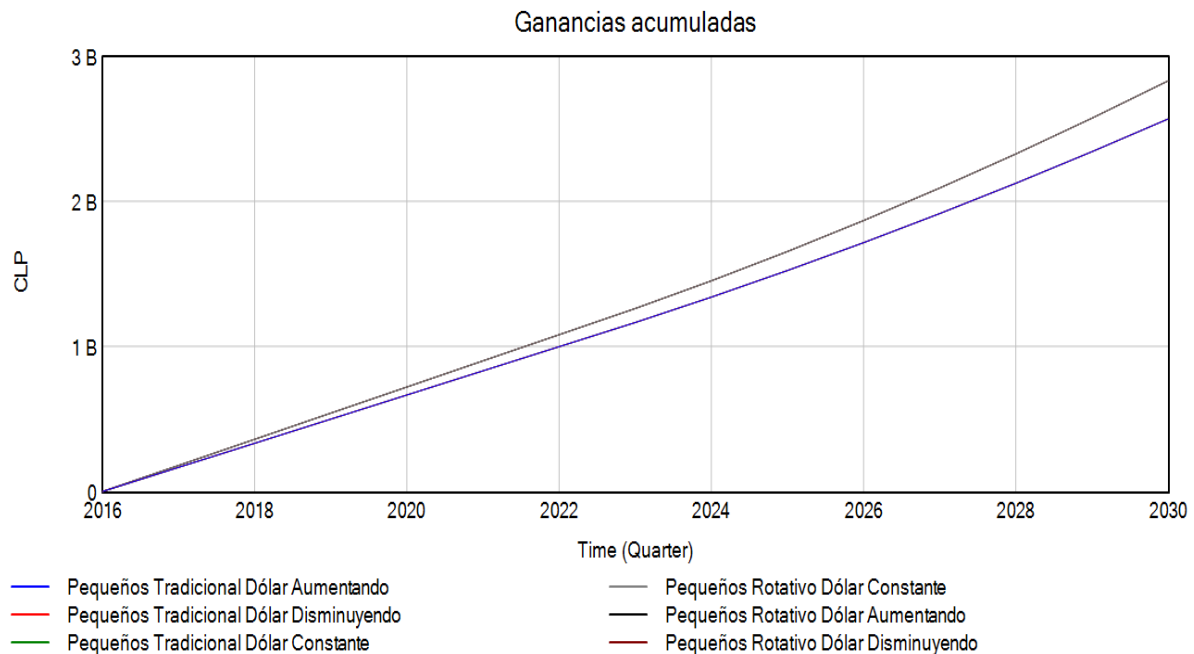


Figura 44. Gráfico de “Ganancias acumuladas” de pequeños agricultores.
Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Grandes agricultores**

En la Figura 45 se observa una situación similar al de los pequeños agricultores, pero con cifras favorables para el cultivo rotativo que genera ganancias más rápido que el cultivo tradicional, debido al bajo costo de insumos, menor gasto en maquinarias, y menor gasto monetario en agua principalmente, generando una tendencia favorable para los pequeños agricultores que implementan este modelo en sus cultivos.

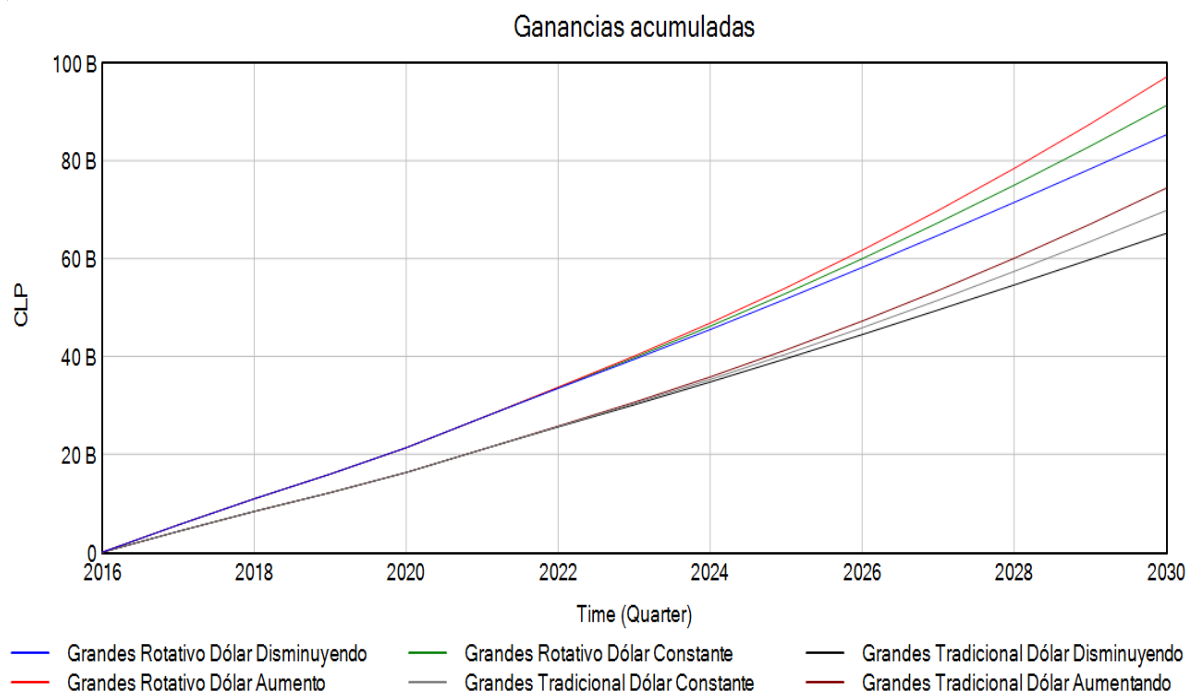


Figura 45. Gráfico de “Ganancias acumuladas” de grandes agricultores.
Fuente: Vensim, elaboración propia.

4.4.4 Comparaciones de exportación

Con el modelo de exportación, se midió la relación entre las ventas y gastos que se realizan con la importación y/o exportación de los productos. Estos gráficos consideran los datos mostrados en Tabla 14.

Tabla 14. Valores para el ejemplo de “Exportación”. Fuente: Elaboración propia.

EXPORTACIÓN	Pequeños/ Tradicional	Pequeños/ Rotativo	Grandes/ Tradicional	Grandes/ Rotativo
Costo de importación (CLP)	0	0	10.454.668,2	11.018.668,2
Costo de exportación (CLP)	0	0	219.791.974,5	231.649.134,5
Costo de importación (USD)	0	0	26.051,6	32.314,7
Costo de exportación (USD)	0	0	547.692,6	679.363,8
Comisión de traslado (CLP)	1.042.500	1.098.900	10.425.000	10.989.000
Venta internacional (USD)	0	0	433.680	538.065

Ventas nacionales por exportación (CLP)	17.375.000	18.315.000	173.750.000	183.150.000
---	------------	------------	-------------	-------------

- **Pequeños / Costo**

En el gráfico de la Figura 46 de pequeños agricultores podemos observar que la relación del costo de venta y gasto en las exportaciones e importaciones no presentan diferencias, ya que al ser productores pequeños no cuentan con datos de transacciones en ventas o compras en el extranjero, lo que causa un comportamiento estable y sin alteraciones entre ambos tipos de cultivos. Sin embargo, notamos que los costos de los procesos de exportación e importación son mayores en el modelo de cultivo rotativo a medida que pasa el tiempo, asumiendo sólo la comisión de traslado, y generando una barrera para los tratos comerciales.

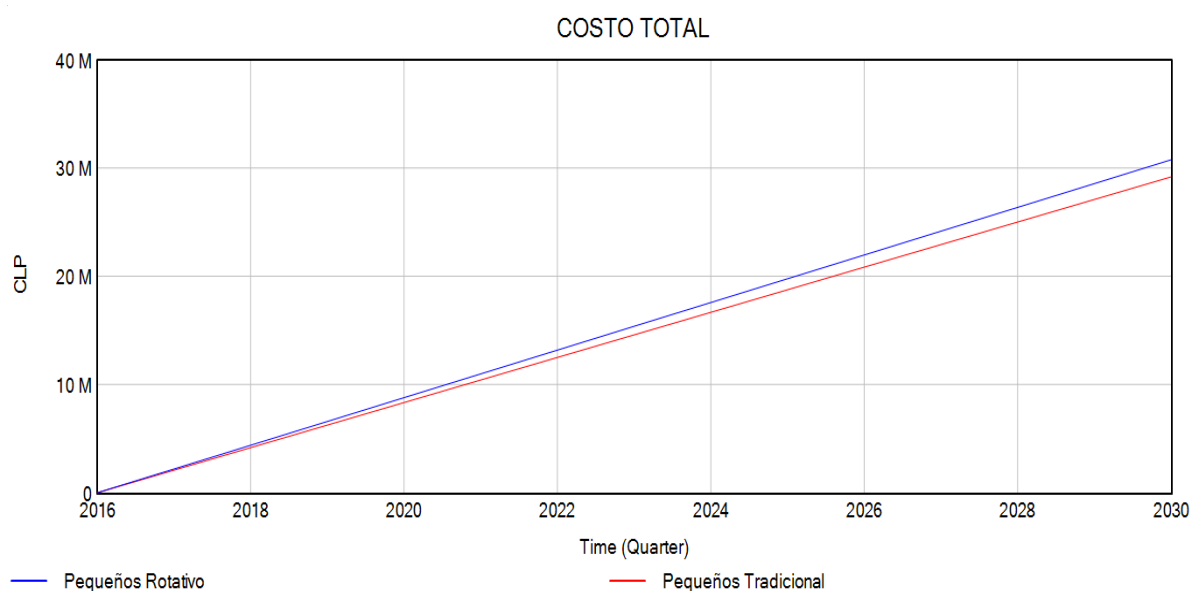


Figura 46. Gráfico de “COSTO TOTAL” de pequeños agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Grandes / Costo**

En la Figura 47 se observa que el modelo de cultivo rotativo posee mayor gasto en el proceso completo, pudiendo ver además lo que reflejan todas las variables del

modelo en el gráfico. Con la variación del dólar podemos ver que en cada escenario el comportamiento es parecido, así el alza, mantención o disminución del dólar no evitan que el costo siga su curva de crecimiento.

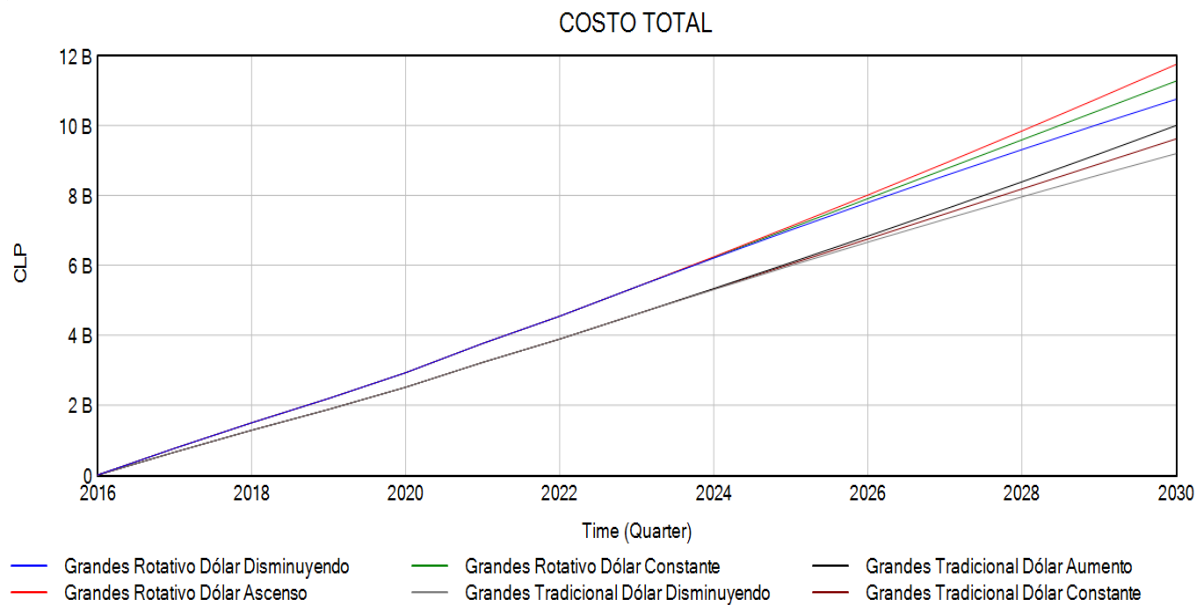


Figura 47. Gráfico de “COSTO TOTAL” de grandes agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Pequeños / Beneficio**

En la Figura 48 se aprecia que el beneficio entre las ganancias y el gasto del proceso de importación y exportación es positivo en ambos casos, con una leve ventaja a largo plazo en el modelo rotativo. Sin embargo, poco antes de 2025 aproximadamente ambas situaciones decrecen debido a los costos de exportación. Al respecto cabe señalar que, al ser una situación de ejemplo, las características y resultados cambiarán dependiendo del caso en el que se manipule el modelo.

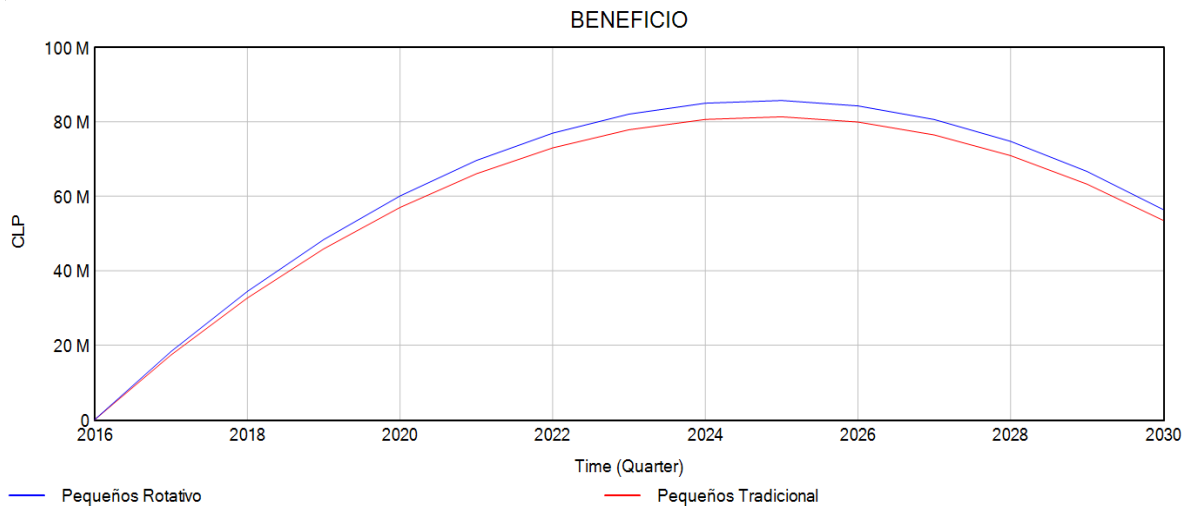


Figura 48. Gráfico de “BENEFICIO” de pequeños agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Grandes / Beneficio**

Para representar un caso en donde los beneficios tienden a la baja, se usaron diversas cifras que desembocan en pérdida para ambos casos en todas las variaciones planteadas para el dólar, sin embargo, se destaca que (al igual que en los pequeños), el modelo tradicional tiene una pérdida más leve que el rotativo (Figura 49).

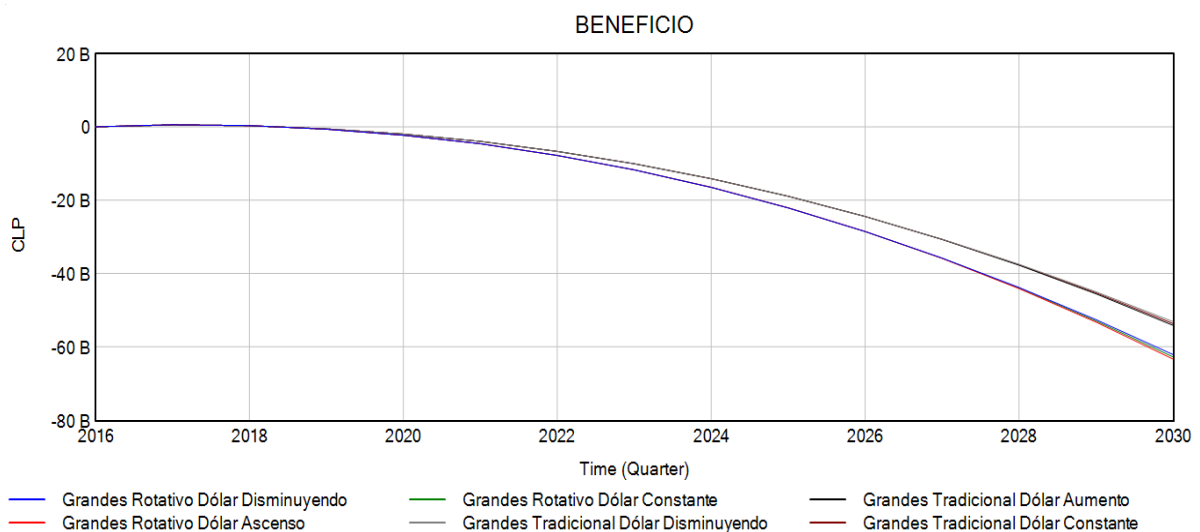


Figura 49. Gráfico de “BENEFICIO” de grandes agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

4.4.5 Comparaciones ambientales

4.4.5.1 CO2

Con el modelo de CO₂, medimos la relación entre su emisión y absorción bajo diversos contextos. En esta ocasión, para calcular todos los gráficos, se utilizaron todas las variables, ocupando un valor inicial de 0. Para obtener los gráficos de este modelo, se ocuparon los datos mostrados en Tabla 15.

Tabla 15. Valores para el ejemplo de “CO₂”. Fuente: Elaboración propia.

CO ₂	Pequeños/ Tradicional	Pequeños/ Rotativo	Grandes/ Tradicional	Grandes/ Rotativo
Maquinaria agrícola [ton]	8.980	4.490	26.940	13.470
Mano de obra [ton]	24.210	24.210	484.200	484.200
Concentración de CO ₂ en el suelo [ton]	4.697	9.394	140.910	281.820

- **Pequeños agricultores**

En la Figura 50 se observa las gráficas (Rotativo y Tradicional) que cumplen con las mismas variables para demostrar su resultado, y se puede apreciar que tanto en el cultivo tradicional en pequeños agricultores como en el rotativo, la relación entre la emisión y absorción (diferencia entre la primera y segunda) de CO₂ va aumentando en el tiempo. Sin embargo, podemos ver que el cultivo rotativo lo hace de una manera mucho menos abrupta (38.612 toneladas cada dos años) que lo que muestra el método de cultivo normal (56.986 toneladas cada dos años).

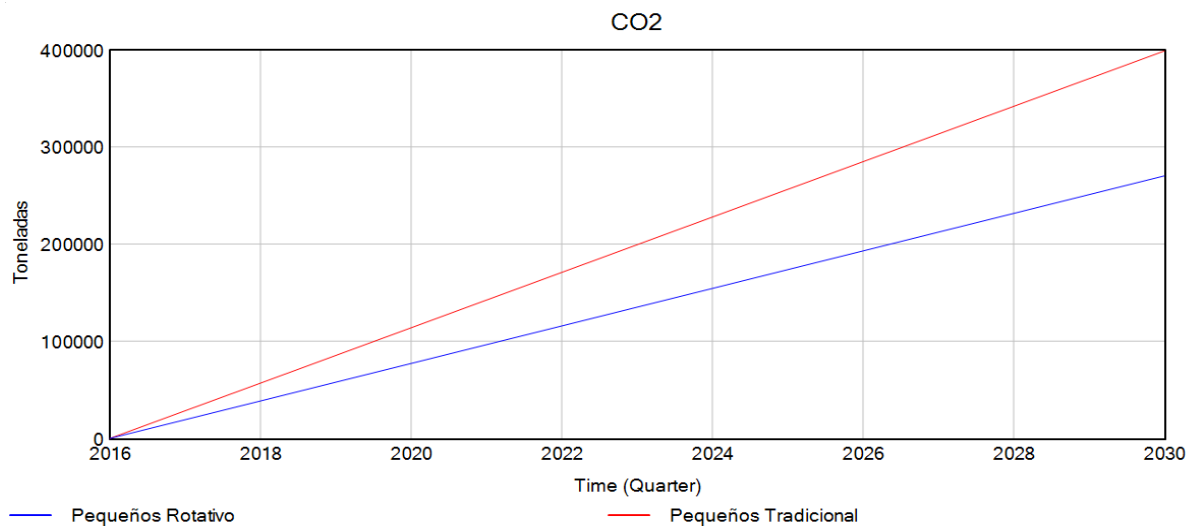


Figura 50. Gráfico de “CO2” de pequeños agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Grandes agricultores**

Tal como sucede en los casos de los pequeños agricultores, en los grandes, la relación entre ambos métodos es similar y se puede observar en la Figura 51. Si bien la relación no deja de aumentar con el pasar de los años, el método de cultivo rotativo hace que este proceso sea mucho menos acelerado; en el sistema de cultivo tradicional (en este ejemplo en específico) las toneladas cada dos años aumentan en 740.460, mientras que en el modelo de cultivo rotativo cada dos años aumenta en solo en 431.700 toneladas.

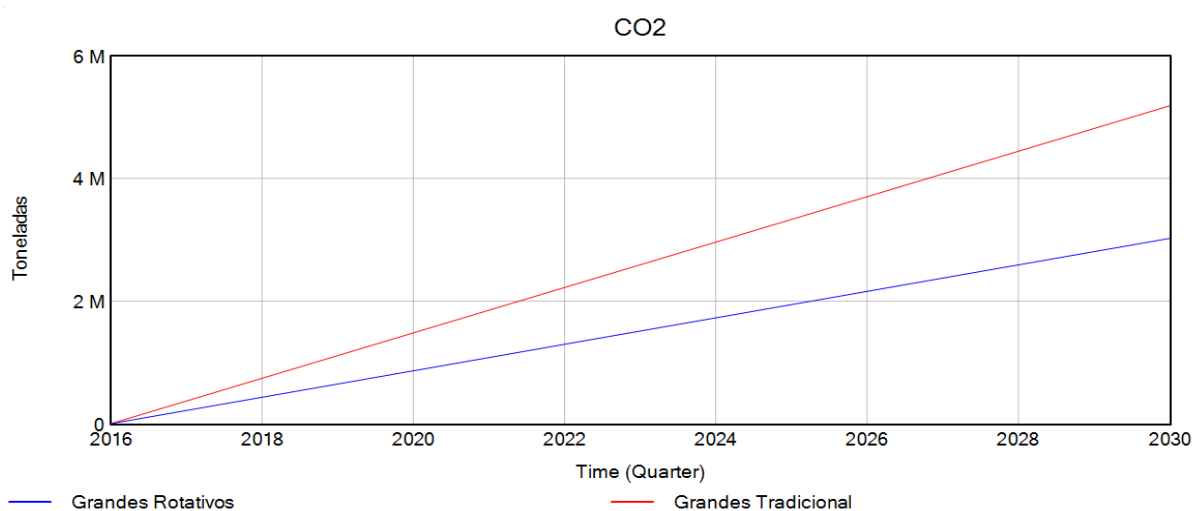


Figura 51. Gráfico de “CO2” de grandes agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

4.4.5.2 Desechos

Con el modelo de Desechos, medimos la relación que existe entre kilos reutilizados y kilos desperdiciados de desechos agrícolas, lo cual se pudo graficar en los resultados mostrados a continuación. Cabe mencionar, que esta información está basada de los datos de la Tabla 16.

Tabla 16. Valores para el ejemplo de “Desechos”. Fuente: Elaboración propia.

DESECHOS	Pequeños/ Tradicional	Pequeños/ /Rotativo	Grandes/ Tradicional	Grandes/ Rotativo
Cobertura orgánica [Kilos]	277.750	833.250	2.777.500	8.332.500
Compost [Kilos]	4.750	13.600	9.500	136.000
Manejo de materia prima no utilizable [Kilos]	183.315	61.105	2.833.050	944.350

- **Pequeños agricultores**

En este gráfico de pequeños agricultores de la Figura 52, observamos que tanto con el método tradicional como con el rotativo la relación de kilos reutilizados y kilos desperdiciados de los desechos van decreciendo con el tiempo, sin embargo, los valores (kilos) del cultivo tradicional lo hacen de manera menos abrupta que en el rotativo.

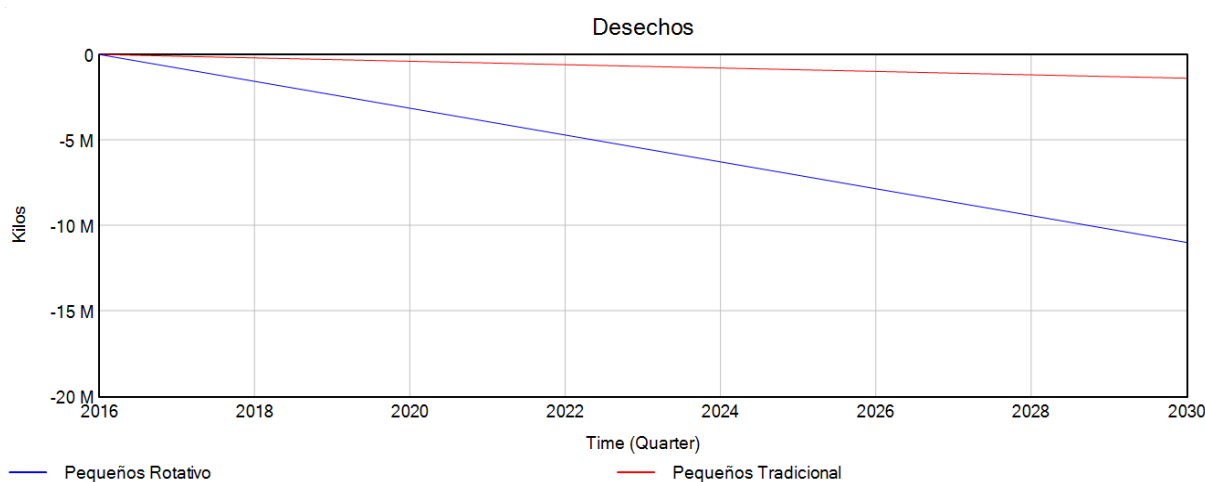


Figura 52. Gráfico de “Desechos” de pequeños agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Grandes agricultores**

Por el contrario, la relación en los grandes agricultores es muy diferente. En la Figura 53 se observa que el tradicional presenta un aumento de desechos que en el gráfico pasa desapercibido, pero que indica que los desechos cada dos años aumentan en 92.100 kilos (finalizando en 2030 con 644.700 kilos). Por su parte, el rotativo sigue el patrón de los pequeños agricultores con una disminución significativa de estos desechos agrícolas con el paso del tiempo, aproximadamente de -15 millones de kilos cada dos años.

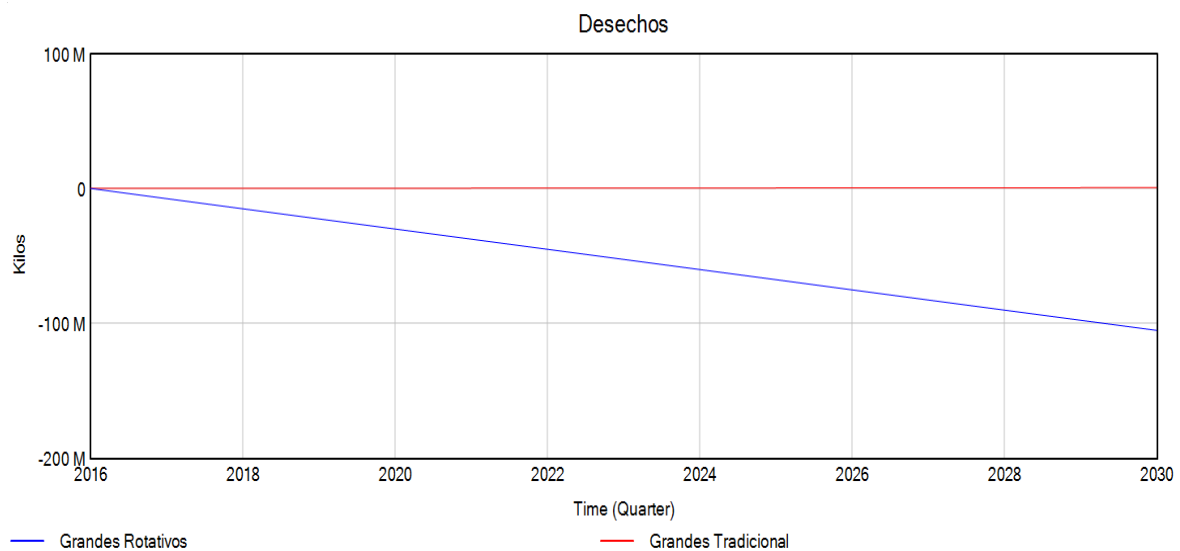


Figura 53. Gráfico de “Desechos” de grandes agricultores. Fuente: Vensim, elaboración propia.

4.4.5.3 Contaminación

Con el modelo de Contaminación se relacionó la emisión de los gases “GEI” provocados por labores agrícolas, así como las medidas que se toman para mitigar esta contaminación ambiental. Este modelo fue graficado basándose en los datos mostrados en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores para el ejemplo de “Contaminación”. Fuente: Elaboración propia.

CONTAMINACIÓN	Pequeños/ Tradicional	Pequeños/ Rotativo	Grandes/ Tradicional	Grandes/ Rotativo
Liberación gas NH3 [ton]	59	6	590	59
Liberación N2O [ton]	95	272	190	2720
Liberación gas NO3- [ton]	205	21	2.050	205
Otros gases [ton]	188	94	5.636	2.818
Técnicas contra gases [ton]	16,406	11,770	254	174,066
Técnica adecuada riego [Litros]	144000	120.000	1.440.000	1.200.000

- **Pequeños agricultores**

La relación entre estos los gráficos de pequeños agricultores de la Figura 54 indica que, si bien ambos cuentan con las mismas variables para simular el resultado, se observa cierta diferencia entre el método tradicional y el rotativo, en donde la relación de emisión y mitigación de la contaminación disminuye con los años, aunque en el caso del método tradicional se tiene una brecha menos notoria que con el método rotativo. El gráfico demuestra el potencial de mitigación de la contaminación atmosférica, por ende, se infiere que ambos métodos de cultivo son efectivos ante el aumento de emisión de gases a la atmósfera, sin embargo, el método de cultivo rotativo es levemente más efectivo.

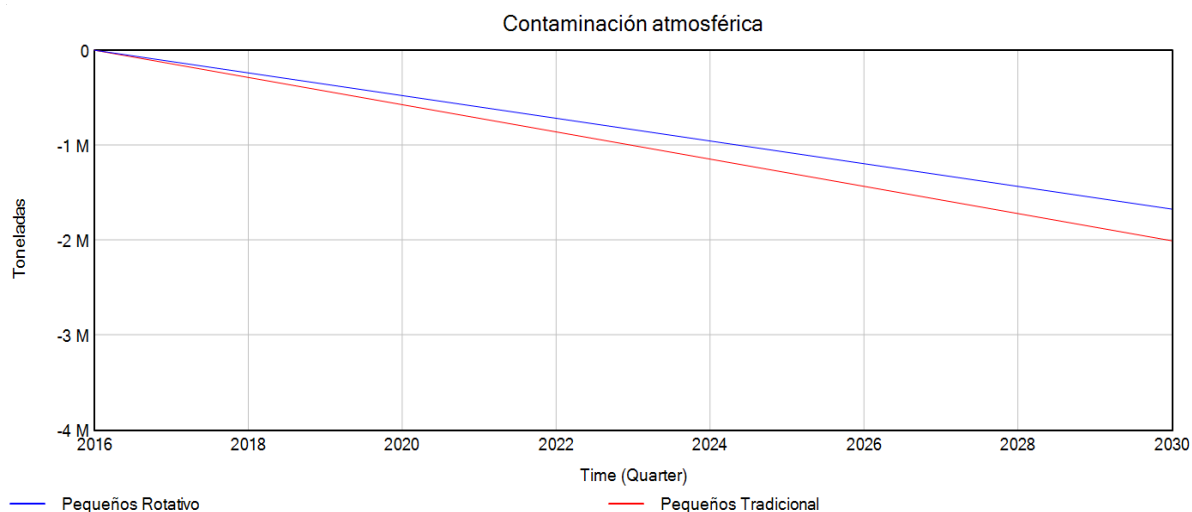


Figura 54. Gráfico de “Contaminación atmosférica” de pequeños agricultores.
Fuente: Vensim, elaboración propia.

- **Grandes agricultores**

En el caso de los grandes agricultores (Figura 55), el comportamiento se repite, ratificando que el método tradicional es más contaminante con el paso de los años. Aunque el método rotativo contamina igualmente, lo hace en menor cantidad, y de la relación entre emisión-mitigación de disminuye la contaminación atmosférica causada por sus procesos.

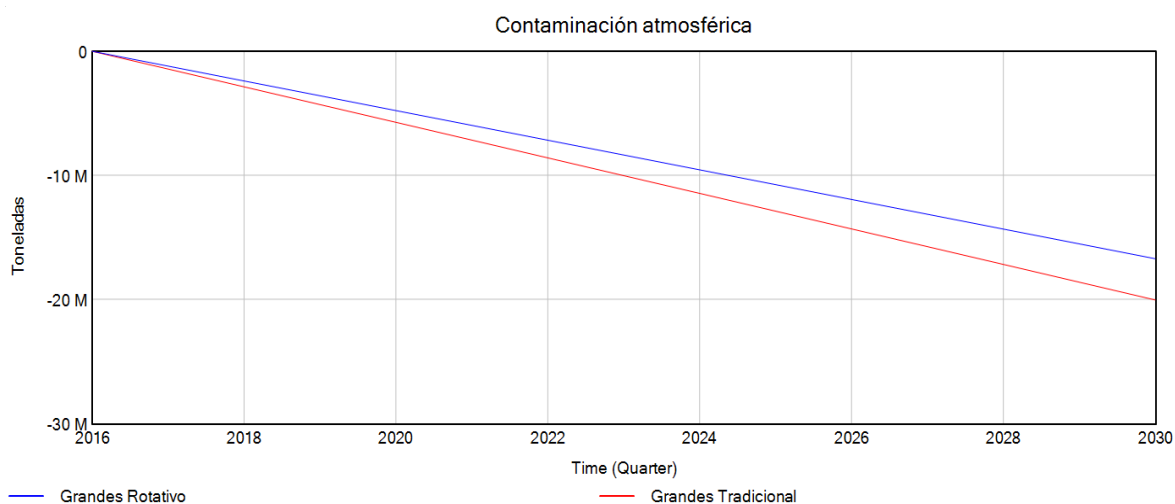


Figura 55. Gráfico de “Contaminación atmosférica” de grandes agricultores.
Fuente: Vensim, elaboración propia.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Durante la investigación de esta tesis, se estudiaron diversos artículos referente a métodos agrícolas, los cuales fueron insuficientes para responder la pregunta “*¿Es posible aplicar un modelo de rotación de cultivos en la agricultura con el fin de tener una producción sustentable?*”, por lo cual se decidió complementar esta información con encuestas realizadas a agricultores de la VI y VII región, y con ello poder disponer de más datos relevantes para el desarrollo de los modelos de dinámica de sistemas, con los cuales se podría responder a la interrogante planteada.

El modelado de esta información dio como resultado 4 diagramas relevantes para esta investigación, siendo estos: Inversión, Rendimiento, Exportación y Contaminación. Una vez diseñado y establecido las relaciones en estas variables, se procedió a realizar un análisis del comportamiento y diferencias que se presentaban en la simulación, de lo que se obtuvo como conclusión principal que el método rotativo presenta un beneficio económico y ambiental mayor que el método tradicional.

5.1 Limitantes en la implementación del Modelo Rotativo

La comparación de los agricultores por dimensión de terreno (grandes y pequeños) no hizo más que afianzar nuestra hipótesis de que la implementación del método rotativo cuenta con la producción menos dañina para el medioambiente, pero como los agricultores presentan una tendencia a resistirse al cambio, solo una minoría aplica estos métodos orgánicos.

Uno de los grandes obstáculos que enfrentan los profesionales agrícolas es que el cuidado de los cultivos rotativos es un proceso delicado y difícil de cumplir, debido a que no se aplican químicos o nutrientes sobre y/o alrededor de los cultivos, lo que puede significar una pérdida importante en el rendimiento y producción de la temporada. Si bien, el valor monetario de los productos orgánicos es un beneficio considerable, el cuidado es una variable limitante para un agricultor promedio, siendo esta una de las razones por la que solo los grandes agricultores que aplican estos métodos ecológicos son los que exportan sus productos agrícolas al extranjero, lo que

nos hace preguntarnos ¿es un problema económico o de desinformación? El no contar con tecnologías adecuadas para el manejo de esta producción es una limitante monetaria para los pequeños productores que presentan una solvencia financiera ajustada y recortada, debido a que, si no posee recursos para financiar los procedimientos necesarios para exportar, no puede expandir su mercado más allá del nacional. Pero también está la variable del conocimiento, siendo la limitante de idioma, habilidades comerciales o bien de los procedimientos que permiten vender en el extranjero, lo que detiene al productor pequeño a realizar transacciones por sus productos agrícolas en este nuevo mercado.

5.2 Relevancia de la investigación y sugerencias

Con la investigación abordada pudimos descubrir, gracias a los gráficos, las tendencias que presentan los modelos del método rotativo, donde en 3/4 de los diagramas creados, presentan una tendencia favorable para este sistema agrícola, siendo solo en el de exportación en donde se presentó favorable para los grandes agricultores tradicionales. El resultado de este modelo conservador se considera inestable e insostenible, debido a que sus métodos de cultivo son dañinos y poco productivos a largo plazo, debido a sus procesos agrícolas que consumen y erosionan los nutrientes del suelo, elementos necesarios para producir cultivos de calidad y cantidad adecuada para el consumidor. Esto a su vez afecta indirectamente el rendimiento de las temporadas posteriores, logrando lo contrario de una producción sostenible en el tiempo.

La presente investigación puede servir para que organizaciones agrarias controlen, capaciten y direccionen a los agricultores hacia medidas ecológicas, realizando mejoras en sus sistemas de riego, así como una reeducación de sus métodos agrícolas, con un énfasis en la gestión de residuos reutilizables y desechables con el fin de mitigar las contaminaciones atmosféricas, del suelo y el agua que causan las actividades agrícolas. Cabe mencionar que estas contaminaciones fueron vistas de manera general, sin mayor profundización, por lo que podrían ser estudiadas más a fondo y para diferentes métodos de cultivo, y no solo desde dos como fue el caso de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Aracil, J. (1995). Dinámica de sistemas. Madrid: Isdefe.

Cadenas Aneya, C., Guaita, W. (2020). Dinámica de sistemas. Una metodología para la construcción de modelos de toma de decisiones en sectores agroindustriales. Recuperado el 24 de mayo de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/353464142_DINAMICA_DE_SISTEMAS.

Caycedo Lozano, L., & Trujillo Suárez, D. M. (2020). Concepto del agua y sus implicaciones en la formación ambiental. Revista Boletín Redipe, 9(7), 61–70. <https://doi.org/10.36260/rbr.v9i7.1018>.

Cherlinka, V (2022). Rotación de cultivos: tipos y ejemplos prácticos. Eos Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/rotacion-de-cultivos/>.

Consultores, P. (2019). BIBLIOTECA DIGITAL ODEPA Conocimiento e Información para el desarrollo Silvoagropecuario. 2022, 22 de Septiembre, de ODEPA- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Sitio web: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/>

Domínguez, J., Vergara, M., Aguirre, R., Barrera, D., Montero, J., Cáceres, L., Eguillor, P., Espinoza, A., García, A., Reyes, A., Pino, G., Pizarro, M., Tapia, B., Acuña, D., Lava, E., Yáñez, L., Muñoz, M., Cartes, G., Contreras, P., Valdés, A. Galán, M. (2019) Panorama de la agricultura chilena 2019. Chilean agriculture overview 2019. Recuperado el 7 de mayo de 2022, de <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/70246>.

García, M., Sánchez, F. D., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., Vargar, O., Panizzo, L., Sánchez, N., Gómez, J., Cortés, G. (2001). El agua. Recuperado el 5 de mayo de 2022, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>.

González-Busto, B. (1998). La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación. Universidad de Oviedo. Documento de trabajo, 168.

Ibarra Vega, D.W., Redondo, J.M. (2015). Dinámica de Sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería. Revista Luna Azul, 41, 152-164.

López-Gálvez, J. (1997). Gestión del agua en la agricultura intensiva. Actas del I y II seminario del agua, 1, 119-132.

Méndez, G. A. (2016). Dinámica y pensamiento sistémico. Bogotá, Colombia: Editorial UD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Muñoz, M. (2010) Maíz: rendimiento, la clave del éxito. Recuperado el 15 de mayo de 2022, de <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/2965>.

ONU. (2022). Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos. Recuperado el 10 de mayo de 2022, de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF_Sp.pdf.

Osorio, P., Andrade, H., Gómez, U., Díaz, N. (2010). Modelo de dinámica de sistemas para la toma de decisiones en la inversión pública municipal. Un enfoque sistémico. En J. García (Ed), La dinámica de sistemas para la efectiva toma de decisiones y análisis estratégico de problemas. Memorias del 8° Congreso Latinoamericano y Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas (pp. 15-23).

Sterman, 2000: Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world, McGraw Hill.

Ríos, E. J. (2016). Producción agrícola. Madrid, España: Editorial Síntesis S.A.

Sánchez, V. G. (2019). ¿Qué significa sustentabilidad? Recuperado el 24 de abril de 2022,

https://ceiba.org.mx/publicaciones/Consejo%20Editorial/190501_QueeslaSustentabilidad_VictorSS.pdf.

ANEXOS

Anexo 1. Formulario de Encuesta

Hola, bienvenido(a) a una encuesta realizada por alumnos de último año de la carrera de Ingeniería Informática Empresarial de la Universidad de Talca, para la realización del documento de tesis con especial enfoque en el método de cultivo utilizado por pequeños y grandes agricultores. El objetivo de este formulario es recopilar información de personas que sepan y/o trabajen en el mundo de la agricultura para poder aplicar en un estudio de comparación de métodos de cultivos, sus beneficios y ventajas. Agradecemos enormemente que se tome el tiempo para responder cada pregunta, ya que gracias a usted este proyecto podrá completarse.

Nombre:

Apellidos:

Teléfono:

Email:

Ocupación:

a. ¿Cuáles son las dimensiones de su(s) terreno(s)? En hectáreas totales.

1. De 0 a 1 hectárea
2. De 1 a 5 hectáreas
3. De 5 a 10 hectáreas
4. Sobre 10 hectáreas

b. ¿Qué sistema de riego de cultivo utiliza? (Opción múltiple)

1. Riego por surco
2. Riego por pivote
3. Riego por microaspersión
4. Riego por goteo
5. Riego por inundación
6. Ninguno
7. Otro

Si es otro, ¿Cuál?

c. ¿Por qué razón usa este sistema de riego? (Opción múltiple)

1. Es la más conveniente para mi
2. Es el que conozco/manejo mejor
3. No conozco otro

d. ¿Con qué tipo de cultivos trabaja? (Opción múltiple)

1. Hortalizas
2. Frutales
3. Cereales
4. Otro/s

e. ¿Cuál es el rendimiento de su cultivo por temporada? Por cada uno.

f. ¿Cuánta agua utiliza en cada cultivo aproximadamente?

g. ¿Cuánta agua es la que DEBERÍA usar con la tecnología/método de riego que posee en sus cultivos?

h. ¿En qué tipo de suelo siembra? (Opción múltiple)

1. Arenoso
2. Arcilloso
3. Limoso
4. Franco

i. ¿De dónde importa o provienen los nutrientes que ocupa en sus cosechas?

j. Debido a la fluctuación del dólar ¿Cómo se han visto afectadas sus inversiones y ganancias?

k. En cuanto a sus clientes, ¿Qué cultivos prefieren comprar? (Opción múltiple)

1. Tradicionales (alto porcentaje de químicos)
2. Rotativos/ecológicos (con bajo o ningún porcentaje de químicos)

l. Considerando lo anterior ¿Cuál está mejor pagado?

m. ¿Exporta algún cultivo?

1. Si
2. No

n. Si exporta cultivos. ¿Cuáles?

o. ¿Cuál es el precio de los cultivos por unidad? (Moneda) (Opción múltiple)

1. Siempre es fijo
2. Depende de la moneda extranjera (dólar)
3. Depende del cultivo

p. ¿Ha sufrido alguna pérdida monetaria de lote/toneladas?

1. Si
2. No

q. ¿Cuánto invierte en químicos por temporada?

r. ¿Cuál es el mínimo que debe invertir en productos químicos para sus cultivos por temporada?

s. ¿Ha sufrido pérdidas por plagas?

1. Si
2. No

t. Respecto a la pregunta anterior, ¿Las combate con químicos o con secuencias de cultivos (método orgánico)? (Opción múltiple)

1. Químicos
2. Método orgánico
3. Otro

u. ¿Cómo ha sido el desarrollo de sus resultados económicos en los últimos 5 años?

1. Leves
2. Medias
3. Considerables
4. Prefiero omitir

v. Por cada cultivo, mencione si son mejor pagados en Chile o el extranjero. Ej. Hortalizas, Chile.

w. Vende sus cultivos por... (Opción múltiple)

1. Lotes
2. Toneladas
3. Sacos
4. Mallas
5. Caja
6. Minorías (unidad/kilo)

x. ¿Qué sucede con el exceso de lote (kilo, litro, saco, etc.) en las cosechas?

1. Pérdida
2. Venta a bajo costo
3. Otro

y. En términos generales ¿El valor de producción ha aumentado o disminuido en los últimos 2 años?

1. Si, mucho
2. Si, levemente
3. No, nada

z. ¿Cuál es la tendencia (en general) de la oferta de sus productos?

1. Sube
2. Se mantiene
3. Baja

aa. ¿Cuál es la tendencia (en general) de la demanda de los productos que ofrece?

1. Sube
2. Se mantiene
3. Baja

bb. ¿Cómo es la relación de oferta/demanda en los últimos años?

1. Aumentó
2. Disminuyó
3. Se mantuvo

cc. ¿En qué ha afectado la inflación respecto al mercado agrícola? Comente con su apreciación.