

**EVALUACIÓN DE POLÍTICAS DE APOYO A LOS PEQUEÑOS
PRODUCTORES DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL AGUACATE
HASS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

YESID EDIVER ANACONA MOPÁN

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA – ÉNFASIS EN INDUSTRIAL
CALI – COLOMBIA
2022**

EVALUACIÓN DE POLÍTICAS DE APOYO A LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL AGUACATE HASS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

YESID EDIVER ANACONA MOPÁN

**Trabajo de grado para optar por el título de:
MAGÍSTER EN INGENIERÍA**

DIRECTOR

OSCAR RUBIANO OVALLE, PHD.

CODIRECTOR

HELMER PAZ OROZCO, MSc.



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA – ÉNFASIS EN INDUSTRIAL
CALI – COLOMBIA
2022**

Nota de aceptación

Firma del director
OSCAR RUBIANO OVALLE
PhD.

Firma del co-director
HELMER PAZ OROZCO
MSc.

Firma del evaluador

Santiago de Cali, _____ de _____ de _____

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	10
1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Objetivo General	16
1.3 Objetivos Específicos	16
1.4 Justificación.....	17
2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 Cadena Productiva.....	19
2.2 Actores de la cadena productiva.....	19
2.3 Clasificación del segmento agrícola empresarial	20
2.4 Introducción a la dinámica de sistemas	21
2.5 Metodología sistémica.....	21
2.6 Aplicaciones de la dinámica de sistemas.....	22
2.7 Características de los modelos de dinámica de sistemas	22
2.7.1 Diagrama Causal.....	23
2.7.2 Bucles de realimentación.....	23
2.7.3 Estructuras complejas de realimentación	25
2.7.4 Diagrama de Forrester	27
2.8 Las cadenas productivas bajo la óptica de la dinámica de sistemas.....	28
2.9 Análisis bibliométrico	29
2.9.1 Antecedentes	32
3 METODOLOGÍA	40
3.1 FASE 1: Caracterización de la cadena productiva del aguacate Hass.....	42
3.1.1 Antecedentes de la agricultura colombiana	42
3.1.2 Caracterización de la cadena productiva del aguacate Hass.....	45
3.1.3 Diagrama SIPOC del Aguacate Hass	53
3.1.4 Caracterización de los actores.....	54
3.1.5 Relación entre actores.....	56
3.1.6 Características generales de la cadena.....	57
3.1.7 Normatividad de los procesos de producción y comercialización.....	57

3.1.8	Buenas prácticas Agrícolas	57
3.1.9	Global Gap	66
3.2	FASE 2: Diseño del modelo de simulación de la cadena productiva.....	68
3.2.1	Variables	68
3.2.2	Diagrama causal del modelo de dinámica de sistemas	69
3.2.3	Bucles de realimentación.....	70
3.2.4	Diagrama de Forrester	72
3.2.5	Ecuaciones del modelo de Forrester	72
3.3	FASE 3: Evaluación de las políticas de apoyo (Simulación de escenarios) ..	75
3.3.1	Acceso al crédito	75
3.3.2	Asociatividad	79
3.3.3	Apoyo gubernamental	81
4	RESULTADOS Y ANÁLISIS	85
4.1	Escenario 1. Comportamiento actual de la cadena productiva.....	85
4.2	Escenario 2. Acceso al crédito.....	91
4.3	Escenario 2. Asociación de productores.....	95
4.4	Escenario 3. Apoyo Gubernamental	98
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
5.1	Conclusiones.....	101
5.2	Recomendaciones.....	102
6	BIBLIOGRAFÍA.....	103

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Aguacate Hass en mercados internacionales	13
Figura 2. Principales departamentos con potencial para cultivar aguacate Hass en Colombia.	14
Figura 3. Participación en producción de aguacate Hass de los departamentos productores en Colombia	15
Figura 4. Eslabones de una cadena productiva	19
Figura 5. La cadena productiva y sus actores.....	20
Figura 6. Bucle de realimentación negativa.	24
Figura 7. Bucle de retroalimentación positiva.....	24
Figura 8. Bucle de retroalimentación negativa con retraso.....	25
Figura 9. Se muestra la estructura de crecimiento sigmoideal	26
Figura 10. Estructura del bucle de adicción	26
Figura 11. Publicaciones por temáticas	30
Figura 12. Publicaciones por años.....	30
Figura 13. Autores destacados	31
Figura 14. Red bibliométrica de búsqueda.....	31
Figura 15. Metodología utilizada en el estudio	40
Figura 16. Índice de producción del mundo y algunos países de América latina.....	44
Figura 17. Principales Zonas Productoras	46
Figura 18. Dinámica Sectorial Productiva	47
Figura 19. Área, Producción y Rendimiento Departamental.....	48
Figura 20. Comparativo de Área y Producción del Departamento del Cauca por Cultivo .	49
Figura 21. Comparativo del área cultivada por municipio	50

Figura 22. Desafíos del Subsector Aguacatero en el departamento del Cauca.....	51
Figura 23. Diagrama SIPOC	54
Figura 24. Pilares de las buenas prácticas agrícolas (BPA).....	58
Figura 25. Unidad sanitaria y de aseo.....	61
Figura 26. Área de almacenamiento de insumos agrícolas.....	62
Figura 27. Área destinada a guardar herramientas y equipos.....	62
Figura 28. Área de dosificación y preparación de mezclas	63
Figura 29. Área de vertimiento de aguas sobrantes (barbecho).....	63
Figura 30. Área de poscosecha	64
Figura 31. Instalaciones para el bienestar de los trabajadores.....	65
Figura 32. Recipientes debidamente marcados y protegidos.....	65
Figura 33. Diagrama causal general	70
Figura 34. Bucles de realimentación del modelo.....	71
Figura 35. Diagrama de Forrester - Parte 1	73
Figura 37. Solicitud de crédito agropecuario	76
Figura 38. Condiciones financieras vigentes año 2020	77
Figura 39. Rendimiento por hectárea: Escenario actual.....	86
Figura 40. Análisis de evaluación financiera según el número de hectáreas.....	86
<i>Figura 41. Diagrama de flujos y niveles: VPN.....</i>	<i>87</i>
Figura 42. Costos de implementar BPA vs flujo de caja disponible para invertir – Escenario actual.....	89
Figura 43. Costos vs Ingresos – Escenario actual	90
Figura 44. Caja acumulada.....	90
Figura 45. Diagrama de niveles y flujos para la caja del productor	92
Figura 46. Producción en kg. Escenario con opción de crédito	93

Figura 47. Costos totales vs ingresos totales - Escenario dos	94
Figura 48. Caja acumulada y flujo neto periódico - Escenario dos	95
Figura 49. Producción de aguacate en kg – Escenario 3	95
Figura 50. Costos vs Ingresos - Escenario 3.....	96
Figura 51. Flujo de caja acumulada	97
Figura 52. Costos totales vs Ingresos totales - Escenario 4.....	98

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Contexto Mundial Producción de Aguacate.....	14
Tabla 2. Contexto Mundial Producción de Aguacate.....	15
Tabla 3. Clasificación del tipo de empresa.....	20
Tabla 4. Resumen de los resultados de los principales estudios consultados.....	34
Tabla 5. Ejemplo de variables / constantes que caracterizan a un actor en una cadena productiva.....	55
Tabla 6. Variables del modelo causal	68
Tabla 7 . Impacto de las políticas de apoyo frente a la situación actual	99
Tabla 8. Lista de ecuaciones del diagrama de Forrester.....	110

RESUMEN

En Colombia, el aguacate Hass ha adquirido una relevancia fundamental en los últimos años, consolidándose como uno de los productos más exportados, a pesar de las dificultades que enfrentan todos los actores de la cadena productiva, al no contar con los recursos suficientes para invertir en programas de mejoramiento que permitan implementar sistemas de riego, buenas prácticas agrícolas y maquinaria industrial. Sobre este problema relacionado con la baja productividad de otros cultivos se han realizado varios estudios con diferentes enfoques. Sin embargo, pocos estudios se han centrado en las complejas interacciones entre los diferentes factores que actúan en la cadena de producción y los efectos dinámicos de retroalimentación que pueden generar sobre la productividad y el flujo de caja del productor. Este trabajo pretende contribuir a este claro vacío de conocimiento adoptando un enfoque de modelización de dinámica de sistemas para generar un modelo de gestión que integre el efecto de múltiples políticas y acciones que pueden impactar significativamente en la productividad del aguacate Hass. Se utilizó una metodología de dinámica de sistemas para modelar este complejo sistema utilizando datos oficiales de las asociaciones de productores. Además, este enfoque nos permitió identificar las políticas y acciones que pueden impactar significativamente la competitividad del aguacate Hass. El modelo de dinámica de sistemas exploró las posibilidades e interacciones productivas, comerciales y económicas para crear una agricultura sostenible y rentable a largo plazo. Al emplear el enfoque de modelado basado en escenarios, se concluyó que la promoción del acceso a políticas de crédito de bajo interés, la logística colaborativa y el apoyo gubernamental para la asesoría técnica y el suministro de insumos agrícolas son esenciales para promover una agricultura desarrollada, capaz de responder a la demanda con productos de alta calidad.

Palabras clave: Dinámica de sistemas, cadenas productivas, agricultura, aguacate Hass

1 INTRODUCCIÓN

Las cadenas productivas agrícolas juegan un papel decisivo en el desarrollo del campo colombiano en la conformación de mecanismos de subsistencia para las unidades familiares, constituyendo la columna vertebral de las economías rurales (J. J. Perfetti et al. 2013). Estos sistemas no sólo garantizan productos alimenticios básicos para el autoconsumo, sino que también proveen 2,5 millones de toneladas de alimentos a las centrales de abastos y generan 4,3 millones de empleos, lo que representa el 17% del total de la fuerza laboral del país, por lo que permiten obtener ingresos que contribuyen a reducir la pobreza de las familias que se dedican a las actividades rurales (DANE 2021).

Durante los últimos 10 años la cadena productiva del aguacate Hass viene tomado gran importancia a nivel regional, pues los pequeños productores ven en el cultivo una manera de construir territorio, dar progreso a la región, generar empleo y sanar heridas que dejó la guerra antes del proceso de paz. Por ello, campesinos, indígenas, excombatientes y población en general están aprovechando las ventajas que ofrece un territorio con las condiciones óptimas para cultivar el fruto, como es el departamento del Cauca. Según información aportada por la secretaría de Agricultura y Desarrollo rural del Cauca (2021), hasta el 2020 existían alrededor de 1.048 hectáreas, de las cuales 458 se encuentran registradas en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), como predios exportadores.

A pesar de que el cultivo de aguacate Hass tiene muy buenas expectativas entre la comunidad, los productores han tenido que enfrentarse a un cultivo que requiere de una gran inversión para obtener un buen rendimiento con mejor calidad. El no contar con los recursos económicos necesarios para invertir en programas de mejoramiento ha dado como resultado una producción promedio de 5.9 toneladas por hectárea, la cual es baja comparada con el promedio nacional de 9.5 toneladas por hectárea (AGRONET 2018a).

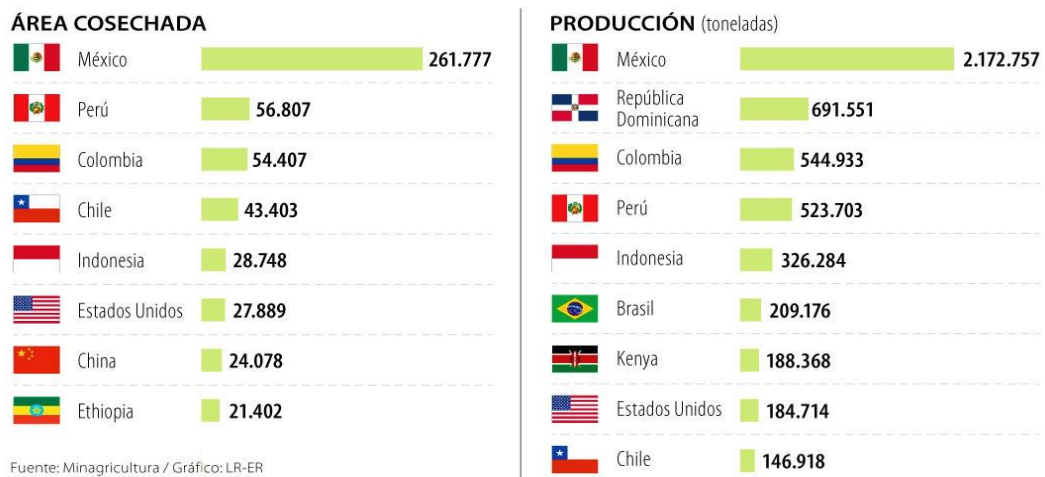
De acuerdo con lo anterior, es necesario identificar políticas que permitan a los pequeños productores mejorar sus ingresos y aumentar su productividad, ante lo cual este estudio se enfoca en evaluar aquellas políticas que inciden en la economía campesina para fortalecer la productividad. Los objetivos de este estudio son los siguientes: El primer paso fue caracterizar el problema, es decir, recopilar la información necesaria para entender el comportamiento de la cadena productiva del aguacate Hass, así como las políticas que inciden en el mejoramiento competitivo, ante lo cual se revisaron experiencias exitosas en

otras regiones y países. En segundo lugar, se estructuró un modelo de simulación basado en dinámica de sistemas que permitió evaluar el efecto a largo plazo de las políticas de apoyo a los pequeños productores sobre los ingresos. Este modelo permitió visualizar el efecto de las políticas que son evaluadas mediante escenarios de simulación en el tercer objetivo del estudio. Así el documento está estructurado en 5 capítulos, el primero aborda toda la introducción, que se acerca a la contextualización del problema, los objetivos y la justificación, el segundo aborda todos los conceptos más relevantes que se consideran útiles para la comprensión de la investigación, el tercer capítulo todo el desarrollo metodológico, el cuarto capítulo se expone los resultados de las políticas valoradas en la simulación a través de unos escenarios. Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones tanto para los agentes de la cadena productiva del aguacate Hass, así como para los investigadores que aborden problemas futuros de naturaleza similar.

1.1 Planteamiento del problema

La demanda global de aguacate Hass viene experimentando un acelerado crecimiento en los mercados internacionales. Se provee una tasa anual de crecimiento del 5% hasta el 2025 (Magaña David 2020). Este comportamiento contrasta con el incremento de la producción en todo el mundo, que en el 2020, la producción mundial de aguacate ascendió alrededor de 8,06 millones de toneladas métricas, un aumento con respecto al volumen de producción del año anterior de 7,18 millones de toneladas métricas (Shahbandeh 2022) y la producción por parte de los principales países productores: México, Chile, República Dominicana, Indonesia, Perú, Colombia, Brasil y Estados Unidos de América (Figura 1).

Figura 1. Aguacate Hass en mercados internacionales

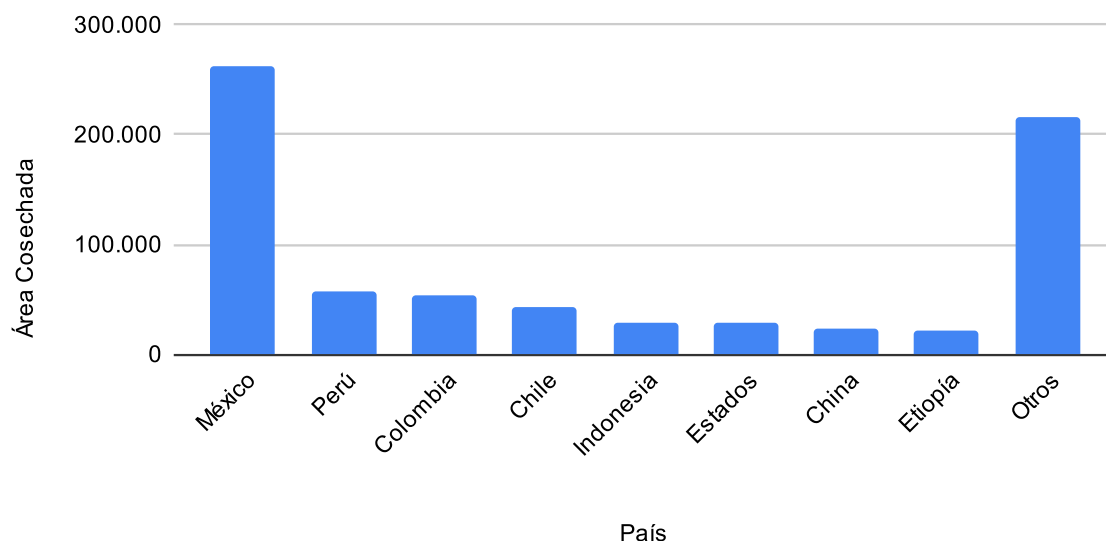


Fuente. (Minagricultura 2020)

México se ha posicionado como el principal productor de aguacate Hass, con una participación de 32.05%, pero en los últimos años su producción se ha visto afectada por fenómenos climáticos, productivos y el encarecimiento de la tierra (Belda 2017). En consecuencia, se ha producido una escasez del producto y un aumento de la demanda. Esta problemática ha permitido que países productores como República Dominicana, Perú y en especial Colombia, aumentará el área cosechada en un 29% en los últimos 5 con el propósito de participar en las exportaciones orientadas a cubrir mercados de EEUU, Europa y China (Xiong and Song 2018).

En este sentido, América Latina se ha situado como una región potencial para la producción y exportación de la fruta, resaltando a Perú y Colombia con un potencial para incrementar su margen de siembra (ver Tabla 1), esto se debe por la disponibilidad de tierras, y las condiciones climáticas que se ajustan a los requerimientos óptimos para el cultivo (Schwartz et al. 2018).

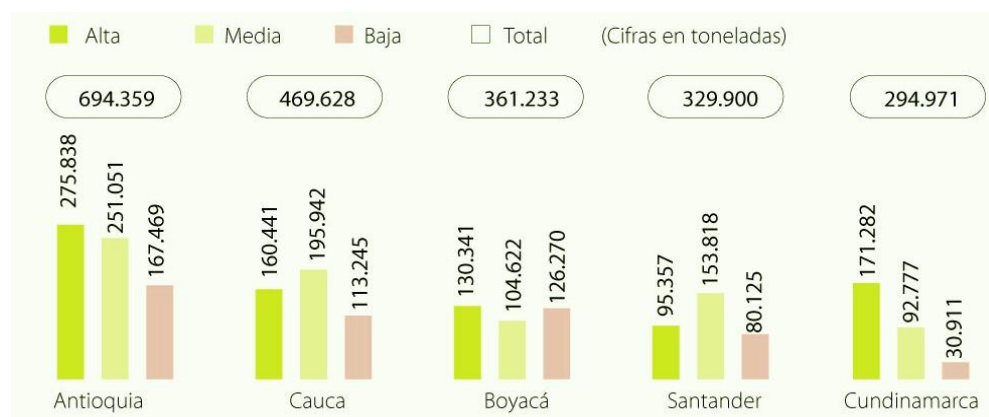
Tabla 1. Contexto Mundial Producción de Aguacate



Fuente. (Minagricultura 2020)

Colombia cuenta con una superficie total de 3.3 millones de hectáreas aptas para el cultivo de aguacate Hass, de las cuales están sembradas 0.75% (UPRA 2018). Antioquia y Cauca son los departamentos con mayor superficie en tierra apta para el cultivo de esta variedad, con una superficie de 688.358 y 469.628 hectáreas, respectivamente (SIPA, 2021). En la Figura 2 se puede ver que el Cauca se ubica como el segundo departamento con mayor potencial para el cultivo de la variedad Hass.

Figura 2. Principales departamentos con potencial para cultivar aguacate Hass en Colombia.

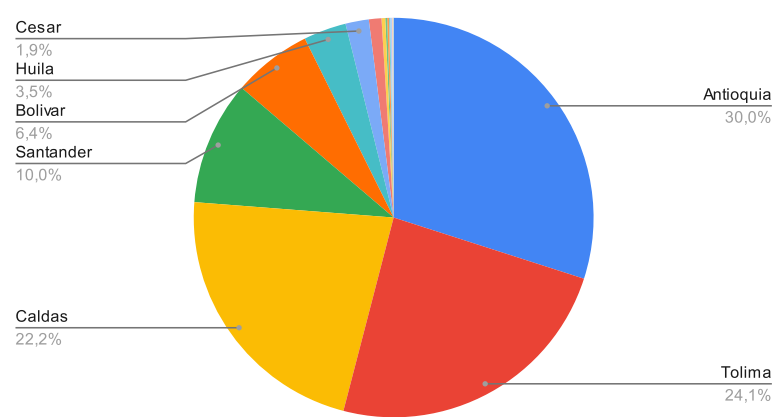


Fuente. UPRA, 2018

Sin embargo, las cifras en área sembrada revelan que no se está aprovechando el potencial de la tierra, puesto que, de las 469.628 hectáreas disponibles, solo están sembradas alrededor de 1.000 hectáreas de aguacate Hass, que corresponden a menos del 1% de su superficie potencial (AGRONET 2018b).

Por esta razón, la producción de la fruta es de tan solo 4.827 toneladas, cifra que ubica al departamento del Cauca en el puesto 16 de los 20 departamentos que registran siembra, con una participación del 1.31% en la producción nacional (ver Figura 3). (AGRONET 2018b).

Figura 3. Participación en producción de aguacate Hass de los departamentos productores en Colombia



Fuente. AGRONET, 2021

En comercialización externa se han logrado exportar 947 toneladas, que equivalen a una participación del 1.1% de las 86.160 toneladas que Colombia exportó en el 2020 (ver Tabla 2) (PROCOLOMBIA 2021).

Tabla 2. Contexto Mundial Producción de Aguacate.

País Destino	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Países Bajos	3.318	7.385	10.184	15.259	23.409	7.223
Reino Unido	1.170	4.520	6.760	6.762	9.581	1.912
España	392	3.845	6.905	6.004	6.724	1.101
Bélgica	0	104	2.047	1.732	3.727	393
Estados Unidos	407	1.481	1.592	39	1.546	155

Otros	44	485	1.000	2.639	3.636	708
Total, general (Ton)	5.332	17.821	28.487	32.775	48.623	11.492

Fuente. (Minagricultura 2020)

Además, se identifica un rendimiento de 5.4 toneladas por hectárea, que es bajo comparado con otros departamentos como, Antioquia y Valle de Cauca que oscilan entre 10 a 14 toneladas por hectárea, (AGRONET 2018b). Estas cifras revelan un déficit competitivo en el sector, por lo que se han realizado estudios de algunas entidades que apoyan al sector agropecuario, como centros de investigación, Gobernación del Cauca, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y Asohofrucol. Identificado que, los factores más determinantes que minimizan la competitividad y la producción están asociados a las dificultades que tienen los productores para el acceso a la tierra, la baja capacidad financiera, poca implementación de tecnología, dificultad para obtener certificados de exportación como buenas prácticas agrícolas (BPA), altos costos en fertilizantes, bajo nivel de asociación, problemas en vías terciarias y poca asistencia técnica.

A partir de estos análisis, el gobierno nacional ha venido promoviendo políticas de apoyo e inversión al sector aguacatero del Cauca, a través de proyectos encaminados a mitigar algunos de los factores mencionados, con el fin de mejorar la competitividad. Sin embargo, no se ha reflejado un impacto positivo en el sector aguacatero, por tal motivo se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo evaluar políticas de apoyo que impacten la economía rural de los pequeños productores de aguacate Hass en el departamento del Cauca, Colombia?

1.2 Objetivo General

Evaluar políticas de apoyo a los pequeños productores de la cadena productiva de aguacate Hass en el departamento del Cauca

1.3 Objetivos Específicos

- Caracterizar el estado actual de la cadena productiva de aguacate Hass del departamento del Cauca, mediante revisión de la literatura, consulta a expertos y herramientas de mapeo.

- Construir un modelo de evaluación mediante el enfoque en simulación dinámica que represente la estructura y el comportamiento actual de la cadena productiva.
- Evaluar políticas de apoyo a los pequeños productores de aguacate Hass mediante la formulación de escenarios y el uso del modelo de simulación.

1.4 Justificación

Según un estudio realizado por la ONU del año 2019 (ONU 2020) la demanda alimentaria se incrementará hasta un 70% entre 2020 a 2050, esto se debe al crecimiento de la población mundial que se pronostica que aumentará en 2 millones de personas, pasando de 7.7 millones a 9.7 millones en el 2050. Por lo tanto, el mundo se enfrentará a un enorme desafío y una gran oportunidad en la intersección alimentaria, el desarrollo económico y el medio ambiente (Andrew Steer 2013).

De este modo se convierte en una necesidad impulsar la productividad de los cultivos, es decir producir más alimentos con menos recursos a través de buenas prácticas agrícolas que limiten la tala de bosques, reduzca la huella de carbono de la agricultura, y además permite mejores oportunidades de ingresos para los pequeños productores de las zonas rurales (WRI 2019).

Por consiguiente, el reto que enfrenta los países en vía de desarrollo es identificar las necesidades agrícolas y las áreas donde los niveles de pobreza son muy bajos, permitiendo asignar recursos económicos para lograr un desarrollo agrícola sostenible, reducir la pobreza y acelerar el crecimiento económico (Mellor and Johnston 1984)(Anríquez and Stamoulis 2007).

La creciente demanda de aguacate Hass a nivel mundial ha abierto una ventana de oportunidades para países como Colombia, donde el cultivo ha experimentado un crecimiento considerable durante la última década. No obstante, los retos a los cuales se enfrenta el sector son numerosos, entre estos se encuentran: 1) contar con la capacidad para mantener una excelente calidad, 2) cumplir con las certificaciones requeridas por el mercado y 3) diseñar y ejecutar un plan de inversión que permita dar mayor valor agregado a la fruta que, en fresco, no logra acceder a los mercados internacionales. Estos y otros desafíos requieren de un esquema de trabajo colectivo, en el que el sector público, privado

y la academia aúnen esfuerzos, compartan aprendizajes y generen conocimientos dirigidos a mejorar la competitividad del sector (Minagricultura 2020).

De ahí la importancia de este trabajo de investigación, que contribuye al análisis del sistema de producción agrícola del sector aguacatero, permitiendo comprender: Las necesidades de los agricultores, las relaciones entre los factores locales que influyen en los déficits de productividad y comprender cómo las políticas de apoyo impactan en la competitividad del sector.

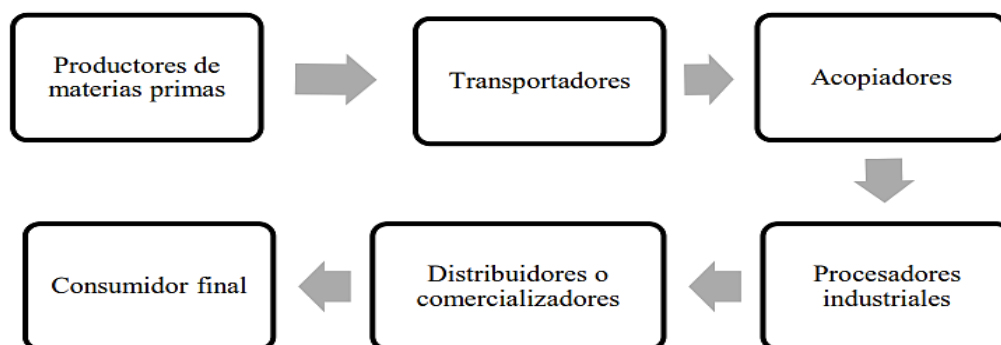
2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los conceptos que se abordan en la investigación, de los cuales destacan las cadenas productivas y la simulación sistémica. Asimismo, se realiza un análisis bibliométrico de la actividad científica relacionada con los problemas y las metodologías de solución que se están abordando en la actualidad.

2.1 Cadena Productiva

La cadena de producción se entiende como el conjunto de actores y actividades económicas que participan en un proceso productivo, desde la entrega de insumos, materias primas, transformación, producción de bienes intermedios y finales, hasta la comercialización en los mercados nacionales y extranjeros, incluyendo a los proveedores de servicios, el sector público, las instituciones de asistencia técnica y los organismos de financiación (Tomta 2009). En la Figura 4 se pueden apreciar estos eslabones.

Figura 4. Eslabones de una cadena productiva

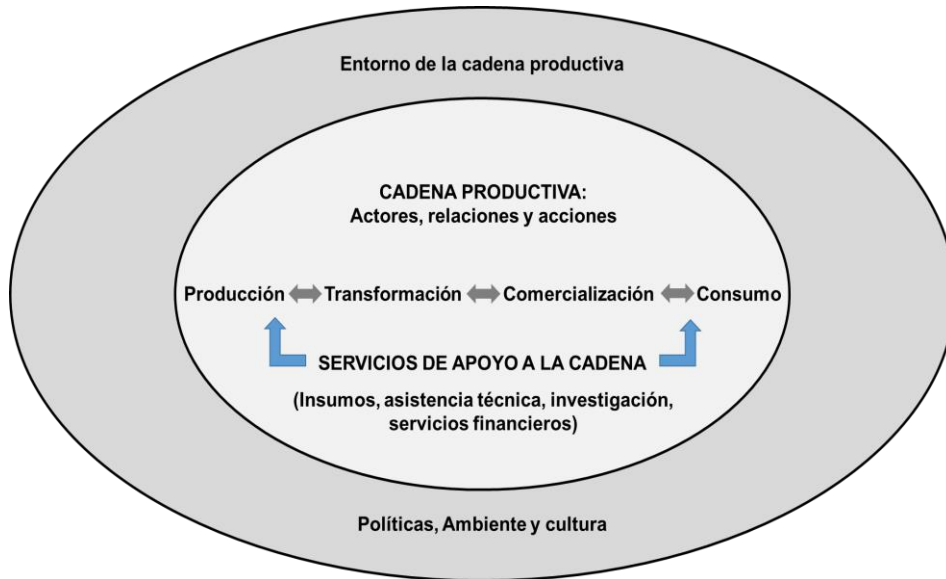


Fuente. (Tomta 2009)

2.2 Actores de la cadena productiva

Los actores directos de la cadena de producción son los que actúan en los diferentes eslabones de esta, pero también son propietarios en algún momento del bien al que nos referimos. Los actores indirectos son los que ofrecen un servicio de apoyo a los actores directos: proveedores de servicios, asistencia técnica, crédito y transporte (Cayeros, Robles, and Soto 2016) (Ver Figura 5).

Figura 5. La cadena productiva y sus actores



Fuente. (Cayeros, Robles, and Soto 2016)

2.3 Clasificación del segmento agrícola empresarial

En Colombia el sector empresarial se clasifica en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, esta categorización fue regulada por la Ley 590 de 2000 conocida como Ley Mipyme, esta fue modificada por la Ley 905 de 2004, y recientemente por el Decreto del Min CIT No. 957 del 5 de junio de 2019, el cual se encuentra vigente. En la Tabla 3 se presenta la clasificación (Bancóldex 2022).

Tabla 3. Clasificación del tipo de empresa

Clasificación	Manufactura	Servicios	Comercio
Microempresa	Hasta \$895.488.252	Hasta \$1.253.675.952	Hasta \$1.701.401.076
Pequeña empresa	Superior a \$895.488.252 y hasta \$7.790.629.980	Superior a \$1.253.675.952 y hasta \$5.014.665.804	Superior a \$1.701.401.076 y hasta \$16.387.172.784
Mediana empresa	Superior a \$7.790.629.980 y hasta \$65.996.416.260	Superior a \$5.014.665.804 y hasta \$18.357.224.136	Superior a \$16.387.172.784 y hasta \$82.114.938.768

Grandes empresas	Superior a \$65.996.416.260	Superior a \$18.357.224.136	Superior a \$82.114.936.768
------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Fuente. (Bancóldex 2022)

2.4 Introducción a la dinámica de sistemas

Un sistema, se considera como una unidad donde los elementos interactúan entre sí, operando hacia un propósito común. Es algo que se considera que tiene una identidad que le distingue de lo que lo rodea, además es capaz de conservar esa identidad a lo largo del tiempo y en entornos cambiantes. Todos somos cada vez más conscientes de que vivimos en una realidad muy compleja y cambiante, y que este fenómeno se acentúa año tras año (Olafsdottir et al. 2018). Para la toma de decisiones acudimos a los modelos mentales, sin embargo, estos modelos no siempre nos aproximan a la solución del problema, ya que incluso en los casos más sencillos la solución puede ser lo que Jay Forrester (1994) denomina "contraintuitiva". En las ocasiones en las que nos enfrentamos a una realidad con un número de parámetros limitados y sobre todo cuantificables, acudimos a los modelos formales, los cuales nos permiten actuar con razonables probabilidades de éxito. No obstante, en casos complejos, con un incierto número de parámetros difícilmente cuantificables, podemos encontrar un tipo de modelos menos formales pero que nos permitan obtener una visión más estructurada del problema, sus aspectos más críticos y posibles soluciones (Bala, Arshad, and Noh 2018). Entendemos por "Sistema" un conjunto de elementos independientes con interacciones estables entre sí. El primer paso para comprender el comportamiento de un sistema será lógicamente definir los elementos que intervienen en el mismo y las posibles interrelaciones que existen entre ellos. El dicho aristotélico de que el todo es más que sus partes cobra aquí un especial significado. El objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema (Winz, Brierley, and Trowsdale 2009). Esto significa aumentar el rendimiento de cada elemento del sistema por medio de la observación de las diferentes etapas del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo (Bala, Arshad, and Noh 2018).

2.5 Metodología sistémica

Para el estudio de los sistemas en general se ha desarrollado lo que se conoce como metodología sistémica, o conjunto de métodos mediante los cuales abordar los problemas en los que la presencia de sistemas es dominante. En efecto, la metodología sistémica

aporta instrumentos con los que analizar aquellos problemas que resultan de las interacciones que se producen en el seno de un sistema, y no de disfunciones de las partes consideradas aisladamente (Bala, Arshad, and Noh 2018). El análisis de un sistema permite tomar una disección conceptual. Sin embargo, el análisis del sistema no es suficiente. Para comprender su funcionamiento, es necesario saber cómo se comporta, cuáles son los mecanismos mediante los que se produce su coordinación. Necesitamos saber cómo se produce la síntesis de las partes en el sistema (Angerhofer and Angelides 2000). La metodología sistémica permite un lenguaje que aporta nuevas formas de ver los problemas complejos. Las herramientas que aporta la dinámica de sistemas desde los diagramas de influencias hasta los modelos informáticos nos permiten ver los sistemas que prueban nuestro entorno mediante una óptica diferente, de este modo, nos permite alcanzar una visión más amplia de la realidad.

2.6 Aplicaciones de la dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas es utilizada para resolver problemas concretos. Los trabajos más representativos se desarrollan a finales de los años 50. Forrester (1962) propone la aplicación de esta técnica que, inicialmente fue desarrollada para los estudios industriales a sistemas urbanos. Surge así la denominada dinámica urbana. Los campos de aplicación de la dinámica de sistemas son muy variados. Durante sus más de 30 años de existencia se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias. Por ejemplo, en sociología se han encontrado multitud de aplicaciones, desde aspectos teóricos como la dinámica social de Pareto o de Marx, hasta la reimplantación de la justicia. En esta área se han desarrollado importantes aplicaciones en los sistemas ecológicos y medioambientales, donde se han analizado, tanto problemas de dinámica de poblaciones, como de difusión de la contaminación (Aracil 2000).

2.7 Características de los modelos de dinámica de sistemas

Los modelos de dinámica de sistemas (DS) constituyen un grupo particular de modelos matemáticos. Por tal razón gozan de todas las características generales de estos; sin embargo, tienen unas características propias que los identifican. Las características propias de los modelos de dinámica de sistemas han sido anunciadas por primera vez por el mismo J.W. Forrester (Forrester 1994), cuando introduce un símil hidrodinámico para ilustrar el comportamiento de un sistema, a partir de esto, se eligen unos símbolos determinados para

representar las distintas características estructurales, estas se representan mediante un diagrama causal para enlazar las relaciones causales entre las variables, luego se pasan a un diagrama de Forrester que se utiliza para interpretar las influencias, a continuación se sustenta las definiciones de cada uno de ellos (Aracil 2000).

2.7.1 Diagrama Causal

El diagrama causal establece las relaciones causa-efecto que existen entre las variables del sistema. Para determinar la influencia entre las variables se utilizan flechas que, dependiendo de su dirección y signo, los cuales pueden ser positivos o negativos, indican la relación de causalidad. De esta forma es posible entender la estructura del sistema a estudiar, lo cual se logra con la participación de personas que conocen el sistema y proporcionan información precisa para obtener un modelo exacto.

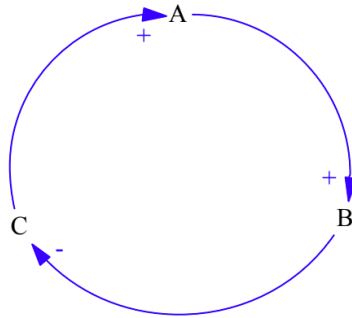
De este modo, el diagrama causal puede proveer un esquema de relaciones de influencia causal, donde se arman bucles de retroalimentación positiva con bucles de retroalimentación negativa, por lo que las interacciones entre ellos determinan el comportamiento global del sistema.

2.7.2 Bucles de realimentación

Entre las estructuras básicas en el estudio del comportamiento de un sistema se encuentran las de retroalimentación, en las que una parte del sistema influye de alguna forma sobre la otra y ésta a su vez sobre la primera. Aquí radica la generación endógena de un comportamiento independiente de las influencias externas que actúan sobre el sistema, estas estructuras son cadenas de influencias circulares y denominadas bucles de retroalimentación.

El bucle de realimentación negativa: también son llamadas reguladores o estabilizadores, llamados así porque al existir una influencia negativa (o un número impar de ellas) en la cadena circular, los efectos de las perturbaciones generadas se atenúan (no necesariamente se eliminan), las magnitudes de interés presentan a la larga una tendencia a mantenerse constantes.

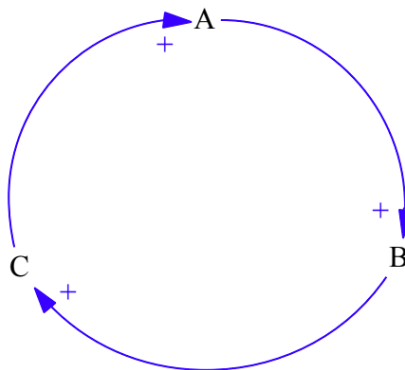
Figura 6. Bucle de realimentación negativa.



Su estructura se representa en la Figura 6 un aumento del elemento A hace aumentar B, lo cual se representa con un signo +. La influencia de B sobre C es tal que C disminuye si aumenta B, es decir, es una influencia negativa representada con el signo -. La influencia de C sobre A es positiva. Cualquier modificación, incremento o disminución, en cualquiera de los elementos del bucle se transmite por la cadena y vuelve a él con una acción de signo contrario a la inicial. A esta influencia es a lo que se llama realimentación.

El bucle de realimentación positiva, llamados también bucles reforzadores tienen todas las influencias entre las partes positivas o un número par de influencias negativas, y por eso cualquier perturbación en un elemento se propaga y se refuerza a lo largo de la cadena. Este comportamiento es estabilizador y provoca que un crecimiento o un declive en uno de los elementos se aceleran con el paso del tiempo. El incremento de un elemento determina a la vez su propio refuerzo, teniendo un comportamiento auto reforzado o catalítico (Ver Figura 7).

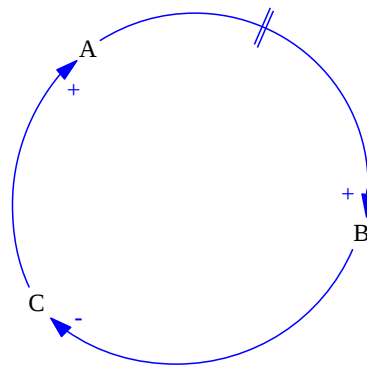
Figura 7. Bucle de retroalimentación positiva



Retrasos: Las influencias que ligan dos variables pueden requerir el transcurso de cierto tiempo para manifestarse. En todos los sistemas se producen retrasos entre las acciones y

sus consecuencias y en todos los procesos de realimentación se produce alguna forma de retraso. En la Figura 8 la influencia de A sobre B no se manifiesta hasta que no ha transcurrido un periodo de tiempo. Cuando A disminuye por influencia de C, cambia la tendencia que actúa sobre B, pero B no para constantemente su crecimiento. Un retraso lleva implícito una acumulación del material o la información que se retrasa, y también puede modelarse con flujo y niveles.

Figura 8. Bucle de retroalimentación negativa con retraso



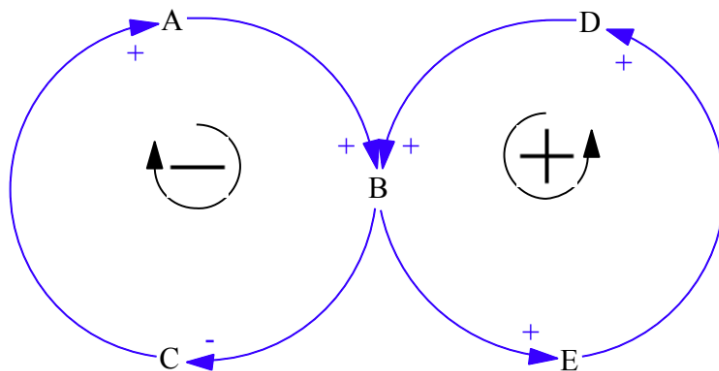
La inclusión de un retraso en una relación de influencia no tiene influencia a largo plazo, pero puede ser inestabilizado durante un periodo transitorio pudiendo provocar comportamientos oscilatorios que pueden hacer inestable una estructura con realimentación negativa.

2.7.3 Estructuras complejas de realimentación

En realidad, podemos encontrar muchas estructuras complejas, producto de la mezcla o entrelazamiento de múltiples bucles de retroalimentación. Esto determina unas cuantas de estas estructuras que aparecen frecuentemente formando parte de otras más complejas. Las más destacadas son los bucles de crecimiento sigmoideal y los bucles de adicción, a las que alude como arquetipos sistémicos. La combinación de estos dos arquetipos da lugar a un tercer tipo llamado: la dinámica del crecimiento con inversión insuficiente. El proceso de crecimiento sigmoideal (arquetipo del crecimiento sigmoideal), se presenta cuando interactúa un bucle positivo y uno negativo. En esta estructura se da n procesos de crecimiento que se agotan cuando se alcanzan ciertos límites. Volviendo al ejemplo de la población, el bucle positivo representaría el proceso que sigue la evolución del número de individuos y el

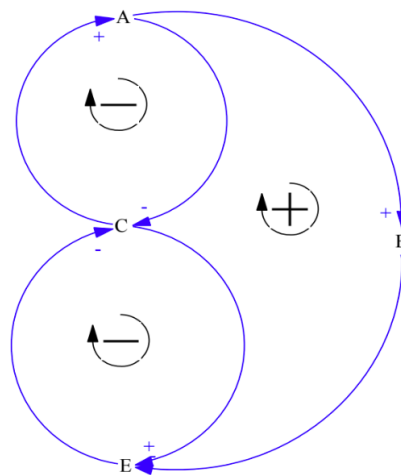
negativo representaría el que sigue la cantidad de recursos. Inicialmente los recursos son suficientes para mantener un crecimiento elevado de la población y el bucle dominante es el positivo, pero con el paso del tiempo los recursos se van agotando y el bucle denotativo aumenta su influencia en el comportamiento, produciendo un frenado del crecimiento e incluso un colapso de la población. El crecimiento sigmoide se presenta en procesos como difusión tecnológica o el de introducción de un nuevo producto en un mercado (Ver Figura 9).

Figura 9. Se muestra la estructura de crecimiento sigmoide



El bucle de adicción (arquetipo de adicción), es aquel en que se manifiesta un síntoma problemático que requiere atención. El síntoma está producido por un problema que es difícil de tratar porque no es muy conocido por que el tratamiento es costoso. Lo más frecuente en estos casos es tratar el síntoma sin resolver el problema fundamental (Ver Figura 10).

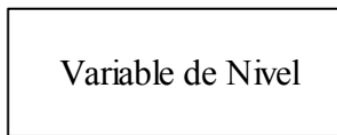
Figura 10. Estructura del bucle de adicción



2.7.4 Diagrama de Forrester

Este diagrama muestra las relaciones entre las variables de un sistema, una vez que han sido clasificadas en variables de nivel, de flujo y auxiliares. Constituye una reelaboración del diagrama de influencias. Recibe también las denominaciones de diagrama de flujos y niveles, de flujos-niveles, o diagrama dynamo, esta última denominación por su relación con el lenguaje informático DYNAMO.

Variables de nivel o estado: Son normalmente las variables más importantes, representan esas magnitudes de lo cual la evolución es especialmente significativa. Estas acumulan resultados de acciones tomadas en el pasado, además contienen toda la historia disponible del sistema, por lo que el modelo debería contener un nivel por cada una de las magnitudes necesarias para definir el estado actual del mismo. Asociada a cada variable de nivel se encuentran una o varias variables de flujo, que determinan su variación a lo largo del tiempo.



Variables de flujo: también conocidas como variables de decisión o funciones de decisión, afectan el comportamiento de las variables de nivel haciendo que crezcan o disminuyan. Están referidas al tiempo transcurrido entre dos instantes y se representan por una válvula o grifo.



Variables auxiliares: ayudan a explicar los valores de los flujos, unen los canales de información entre variables de nivel y variables de flujo. Las variables auxiliares se pueden emplear para representar las no linealidades que aparecen en el sistema, se representan por una circunferencia o sencillamente por su nombre.



Variables exógenas: son externas al sistema y afectan su comportamiento, pero lo contrario no ocurre, se puede seleccionar cualquier figura para representarlas. Tanto los niveles como los flujos y variables auxiliares son variables endógenas.

Constantes o parámetros: también denominadas tasas, son magnitudes que se suponen inalterables a lo largo del periodo intervalo de estudio del sistema. Se representan por cualquier símbolo.

Canal de material: representa un flujo de materiales inventariables sobre un nivel. Se representa por una flecha continua con un sentido indicado.



Canal de información: representa las interacciones entre variables y entre variables y parámetros. Se emplea una flecha discontinua con sentido indicado.



Fuentes y sumideros: las fuentes inagotables o los sumideros que nunca se llenan, identifican la procedencia o el destino de materiales que no son de interés. Se representan por una nube.



Retrasos: señala cuando la transmisión de la información no es inmediata, sino que se lleva a cabo en periodo mayor al elegido como unidad temporal de análisis. Se representa por el siguiente símbolo.



2.8 Las cadenas productivas bajo la óptica de la dinámica de sistemas

La dinámica de sistema se emplea para el estudio de procesos sociales y económicos que, debido a su alto poder descriptivo y posibilidad de adaptarse a un modelo matemático, simplifica el análisis y permite su posterior simulación mediante el uso de ordenadores. Desde que la dinámica de sistema fue concebida en los años 60 en el Instituto Tecnológico

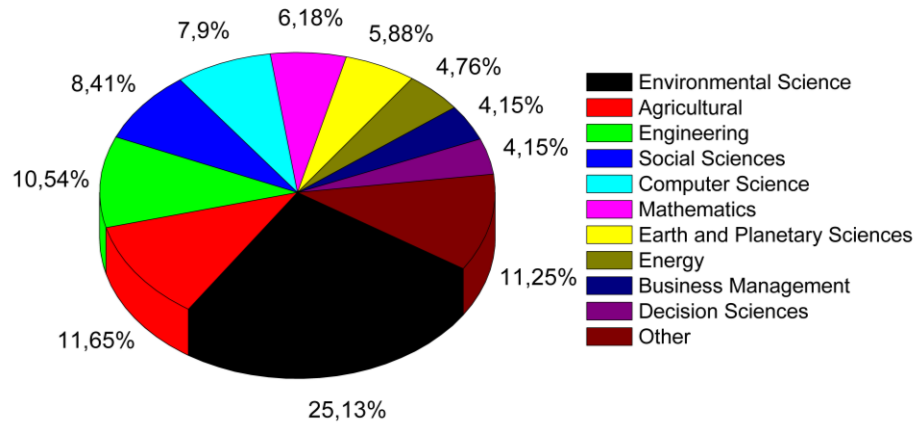
de Massachusetts (MIT) por Jay W. Forrester (Forrester 1994), sus aplicaciones sean difundido en el sector empresarial con un crecimiento exponencial, abarcando temas relacionados con el manejo de activos, servicios financieros, simulación de procesos, defensa, logística y consultoría. Ser modelador en dinámica de sistemas requiere de ciertas habilidades como un pensamiento dinámico, causal, perspectivo, operacional, cíclico, cuantitativo y científico que hacen de este oficio una actividad interesante, que por sus beneficios, debería ser un tema obligado para el análisis de cualquier clase de sistema en las instituciones de educación superior. Las personas suelen emprender acciones sin ser conscientes del impacto de sus propias decisiones. Esta visión restrictiva se debe, en general, a la falta de comprensión del problema y de los elementos que lo componen que quiere resolver, además de no tener las herramientas adecuadas para verificar las consecuencias de una decisión. Es en este punto donde la dinámica de sistemas juega un papel importante, al escudriñar el propio sistema, entendiendo las causas y efectos que generan su comportamiento, a través de un modelo matemático. Un modelador (crea el diagrama de flujo), un programador (introduce los datos en el ordenador) y un estadístico (interpreta los resultados). El ejercicio de modelización implica la representación del sistema mediante un diagrama de flujo, en el que las variables que lo describen se relacionan mediante el uso de conectores o flechas. Este tipo de diagramas hacen de la dinámica de sistemas una herramienta mucho más intuitiva que los antiguos modelos puramente matemáticos, que implican complejos algoritmos secuenciales. El éxito de la simulación de un sistema complejo demanda más que herramientas técnicas y modelos matemáticos. La aplicación de la dinámica de sistemas requiere la participación de un equipo interdisciplinario conformado, básicamente, por expertos (conocedores del sistema).

2.9 Análisis bibliométrico

Se realizó una búsqueda bibliométrica en la base de datos Scopus con el fin de encontrar estudios relacionados con la dinámica de sistemas centrados en las cadenas de producción agrícola en los últimos 10 años. Para ello se estructuró una ecuación de búsqueda con tres términos: TITLE-ABS-KEY ("system dynamics" AND "Agriculture or crops"), esto permitió obtener un resultado de 504 artículos. En la Figura 11, se muestra los tópicos donde más se han implementado la dinámica de sistemas, en primer lugar, están las ciencias ambientales (25,13%), la agricultura con un 11,65% y finalmente la ingeniería (10,54%),

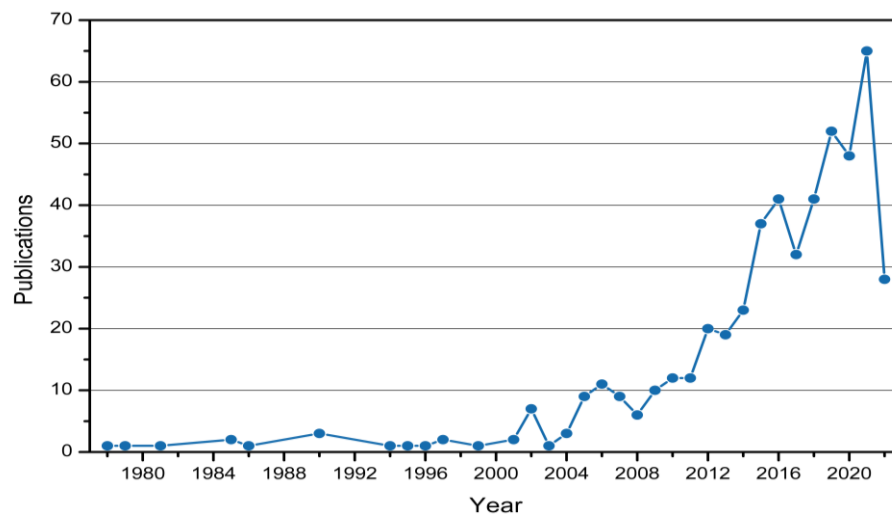
esto indica que la metodología se ha utilizado para abordar problemas con técnicas de ingeniería que benefician a la actividad agrícola y el impacto sobre el medio ambiente.

Figura 11. Publicaciones por temáticas



A pesar de que la dinámica de sistemas es una metodología que surge en la década de 1950, sigue teniendo un impacto importante para abordar diferentes problemas, en la Figura 12 se puede observar que entre el año 2012 y el 2021 el número de publicaciones ha crecido de manera importante.

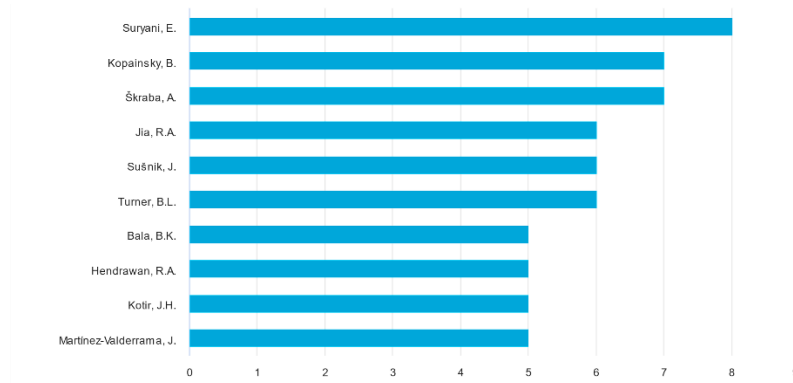
Figura 12. Publicaciones por años



Fuente. SCOPUS

Los autores más representativos que se encontraron en el estudio bibliométrico son, Suryani, E con 10 publicaciones, le sigue Kopainsky, B con 7 publicaciones. En la figura 13, se puede apreciar los 10 principales autores.

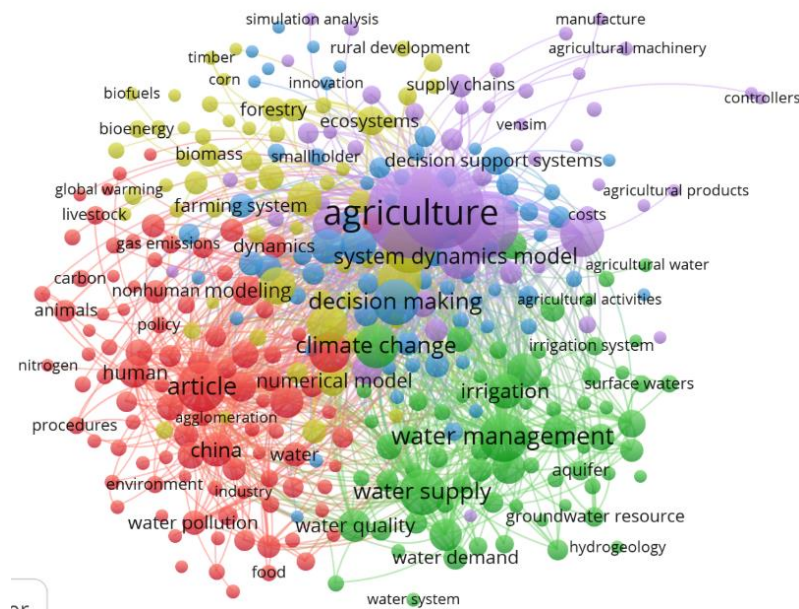
Figura 13. Autores destacados



Fuente. SCOPUS

Adicionalmente al análisis previo, mediante la herramienta VosViewer fue posible establecer la red bibliométrica con los 503 documentos hallados por SCOPUS. En la Figura 14 se muestran que las palabras claves con mayor ocurrencia fueron las siguientes: agricultura, modelos dinámicos de sistemas, herramientas de apoyo a la toma de decisiones, actividades agrícolas, sistemas agrícolas.

Figura 14. Red bibliométrica de búsqueda



2.9.1 Antecedentes

La baja competitividad del sector agrícola, y la puesta en marcha de políticas comerciales, principalmente con tratados de libre comercio con países mucho más fuertes y competitivos, son dos de los grandes problemas que aquejan al sector.

Teniendo en cuenta estos dos grandes problemas que aquejan al sector, se evidencia una falta de comunicación e integración entre el sector público y el sector productivo a la hora de analizar o diseñar estrategias para mejorar la competitividad. Es aquí donde la academia entra a jugar un papel muy importante en el aporte de conocimiento que se genera a través de proyectos de investigación que contribuyan al desarrollo del sector (Alfonso, D., Urrego, I., Guaneme, I. Céspedes 2018).

En la siguiente revisión se describen algunos enfoques académicos que contribuyen a comprender las problemáticas agrícolas, y las propuestas metodológicas que se proponen como alternativas de mejora en el rendimiento, competitividad e ingreso del sector agrícola.

Como es tradición el café es uno de los productos con alta demanda en el mundo por su calidad, sabor y otras características. A través de los años la cadena productiva se ha logrado consolidar, por lo que es modelo de referencia para otros productos que están en crecimiento como el aguacate Hass.

Las políticas de apoyo han sido el foco de varios estudios, como es el caso de Ovalle, Orozco y Sinisterra (2019b) quienes evalúan el impacto de en el flujo financiero de los cafeteros colombiano, al recibir incentivos en insumos y fertilizantes, involucran costos de producción, tanto del café como de otros cultivos, gastos familiares, ingresos por ventas, identifican las necesidades financieras y cómo las políticas de inversión estatal que pueden contribuir a mejorar la productividad y por ende los ingresos de los pequeños productores, este análisis se hace mediante un modelo de simulación con dinámica de sistemas.

La asistencia es otra estrategia de desarrollo rural, se enfoca en implementar programas de asistencia técnica para incrementar la productividad agrícola, Franco y Davalos (2019) determinaron mediante la metodología del efecto de tratamiento marginal (MTE) que las unidades agrícolas que se incorporaron a los programas de asistencia técnica aumentaron su producción en un 58% en comparación con las unidades agrícolas sin asistencia técnica.

Esta información se respalda con la evaluación del impacto al programa de Agro Ingreso Seguro AIS. Según su informe final (2011), el ingreso promedio per cápita por unidad productiva que recibe asistencia es 2.20 veces superior al promedio per cápita de las unidades productivas que no reciben asistencia técnica.

La asociatividad es otro de los factores crucial para el desarrollo de la competitividad, ya que repercutirá en una mejora de los ingresos y las condiciones de vida de gran parte de la población que se encuentra en condiciones de pobreza (Amézaga, Carola, Artieda 2017). Por otro lado, Elgue (2006) manifiesta que el asociativismo productivo posibilita salir del individualismo y potenciar al mismo tiempo recursos técnicos y económicos

Además se reducen los costos de producción, según Lievano y Rodríguez (2016a) los costos de producción totales de un productor independiente equivalen al 58% del total de los ingresos, y para los productores asociados equivalen al 30%, es decir un 28% menos.

Así sucesivamente se pueden encontrar múltiples estudios que aportan desde diferentes enfoques los beneficios en la competitividad del agro colombiano, así como también una oferta importante de programas de diversas entidades que buscan generar condiciones propicias para el desarrollo de los pequeños productores en el campo que abarcan distintos frentes como son: asistencia técnica, asociaciones productivas entre pequeños productores y comercializadores, la restitución, titulación y la formalización de tierras, el acceso a financiamiento con tasas de interés subsidiadas, riego y el drenaje (J. J. . Perfetti et al. 2013). Algunos de ellos han tenido evaluaciones de impacto, como los programas de Alianzas Productivas, Programas de Desarrollo y Paz, que han obtenido impactos positivos, pese a que también presentan algunas deficiencias.

Sin embargo, no existe una evaluación sistémica que valore el impacto agregado del conjunto de esas políticas, para atender la problemática de los pequeños productores en Colombia, lo cuales han padecido de una falta de visión integral de las intervenciones con enfoque territorial. En consecuencia, ha faltado coordinación entre las entidades que los ejecutan, impidiendo aumentar la cobertura de operación y las economías de escala en términos de recursos, capital humano y aprendizaje (J. J. . Perfetti et al. 2013).

La Tabla 4 presenta un resumen de las referencias consultadas.

Tabla 4. Resumen de los resultados de los principales estudios consultados

Autor	Título	Metodología	Aporte
(Kumar et al. 2021)	Using system dynamics to analyze the societal impacts of blockchain technology in milk supply chainsrefer	Mapear las cadenas de suministro de leche para explorar el flujo de información entre los diferentes miembros para una mayor trazabilidad; en segundo lugar, investigar los impactos sociales de la tecnología blockchain en una cadena de suministro de leche para construir la sostenibilidad social.	En los puntos críticos de trazabilidad de una cadena de suministro de leche se evalúan con la adopción de blockchain. Esto ayudará a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de proporcionar alimentos seguros, promover la buena salud y mejorar el bienestar de todos.
(Muhandh is et al. 2021)	Modeling of Salt Supply Chains to Achieve Competitive Salt Prices	Este estudio desarrolla un modelo de simulación dinámica de las cadenas de suministro de sal para analizar los factores significativos que afectan a los precios desde los niveles superiores hasta los inferiores de Indonesia.	A partir de los resultados de la simulación, los precios de la sal local e importada pueden competir mediante la aplicación de sistemas de integración de tierras. Es probable que este sistema reduzca los costes de producción y aumente los ingresos de los agricultores al final de la simulación en 2035.
(Bisht 2021)	Agri-food system dynamics of small-holder hill farming communities of Uttarakhand in north-western India: socio-economic and policy	Se abordó la necesidad de reevaluar las políticas de salud y agricultura existentes relacionadas con la alimentación y la nutrición, y de desarrollar estrategias de implementación intersectoriales sobre la seguridad alimentaria y de los medios de vida, la nutrición y la salud.	Con apoyo a las políticas agrícolas, existe una enorme posibilidad de que la agricultura tradicional pueda revivir fácilmente orientándose al mercado localizado. Junto con la eco-nutrición, algunas intervenciones específicas de marketing pueden hacer que la agricultura sea rentable y sostenible. Además, de utilizar un mínimo de insumos comprados.

Autor	Título	Metodología	Aporte
(Supply and Coordination 2021)	The Rural-Urban Food Systems' Links with the Agenda 2030: From FAO Guidelines on Food Supply and Distribution Systems to a Dairy Sector Application in the Area of Bogota	Sistemas de Suministro y Distribución de Alimentos (SDSA) en los entornos urbanos es vital para evaluar las políticas que tienen como objetivo satisfacer las necesidades alimentarias urbanas, el propósito de este trabajo es mostrar que el enfoque metodológico conocido como modelado y simulación de dinámica de sistemas puede conducir, en términos de conocimiento y/o contribución teórica, al despliegue de la complejidad en esta área de investigación, así como traer al análisis las relaciones a través de algunos objetivos de la Agenda 2030.	Este trabajo también permitió vincular los componentes del sistema alimentario con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 (de ahí que se exija intrínsecamente un enfoque holístico y sistémico) y mejorar la eficiencia organizativa de los procesos de producción y distribución de alimentos, para aumentar el suministro de alimentos a las ciudades, reduciendo también los costes y los residuos. Una idea fundamental fue que las políticas relacionadas con la alimentación se ven impulsadas y estimuladas por el aumento de la disponibilidad de alimentos o las brechas de acceso a los mismos
(Bala, Arshad, and Noh 2018)	Sustainable development of agriculture: a system dynamics model	Al desarrollar y analizar las soluciones basadas en los principios del desarrollo sostenible, se debe buscar un enfoque integrado y holístico. El objetivo de este estudio es presentar un modelo integrado y sistémico para analizar la dinámica existente en el desarrollo sostenible de la industria agrícola de Irán.	El documento muestra cómo el enfoque de simulación de Dinámica de sistemas puede proporcionar conocimientos profundos en el campo del desarrollo sostenible y presentar políticas eficientes para la agricultura sostenible.

Autor	Título	Metodología	Aporte
(Pasha and Suryani 2017)	Pengembangan Model Rantai Pasok Minyak Goreng Untuk Meningkatkan Produktivitas Menggunakan Sistem Dinamik pada PT XYZ	En los fabricantes de la cadena de suministro, la producción de aceite de cocina obtiene un déficit frente a la demanda de aceite de cocina en el país. Esto se debe a la existencia de factores tales como la disminución de la productividad en la influencia del tipo de semillas se utilizan, la edad de la planta, y el proceso de recolección de lluvias facción TBS desigual. Esta investigación propuesta sobre el modelo de desarrollo de la cadena de suministro para mejorar la productividad del aceite de cocina utilizando sistemas dinámicos.	Los resultados de esta investigación son el desarrollo de un modelo de cadena de suministro de aceite de cocina para aumentar la productividad utilizando sistemas dinámicos. Los resultados del escenario de simulación, el método propuesto está aumentando con éxito la productividad de la TBS de 17,6% (toneladas) por hectárea por año y la producción de aceite de cocina está teniendo un excedente con un promedio de 30,31%.
(Rich et al. 2016)	Participatory systems approaches for urban and peri-urban agriculture planning: The role of system dynamics and spatial group model building	Para que la agricultura urbana sea sostenible como una estrategia de medios de vida y resiliencia, se requerirán herramientas de apoyo a la toma de decisiones que permitan a los planificadores y participantes desarrollar estrategias de manera conjunta y evaluar los posibles puntos de influencia dentro de las cadenas de valor alimentarias urbanas.	los modelos de dinámica de sistemas y los procesos de construcción de modelos en grupo desempeñan un papel importante a la hora de salvar la distancia entre los procesos ascendentes de las iniciativas de agricultura urbana y los sistemas descendentes de planificación urbana. Estas herramientas, ya sean de naturaleza cualitativa o cuantitativa, reúnen e implican a las partes interesadas en todos los niveles de participación, y son capaces no sólo de conceptualizar el sistema existente, sino también de poner de relieve los efectos potenciales de escenarios alternativos a lo largo del tiempo

Autor	Título	Metodología	Aporte
(Demczuk and Padula 2017)	Using system dynamics modeling to evaluate the feasibility of ethanol supply chain in Brazil: The role of sugarcane yield, gasoline prices and sales tax rates	Este trabajo explora cómo el rendimiento de la caña de azúcar, los precios de la gasolina y las tasas de impuestos sobre las ventas afectan a la producción y el consumo de etanol a partir de la caña de azúcar en Brasil. El modelo de dinámica de sistemas de la cadena de producción de caña de azúcar y etanol explora el impacto de estas variables para evaluar la viabilidad de la producción de etanol. Utilizando el software VENSIM se simularon diferentes arreglos para el rendimiento de la caña de azúcar, los precios de la gasolina y el impuesto a las ventas (horizonte de 20 años).	Las simulaciones muestran que, para garantizar la viabilidad de la producción de etanol, el precio de la gasolina regular en los surtidores tendría que ser de 1,95 dólares por litro. Las políticas públicas que implican la liberalización de los precios de la gasolina y la homogeneización de los impuestos sobre las ventas de etanol entre los estados brasileños podrían reducir las distorsiones causadas por estas políticas. Estas podrían contribuir a reducir la incertidumbre en el sector del etanol y fomentar las inversiones tecnológicas y productivas
(Poppe 2016)	Business Dynamics with Scenarios on Dutch Agriculture and its Institutional Arrangements	A partir de una descripción histórica, formulamos un modelo sencillo de dinámica empresarial. La solidez del sistema se investiga mediante un análisis de escenarios. Los resultados se han comprobado mediante entrevistas con expertos.	Existe una fuerte conexión entre el rendimiento del sector agrícola (incluida la agroindustria), su financiación a nivel primario dentro de la empresa familiar, la promoción de intereses y el sistema de conocimientos. Los cambios que se producen en una de las partes tienen repercusiones en el sistema total. Realizar tales cambios sin examinar primero las consecuencias da lugar a confusión y a decisiones potencialmente incorrectas.

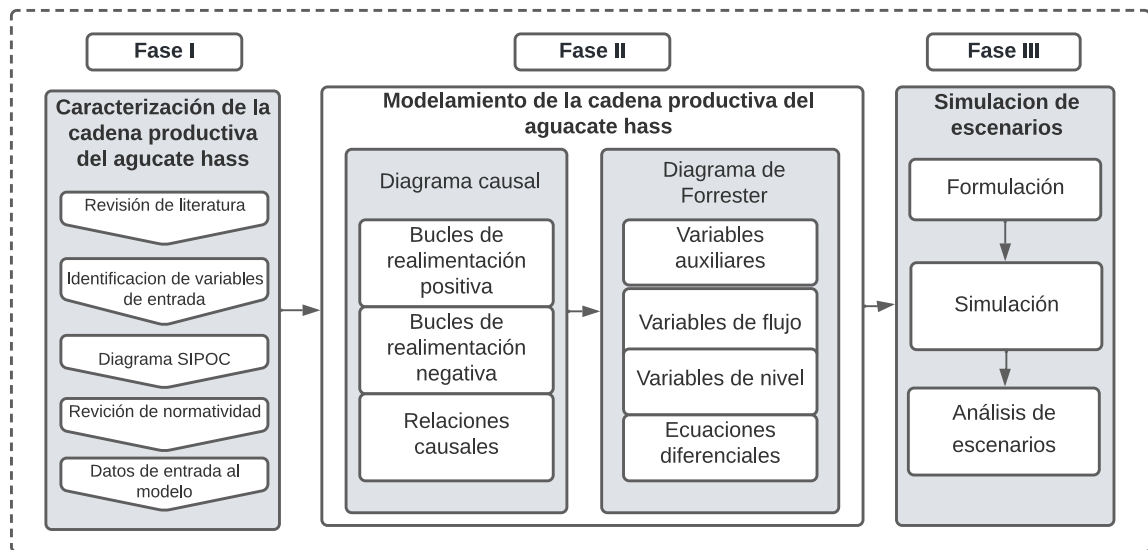
Autor	Título	Metodología	Aporte
(Li, Dong, and Li 2012)	A system dynamics model for analyzing the eco-agriculture system with policy recommendations	Este artículo propone un método científico para analizar los efectos medioambientales y económicos de la eco agricultura y simular su tendencia a largo plazo.	El modelo identifica algunos defectos y desventajas del sistema agrícola actual, como el aumento excesivo del sacrificio de ganado, la producción inestable de metano, el lento desarrollo de la agricultura ecológica y una estructura energética insostenible. Se proponen políticas de mejora del sistema y el modelo demuestra que pueden reducir los efectos negativos y eliminar los riesgos potenciales del declive del sistema.
(Li, Dong, and Li 2012)	Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in China: the case study of Jinshan County with a systems dynamics model	Se centra en la búsqueda de medidas políticas concretas para facilitar la sostenibilidad general del desarrollo agrícola ecológico a nivel de condado. Para este propósito, se ha desarrollado un modelo de dinámica de sistemas (AISEEM) para explorar las posibles interacciones ecológicas, económicas, institucionales y sociales a largo plazo del desarrollo agrícola ecológico a través de un estudio de caso del condado de Jinshan en China.	Este estudio de caso destaca la importancia de combinar el marco analítico de la economía ecológica con el enfoque de modelado de dinámica de sistemas como una herramienta integrada factible para proporcionar información sobre el análisis de políticas de agricultura ecológica y, por lo tanto, establecer una base sólida para la formulación de políticas efectivas para facilitar su desarrollo sostenible. a escala regional.

Autor	Título	Metodología	Aporte
(Hasan, Suryani, and Hendra wan 2015)	Analysis of Soybean Production And Demand to Develop Strategic Policy of Food Self Sufficiency: A System Dynamics Framework	La demanda de alimentos a base de proteína de soja aumenta con el incremento anual de la población. El gobierno ha realizado varios esfuerzos, pero todavía no se han conseguido los máximos resultados. El objetivo de este estudio es encontrar una solución alternativa utilizando un enfoque de dinámica de sistemas.	Los resultados de los escenarios mostraron que la producción de soja podría satisfacer las necesidades de la demanda de soja en Indonesia durante 20 años mediante el aumento de la expansión de la tierra de al menos el 70% por año, el uso de semillas con un nivel de producción mínimo de 2,4 toneladas / hectárea o la utilización de las semillas de vida corta que pueden aumentar el índice de cultivo al menos 2,0, el uso de fertilizantes biológicos que pueden aumentar la productividad de las semillas al menos un 125%. productividad de las semillas al menos en un 125%.
(Suryan ia et al. 2014)	System Dynamics Model to Support Rice Production and Distribution for Food Security	Este estudio piloto busca desarrollar un modelo de Dinámica de Sistemas para mejorar la seguridad alimentaria considerando los cambios de las condiciones regionales para evaluar varias políticas para la toma de decisiones estratégicas; y ayudar al gobierno en la mejora de la seguridad alimentaria a través de varios escenarios de desarrollo de políticas como la intensificación de la tierra, la expansión de la tierra, y la distribución de otra región.	Este estudio podría considerarse como un estudio piloto para mejorar la seguridad alimentaria mediante el uso de algunos escenarios como la intensificación de la tierra, la expansión de la tierra, la distribución desde otro distrito regional y la importación. Es necesario seguir investigando para integrar la logística alimentaria nacional en función de varios factores clave, como los productos básicos, el agente y el proveedor de servicios logísticos, el transporte, la tecnología de la información y la comunicación.

3 METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología utilizada para el desarrollo de este estudio, siendo la Figura 15 un diagrama de flujo que ilustra las fases utilizadas para abordar la investigación. Las fases guardan estrecha relación con los objetivos propuestos.

Figura 15. Metodología utilizada en el estudio



Fuente. Autor del proyecto

Caracterizar el estado actual de la cadena productiva de aguacate Hass del departamento del Cauca, mediante revisión de la literatura, consulta a expertos y herramientas de mapeo.

Para cumplir con este objetivo fue necesario conocer a fondo los diferentes elementos que intervienen en el eslabón primario de la cadena productiva del aguacate Hass, así como la forma en que se relacionan entre sí.

En primer lugar, se hizo una revisión histórica de la evolución agrícola colombiana para entender cómo ha encajado la cadena productiva del aguacate Hass, así como aspectos macroeconómicos, clasificación de los productores, descripción del proceso productivo y la normatividad relacionada con los procesos de producción y comercialización.

Construir un modelo de evaluación mediante el enfoque en simulación dinámica que represente la estructura y el comportamiento actual de la cadena productiva objeto de estudio.

Con la caracterización realizada, se identificó cuáles son las variables que deberían ser analizadas para esta investigación, resaltando que la metodología dinámica de sistemas es un buen enfoque para analizar y modelar el comportamiento temporal de las variables en un entorno complejo. En la ejecución de esta metodología, se siguieron las tres etapas fundamentales para la construcción de un modelo de dinámica de sistemas:

1. Definición del problema a estudiar: En este paso fue necesario comprender el sistema del problema a resolver. Para esto se contó con la participación de expertos en cultivo de aguacate Hass, que sugieren las posibles interacciones y actividades realizadas por los elementos que componen el sistema en estudio.

2. Identificación de variables y sus relaciones: En este paso se discriminaron las variables más representativas para el estudio del problema, ya que intentar representar todas las variables implicadas hace complejo el proceso de modelización.

3. Construcción del modelo: Se procede a establecer el mapa completo de las variables y sus relaciones en un diagrama causal. El modelo deberá ser adaptado a un software especializado, como lo es Vensim LP, que facilita su incorporación al ordenador – Modelo de Forrester

Evaluar las políticas seleccionadas mediante la formulación de escenarios y el uso del modelo de simulación.

En este objetivo, se identificaron las políticas de apoyo al sector agrícola a través de revisión de literatura, consulta a los profesionales involucrados en los programas de mejora de la competitividad del sector aguacatero. Con esta información, junto con los resultados del primer objetivo, permitieron identificar las políticas de mayor impacto en la competitividad del sector aguacatero. Las políticas fueron evaluadas mediante escenarios de simulación en el software Vensim PLE.

3.1 FASE 1: Caracterización de la cadena productiva del aguacate Hass.

3.1.1 Antecedentes de la agricultura colombiana

En el año de 1970, la agricultura era el sector más importante para la economía colombiana, aportando al Producto Interno Bruto (PIB) el 51.9%. Para 1975 el PIB creció en un 7.4 %, debido al aumento de la demanda extranjera, que alzó los precios del café, el cuál era el principal producto de exportación de Colombia (Rojas M. & (IICA), 1977).

Para el siguiente año el sector manufacturero tomó fuerza, pues su crecimiento productivo crecía en un 10.8%, mientras que la producción de los 17 principales productos agrícolas del país solamente logró crecer en un 2.1%.

Este crecimiento en producción agrícola se produjo por el aumento en un 3.5% en extensión de tierra cultivada, lo que significó que se tuvo que sembrar más para poder producir más, aumentando el número de hectáreas. Estas problemáticas fueron el inicio de lo que a partir de allí hubiera sido el descenso agrícola (Rojas M. & (IICA), 1977).

Para 1992, el sector agrícola pasó a ser el segundo en importancia por aporte al PIB, después del sector manufacturero, con una participación del 23.5% en el PIB total. En 1997 su participación llegó a ser tan solo del 15.7% (DANE 1977).

Este descenso en el aporte al PIB se debió al descenso de la superficie sembrada y rendimiento de los cultivos que experimentaron los de mayor desarrollo, o los llamados cultivos comerciales como el café, arroz, sorgo, cebada, algodón, ajonjolí, soya, y caña de azúcar (Uribe, Eduardo, Tovar 2011).

A finales de los años 90 se reanudó por un periodo corto la productividad agrícola, debido a la introducción de nuevas semillas, así como la intensificación de insumos agrícolas, fertilizantes y pesticidas. Esta transición tecnológica fue dada por entidades multilaterales y donantes internacionales. Sin embargo, este incremento productivo se dio una sola vez, y no ha mostrado continuidad en los últimos años (Uribe & Tovar, 2011).

Desde entonces el origen del estancamiento ha sido objeto de estudio de varios autores que tratan de identificar cuáles fueron los factores determinantes que hicieron perder el impulso al sector agrícola. Aunque para algunos autores las causas son evidentes, para otros, son difíciles de establecer. Jaramillo (2019) considera, que las reformas políticas y

sociales de los 90 propuesta para reducir aranceles al sector agrícola, contribuyeron a la desaceleración de este, además del aumento de las tasas de interés, la revaluación del peso, y algunos problemas de tipo climático.

Tovar & Uribe (2008) le atribuyen este estancamiento a la carencia de una capacidad nacional fuerte para generar nuevas opciones tecnológicas que le permitieran al sector mejorar su productividad y explorar nuevas alternativas productivas más competitivas, y adaptarse a las nuevas condiciones comerciales.

Lo cierto es que muchos autores coinciden en que las decisiones políticas hacia el sector agrícola no fueron, ni han sido sostenibles. De este modo es necesario saber cómo han actuado algunos países frente al dinamismo del mercado y como sus políticas o reformas agrarias han impulsado los procesos de desarrollo del sector.

De esta manera cabe mencionar la reforma realizada en Brasil que se llevó a cabo en los años setenta, que consistió en la creación de un centro de investigación pública, para formar científicos. Productos de sus estudios, soportan gran parte de los aumentos notables en la productividad. Esto le ha permitido al país convertirse en el mayor exportador de algunos productos agrícolas (J. J. . Perfetti et al. 2013).

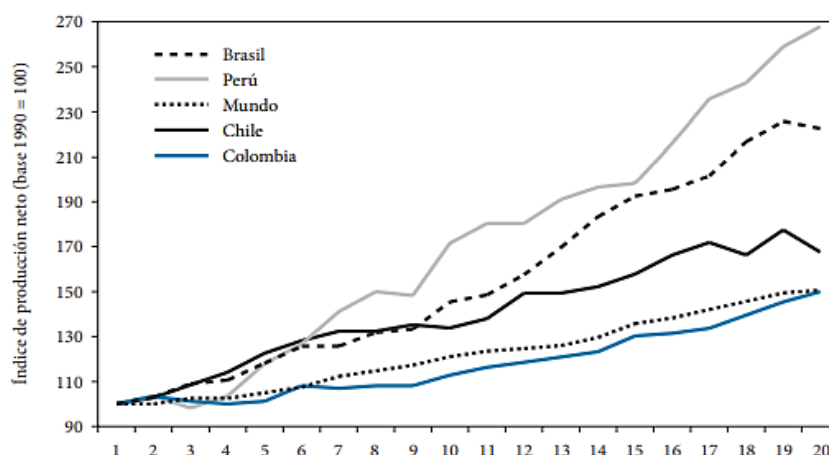
Argentina por su parte, logró una mayor inserción en el mercado internacional, por el papel que jugó el estado, en un marco institucional enfocado a fortalecer la competitividad de la producción nacional. Para esto, se logró una alianza de 12 instituciones para generar nuevas tecnologías como base impulsadora de los procesos de innovación y desarrollo, apoyadas de políticas de inversión, defensa de la competencia y comercialización.

Por su parte en Chile, ha promovido la competencia en un ambiente favorable para la inversión privada. Adicionalmente cuenta, con una robusta institucionalidad para atender las necesidades de los agricultores, mejoramiento de los sistemas de riego, asistencia técnica y promoción a la transformación e innovación de los productos.

Perú, también se ha incorporado en el dinamismo comercial del mundo. Caminando con políticas relacionadas con aspectos laborales, el comercio, la inversión, los impuestos, aranceles, infraestructura en el sector agrícola, todo esto, bajo un plan de gobierno enfocado a la promoción del desarrollo de la agricultura, la agroindustria rural y el comercio (FAO 2007).

De esta manera, varios países latinoamericanos muestran un desempeño productivo superior al del promedio mundial como Brasil, Chile y Perú, ratificando que las reformas y estrategias políticas del sector productivo han dado fruto, al sacarle provecho al auge del mercado agrícola internacional (Ver Figura 16).

Figura 16. Índice de producción del mundo y algunos países de América latina



Fuente. Reina & Oviedo (2011)

Por su parte, Colombia presenta una baja productividad agropecuaria. Entre 2001-2016 la tasa de crecimiento de la PTF¹ la producción agropecuaria anual promedio es una de las más bajas (0.63%) de América Latina y el Caribe (ALC) (1.8%). Con respecto a la productividad laboral, entre 2000-2016 el valor agregado por trabajador agropecuario en promedio fue de USD \$5085.74 (dólares constantes de 2010 PPA), inferior al promedio de ALC de USD 5990.39, equivalente al 6.7% del de EE.UU (USD 76369.55), cercano al de México (USD \$5106.57), superior al de Argentina (USD 2808.62) y el de Perú (USD \$2184.25), pero por debajo de Chile (USD\$ 9265.71) y Brasil (USD \$7661.36) (Parra-Peña, Puyana, and Yepes 2021).

¹ PTF: Productividad total de factores

Hoy, la sociedad rural y el campo colombiano han sido los ejes indiscutibles del desarrollo del país. Al mismo tiempo, su relativo atraso en materia social y económica muestra los sesgos entre la zona urbana y rural, además tiene una deuda que el país ha acumulado con el mundo rural. Por ello, se deben proponer políticas de Estado para que la sociedad rural pueda manifestar todo su potencial y contribuir al bienestar nacional.

Por ello, es necesario fortalecer las cadenas productivas para que los pequeños productores puedan impulsar su economía a través de la industrialización y el acceso a los mercados externos. El aguacate Hass se ha convertido en una alternativa que ha despertado el interés de muchos agricultores, aunque el cultivo aún está en proceso de aprendizaje y de consolidación de la cadena productiva, las cifras ya muestran el potencial que tiene en la economía rural.

3.1.2 Caracterización de la cadena productiva del aguacate Hass

Contexto nacional de la cadena productiva del aguacate hass

Colombia en el escenario mundial del cultivo de aguacate, logró ubicarse en el tercer lugar durante el 2018, en relación con el área cosechada registrando el 6% con más de 54 mil hectáreas, y en el cuarto lugar con respecto a la producción total, logrando el 11% del total con más de 540 mil toneladas. El 63% de la producción nacional de aguacate Hass se queda en el mercado nacional y el 36% restante se destina a los mercados de exportación. Durante los últimos 5 años, la dinámica comercial de la cadena productiva del aguacate ha cambiado, dado el incremento de la producción de aguacate Hass, que ha permitido a Colombia conquistar los mercados internacionales, con una demanda insatisfecha de fruta fresca (MADR 2021).

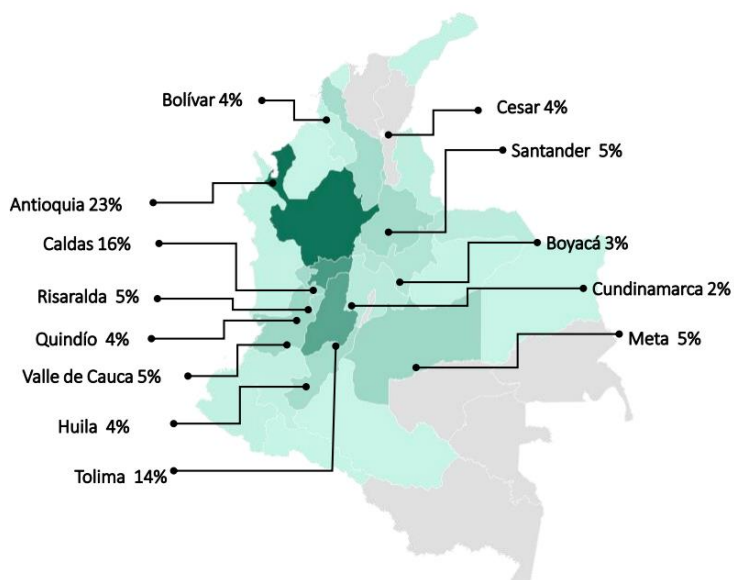
La cadena productiva ha crecido rápidamente en los últimos años; sin embargo, su desarrollo ha estado ligado a la comercialización de la fruta fresca. En este sentido, está sujeta a los cambios de precios tanto en el mercado nacional como en el internacional, situación que se da porque no existe una infraestructura productiva que absorba los excedentes que no son demandados por los mercados de fruta fresca.

En 2020 se exportaron 77.075 toneladas, equivalentes a 146 millones de dólares, lo que representó un incremento del 48% y del 67% frente a 2019 a diferentes destinos. Además, el aguacate Hass colombiano logró la admisión en los últimos años a países como China y Japón, mercados con alta demanda de la fruta y que se suma a otros 32 destinos, entre

ellos Holanda, España, Reino Unido, Estados Unidos y Francia, que completan el top cinco de los territorios a los que más se exporta aguacate Hass (MADR 2021).

Los departamentos de Antioquia, Caldas y Tolima representan el 51% del área total sembrada de aguacate en el país; cabe destacar que el departamento de Antioquia es el territorio con mayor producción con una participación del 23% del total nacional. (Ver Figura 17).

Figura 17. Principales Zonas Productoras



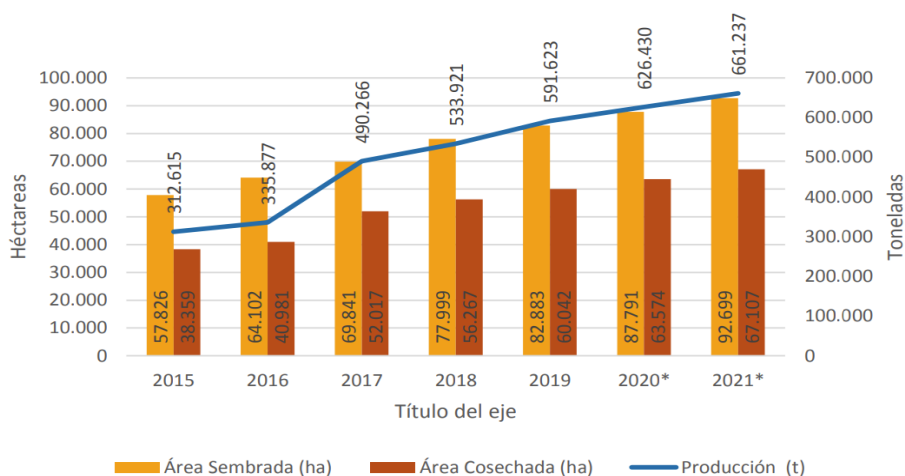
Fuente. (Minagricultura 2020)

Se estima que en el país existen alrededor de 19,200 productores en unas 51,702 unidades productivas que tienen como principal actividad económica el cultivo del aguacate. Alrededor de 65.000 personas en el país participan directa e indirectamente en los diferentes eslabones de la cadena productiva del aguacate. Actualmente, el ICA cuenta con 2.200 predios que representan 17.300 hectáreas, de las cuales 300 predios están en el programa de exportación (Gowan 2020).

Cerca del 72% del área sembrada en el país se encuentra en edad productiva y el restante en etapa de desarrollo, por lo tanto, se espera que la producción anual del fruto se incremente paulatinamente (Ver Figura 18). Aproximadamente el 66% del área sembrada en aguacate corresponde a variedades pieles verdes, criollos o antillanos, siendo las

variedades dominantes en el mercado nacional y el cultivo de la variedad Hass corresponde al 34 % del total de área sembrada con aguacate en el país. En los últimos 5 años, la producción de aguacate creció 34%, como efecto combinado del aumento del área cosechada (29%) y del rendimiento (5%). El crecimiento de las áreas sembradas en la variedad Hass está asociado a la exitosa inserción de la fruta en los mercados internacionales y al continuo apoyo del Gobierno Nacional en el proceso de apertura de mercados sanitarios estratégicos para la exportación de la fruta, contribuyendo a mantener la demanda en línea con la creciente oferta de este producto. El rendimiento promedio en los últimos 3 años se ha mantenido estable en 10 toneladas/ha (MADR 2021).

Figura 18. Dinámica Sectorial Productiva



Fuente. (Minagricultura 2020)

Para el 2021, a nivel regional se estima que el departamento de Antioquia se consolida a nivel nacional como el que registra actualmente, la mayor área sembrada (21%) y producción (23%) de aguacate del país. No obstante, a nivel de rendimiento por hectárea el departamento líder Caldas con 11 Ton/ha (Rincon Gomez 2021) (Ver Figura 19).

Figura 19. Área, Producción y Rendimiento Departamental

Departamento	2017			2018			2019			2020*			2021*		
	Área (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Área (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Área (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Área (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Área (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)
ANTIOQUIA	11.992	133.461	11	15.980	121.010	8	17.107	137.179	8	18.289	146.946	8	19.313	155.278	8
CALDAS	9.821	81.447	10	10.229	95.804	12	11.189	94.776	14	12.025	102.218	11	12.698	108.014	11
TOLIMA	13.348	72.063	7	13.309	82.500	8	13.603	83.110	8	14.139	86.570	8	14.930	91.479	8
VALLE DEL CAUCA	3.060	21.535	9	4.427	28.208	9	4.661	31.182	10	4.939	32.754	10	5.216	34.611	10
META	1.649	15.570	9	3.264	23.769	8	3.322	31.037	11	3.587	33.581	9	3.788	35.485	9
SANTANDER	5.572	24.732	7	4.194	23.101	8	4.421	28.094	10	4.593	28.878	8	4.850	30.515	8
RISARALDA	3.751	24.259	10	4.340	25.412	10	4.578	27.175	10	4.894	28.995	10	5.168	30.639	10
QUINDIO	3.644	20.597	8	4.275	25.336	8	4.424	26.417	9	4.737	28.306	8	5.002	29.911	8
HUILA	2.817	17.145	11	3.295	21.256	10	3.382	25.668	10	3.647	27.657	10	3.851	29.225	10
BOLIVAR	2.972	26.744	11	2.519	24.144	11	2.549	25.049	12	2.414	23.547	11	2.550	24.882	11
OTROS	11.215	52.712	11	12.166	63.381	11	13.645	81.935	12	14.527	86.979	11	15.332	91.200	11
Total	69.841	490.266	9	77.999	533.921	9	82.883	591.623	10	87.791	626.430	10	92.699	661.237	10

Fuente. Ministerio de Agricultura (2020)

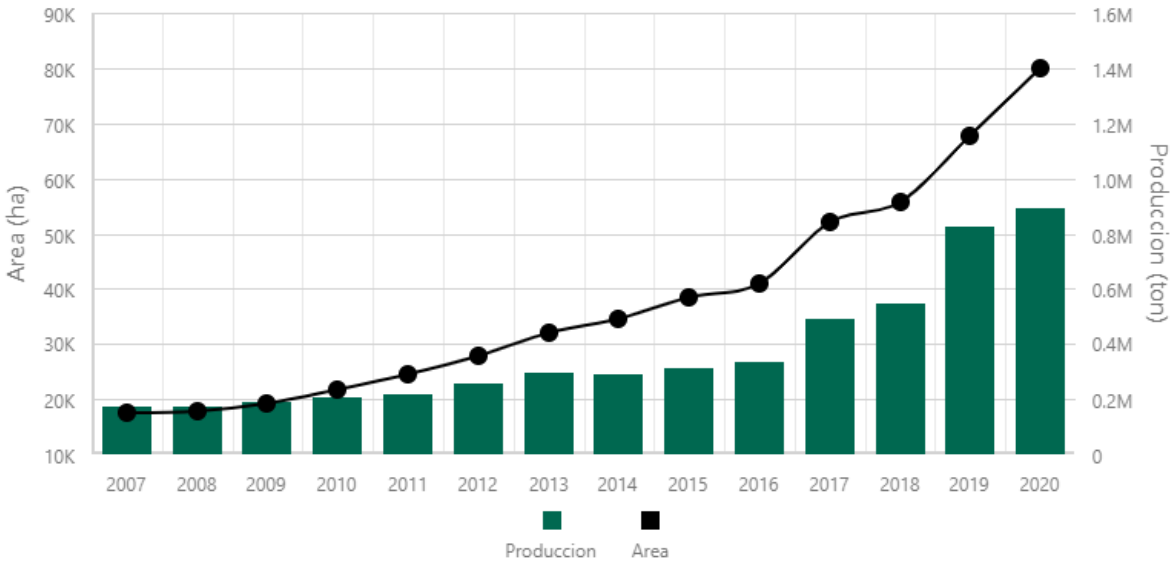
El principal destino de exportación para el aguacate colombiano es el continente europeo, encabezado por los Países Bajos, España y Reino Unido. Las cifras sectoriales de exportación, las cuales comparativamente, registran un incremento absoluto de más de 28 mil toneladas, que equivale a un 48%, entre los años 2019 y 2020 actualmente, el país cuenta con la admisibilidad sanitaria con el fin de consolidarse en el mercado Norte Americano al cual, durante el 2020 se logró colocar exitosamente 3.129 Toneladas. Durante el primer trimestre del año, por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural se logró firmar el protocolo de admisibilidad con Corea del Sur para la exportación de la Aguacate Variedad Hass a este país del continente asiático (Rincon Gomez 2021).

Durante el 2020, el departamento de Antioquia ha entregado el 46% de la fruta exportada, seguido de Risaralda y Valle del Cauca con el 27% y 7%, respectivamente. Las exportaciones de aguacate a nivel regional, durante el 2021 están siendo lideradas por el departamento de Antioquia con una participación del 52%, seguido de Risaralda con el 21% y Valle del Cauca con el 11%.

El aguacate Hass es uno de los frutales más representativos, debido a que es una de las apuestas comerciales que viene en crecimiento por la apertura de mercados internacionales, siendo Colombia el quinto productor y en donde del total sembrado de aguacate, el 38% corresponde a la variedad Hass, de este, el departamento del Cauca produjo 7.853 toneladas en el 2020 (Ver Figura 20) (UPRA 2013), sin embargo en los municipios del Tambo y Timbío, aunque su producción no ha sido constante como lo

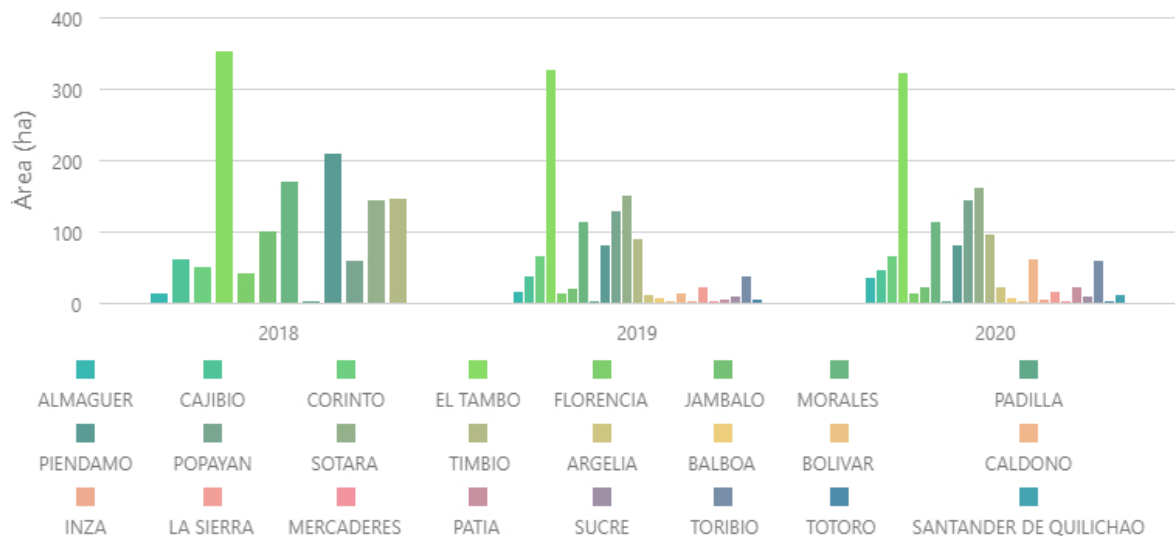
demuestra la Figura 21, para el año 2020 el incremento de producción ha llegado a las 257.000 y 90 toneladas anuales respectivamente (Minagricultura 2020)demostrando un gran interés por parte de los productores debido a las oportunidades en el mercado.

Figura 20. Comparativo de Área y Producción del Departamento del Cauca por Cultivo



Fuente. Ministerio de Agricultura (Minagricultura 2020)

Figura 21. Comparativo del área cultivada por municipio

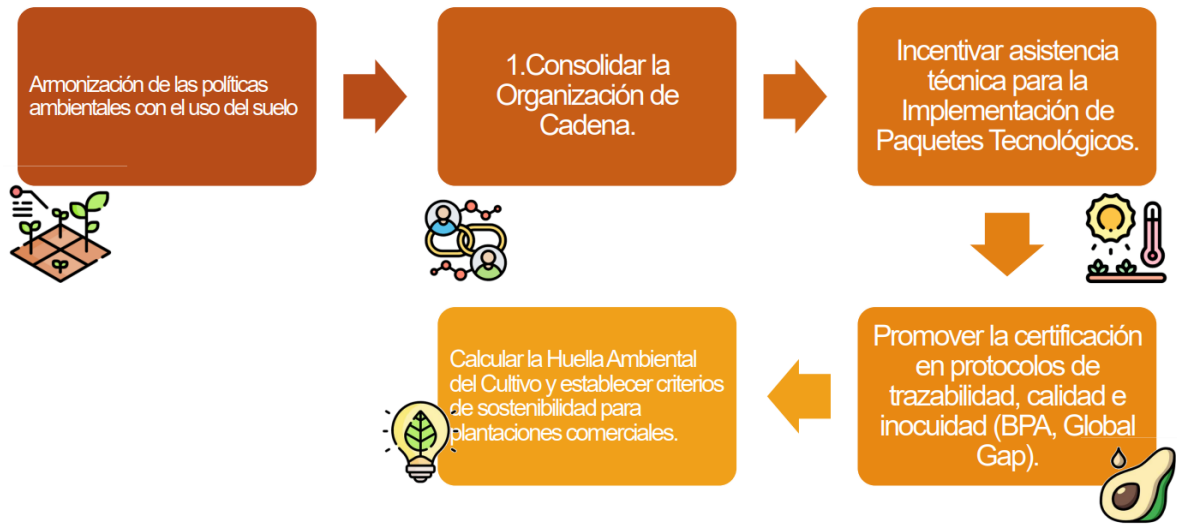


(Minagricultura 2020)

Contexto regional de la cadena productiva de aguacate hass

El Fortalecimiento de la cadena productiva de aguacate Hass en el departamento del Cauca, se está dando por medio de 300 familias productoras de aguacate, 200 familias para establecimiento del cultivo y 100 con el acompañamiento para la certificación global GAP. El Cauca reporta un rendimiento de 5.9 toneladas que es bajo comparado con el rendimiento nacional de aguacate Hass, que oscila entre las 9 y 10 toneladas por hectárea. Por eso, los productores deberán implementar tecnologías y prácticas que les permitirá aumentar su competitividad y cuenten con frutos de exportación. Pese a que el cultivo de aguacate Hass tiene muy buenas expectativas entre la comunidad, el 56 % de esa fruta que se produce en la zona de influencia del centro de acopio en el Cauca. No se puede exportar y queda solo para consumo nacional. Los bajos precios a los que se vende la fruta no certificada en el mercado nacional durante épocas de cosecha, no le permite al productor acceder a asistencia técnica para alcanzar o mantener las certificaciones como productores de fruta de exportación. En la Figura 22, se observa los desafíos del sector aguacatero del departamento del Cauca.

Figura 22. Desafíos del Subsector Aguacatero en el departamento del Cauca



Fuente. (Minagricultura 2020)

La cadena de valor del aguacate está conformada por productores primarios, transformación, comercialización y consumo final. A continuación, se describen cada uno de ellos.

Productores

El eslabón principal de la cadena productiva del aguacate hass en el departamento del Cauca está conformado por pequeños productores y se identificaron diversas asociaciones, el 43% de los productores tienen fincas menores a 2 ha, el 34% tienen entre 2 y 4 ha, el 6% tienen entre 4 y 6 ha y el 17% tienen fincas mayores a 6 ha, de estas fincas, el 86% tienen acceso a agua pública, el 83% tienen acceso a energía y solo el 3% tienen acceso a internet. Respecto a las carreteras, tan sólo el 9% tiene acceso a sus fincas con carreteras bien pavimentadas, el 37% no tiene carreteras pavimentadas, y las que tienen carreteras, están en mal estado. En términos de producción, además de los aguacates, se cultivan otros productos como alternativas de ingresos, siendo los más representativos el café, la piña, el maíz y el frijol. El 37% de los productores cultivan aguacate.

El 37% de los productores siembra árboles de aguacate a una distancia de 7 x 7 m, lo que significa 204 plantas por ha, el 51% siembra entre 200 y 400 árboles por ha y el 11% tiene más de 400 árboles por ha en sus fincas. En cuanto a la edad de los árboles, el 49% de los productores tienen árboles de 2 y 3 años. En cuanto a los costos de plantación, el 66%

afirma haber gastado menos de \$5 millones por hectárea; estos costos difieren ampliamente de los del Sistema de Información de Manejo y Rendimiento (SIOC), ya que para cubrir una hectárea con 258 plantas el valor es de \$10.505.260. Esta discrepancia puede deberse a que la mayoría de los productores se han beneficiado de proyectos financiados por regalías que buscan incentivar el cultivo del aguacate Hass, por lo que en la mayoría de los casos suministran a los productores el insumo vegetal, por lo tanto, los costos que manejan los productores no se ajustan a la realidad, además de que no tienen un adecuado control financiero.

En materia de mantenimiento, los productores manifiestan haber gastado 3 millones de pesos por hectárea, esta cifra también está fuera de la realidad de la SIOC, ya que para una densidad de 285 plantas por hectárea el valor es de 6,7 millones de pesos para el segundo año y 2,4 millones de pesos para el año 3, al igual que para la siembra, los productores no tienen un correcto control de los costos.

Con respecto a la producción, el 60% de los productores están obteniendo rendimientos superiores a las 4 toneladas por hectárea, el 40% refleja cifras inferiores a este valor, esta variación está estrechamente relacionada con la edad del cultivo.

La anterior información fue recolectada y analizada por Rendón (2017) y validada en campo a través de las jornadas agrícolas realizadas por AGROSAVIA en el marco del proyecto "Desarrollo y validación de tecnologías para aumentar la productividad del cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca" donde participan productores, independientes, asociaciones, el ICA, Unicomfacauca y Corpohass.

Figura. Registro fotográfico



Fuente. Autor del proyecto

Acopio y procesamiento

La Gobernación del Cauca, en su afán de exportar aguacate Hass, invirtió \$4.600 millones en la construcción de un centro de almacenamiento y postcosecha ubicado en el municipio de Piendamó, Cauca, con el objetivo de atender a 500 familias productoras de los municipios de Piendamó, Morales, Cajibío, Popayán, Timbío, El Tambo, Sotará y Caldono. La planta cuenta con 1.000 metros cuadrados de producción y administración con capacidad para enviar dos contenedores de aguacate Hass por día a otros países.

La planta fue inaugurada, pero no ha tenido éxito, porque las operaciones no han sido constantes, y aunque las entidades del gobierno proporcionaron la infraestructura, no se logró articular un plan de sostenibilidad para garantizar las operaciones permanentes.

En consecuencia, los productores están obligados a vender sus cosechas a empresas comercializadoras de otros departamentos que normalmente aseguran la cosecha con anticipación, y la pasan recogiendo en las fincas para ser maquiladas en Cali o Medellín.

Comercialización y Consumo

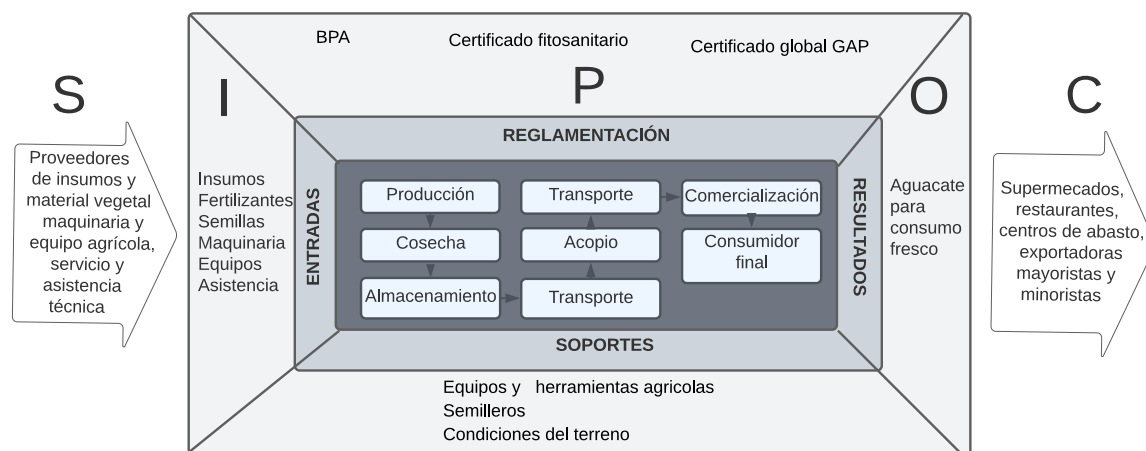
Para la comercialización se evidencia que los productores que tiene registro BPA, venden el aguacate a las comercializadoras, estas se encargan de recoger el fruto en la finca, y lo transportan de noche hasta las plantas maquiladoras, allí lavan, limpian y empaacan el aguacate para enviarlo al puerto. La comercializadora le paga el aguacate al productor a precio nacional, este depende del calibre y peso, un kilogramo de calibre 12 ronda en 6.500 pesos, un kg de calibre 24 vale 3.000 pesos, y a mayor calibre menos precio. También se ha evidenciado que las comercializadoras compran a múltiples fincas, certificadas y no certificadas, es decir que el producto que proviene de las fincas no certificadas, lo hacen pasar por producto procedente de fincas certificadas con BPA. Normalmente las comercializadoras envían técnicos a revisar la finca antes de las cosechas para asegurarse de que esta en el tiempo optimo, así mismo le sugieren al productor técnicas para obtener producto de mejor calidad, a cambio de asegurar un producto con mejor calidad.

3.1.3 Diagrama SIPOC del Aguacate Hass

La herramienta que se utiliza para la caracterización de la cadena productiva del aguacate Hass es el diagrama de SIPOC, sigla que corresponde en inglés a Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas y Clientes). El

SIPOC permitió tener una visión elevada de la cadena de valor del proyecto y su entorno; de esa manera, se puede entender el sistema mediante la identificación de los elementos relevantes (Ver Figura 23)

Figura 23. Diagrama SIPOC



Fuente. Autor del proyecto

3.1.4 Caracterización de los actores

Para caracterizar una cadena de producción es necesario, en primer lugar, conocer en detalle los actores que la componen, así como el tipo de relaciones que existen entre ellos. Este primer paso se logra a través del análisis documental y de la información primaria (producto de la observación directa y de la aplicación de encuestas o entrevistas) recopilada, enmarcada en los siguientes aspectos: niveles de producción, rendimientos, plazo disponible y tasa de desperdicio; volumen de recursos disponibles y requeridos; capacidad; ingresos; costos y gastos (fijos y variables) y utilidades (ganancias o pérdidas). (ver Tabla 5). Cada actor realiza una serie de funciones como la producción, la distribución, la comercialización y la financiación, que se identifican como las actividades del sistema. Dentro de la caracterización habrá variables que desempeñarán el papel de variables de entrada (proporcionan datos iniciales al sistema) y restricciones del sistema como: la tasa de producción, capacidades, precio de venta, costos unitarios, tiempo disponible, entre otras; que proporcionarán los datos iniciales para el modelo y serán los más susceptibles de ser modificados a la hora de generar los escenarios. Las variables de salida, como los beneficios por actor, nos darán las pistas para la construcción del modelo, estableciendo las variables intermedias o de proceso como los ingresos, los gastos y los costes.

Tabla 5. Ejemplo de variables que caracterizan a un actor en una cadena productiva

ASPECTOS GENERAL	VARIABLES/CONSTANTES
Producción, rendimientos y tasas de desperdicio	Volumen Tiempos de ciclo Tasa de producción Rendimiento Tasa de desperdicio Tecnología
Recursos disponibles y requeridos	Mano de obra (directa e indirecta) Materia prima Tiempos requeridos Maquinaria Capital
Capacidad	Capacidad real e instalada Espacio y superficie disponible Otros recursos limitados
Ingresos	Precio de venta Aportes voluntarios Financiación Descuentos Condiciones del mercado
Costos y gastos	Mano de obra directa Materiales directos Costos indirectos de fabricación Gastos operacionales Impuestos Activos
Utilidades	Utilidad bruta Utilidad operacional Utilidad antes de impuestos Utilidad neta Flujos de efectivos

Un modelo puede incorporar aspectos lógicos, matemáticos y estructurales de un proceso. Sólo el conocimiento detallado y la comprensión de los actores permitirán vislumbrar las relaciones entre las variables que lo describen. Por ejemplo, la capacidad real de un

productor tendrá necesariamente la restricción de la producción en el modelo evitando niveles de funcionamiento irreales en el sistema que, en consecuencia, distorsionan los valores de las variables de resultado.

En este paso se establecerán cuáles de las variables definidas por cada actor en el punto anterior, se relacionan con otros actores. Se trata de crear los vínculos en detalle que se mostraron en el diagrama de red global de la cadena. Los datos transferidos entre los actores no serán necesariamente variables de salida; pueden ser variables de proceso como la producción neta, los recursos humanos, las ventas por periodo y los rendimientos (puede haber dos o más variables relacionadas entre los actores). Las relaciones podrían ser simples relaciones directas entre variables, identificando ciclos o retroalimentaciones, en las que las decisiones tomadas sobre las variables de un actor afectarían a otro, que, a su vez, influiría en el actor original. Por ejemplo, un aumento de las cosechas disponibles para la siembra incrementa la producción de frutas y verduras por parte de los productores (si existen las condiciones y los recursos adecuados), que estarían disponibles para los consumidores en mayor proporción en los mercados; si la producción supera la capacidad de los comerciantes, éstos se verían obligados a tomar medidas como la reducción de las compras, lo que se traduciría en una restricción forzada de la producción de los productores.

3.1.5 Relación entre actores

En este paso se establecerá cuáles de las variables definidas por cada actor en el punto anterior están relacionadas con otros actores. Se trata de crear los vínculos en detalle que se mostraron en el diagrama de red global de la cadena. Los datos transferidos entre los actores no serán necesariamente variables de salida; pueden ser variables de proceso como la producción neta, los recursos humanos, las ventas por periodo y los rendimientos (puede haber dos o más variables relacionadas entre los actores). Las relaciones podrían ser simples relaciones directas entre variables, identificando ciclos o retroalimentaciones, en las que las decisiones tomadas sobre las variables de un actor afectarían a otro, que, a su vez, influiría en el actor original. Por ejemplo, un aumento de las cosechas disponibles para la siembra incrementa la producción de frutas y verduras por parte de los productores (si existen las condiciones y los recursos adecuados), que estarían disponibles para los consumidores en mayor proporción en los mercados; si la producción supera la capacidad

de los comerciantes, éstos se verían obligados a tomar medidas como la reducción de las compras, lo que se traduciría en una restricción forzada de la producción de los productores.

3.1.6 Características generales de la cadena

La cadena de producción del aguacate Hass se compone de una serie de etapas que conforman el proceso de transformación desde el cultivo hasta el consumo del aguacate Hass: Producción, verificando que el proceso cumpla con los requisitos de seguridad y fitosanitarios y las leyes locales de seguridad alimentaria, cosecha, empaque, transporte, centro de distribución y puntos de venta: tiendas/establecimientos. En el Figura 27 se presenta un resumen del proceso de transformación y los agentes involucrados en cada etapa

3.1.7 Normatividad de los procesos de producción y comercialización

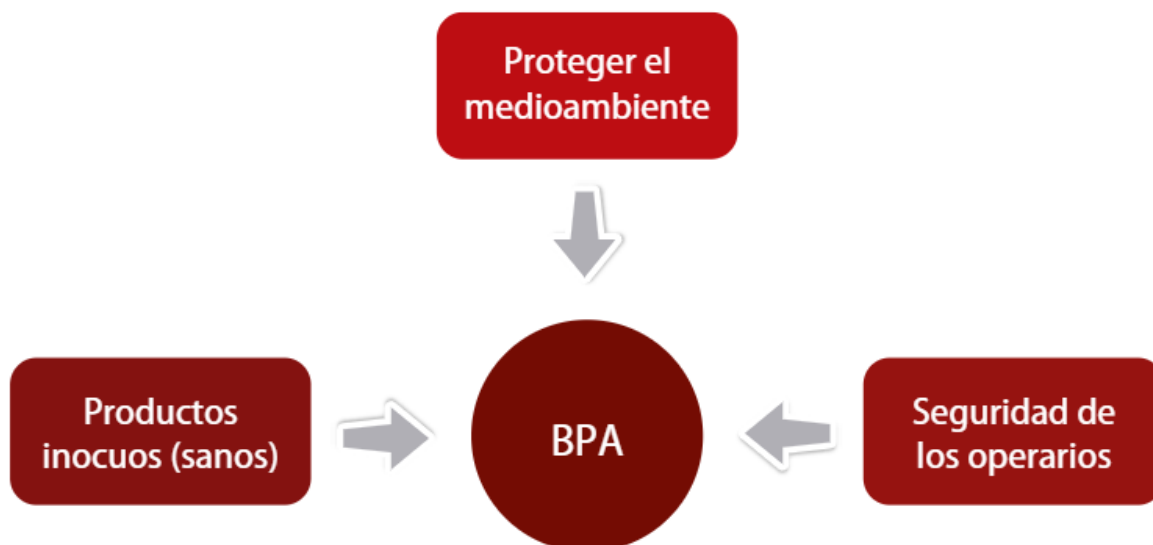
En los últimos cinco años, la dinámica comercial de la cadena de producción de aguacate ha cambiado, aumentando su exportación en un 48%, lo que ha permitido a Colombia conquistar los mercados internacionales insatisfechos (García, Hurtado-Salazar, and Ceballos-Aguirre 2021). Uno de los desafíos del Subsector Aguacatero es promover la certificación en protocolos de trazabilidad, calidad e inocuidad (BPA,GlobalGap) (Minagricultura 2020). El componente de calidad e inocuidad es un factor clave que deben cumplir las empresas que producen y procesan alimentos, las cuales enfrentan retos de salud pública, especialmente por la escasa implementación de protocolos para mitigar el riesgo de contaminación de los productos. Los retos a los que se enfrentan las empresas en materia de calidad y seguridad se ponen de manifiesto en las exigencias de los compradores internacionales de productos agrícolas, que exigen a sus proveedores que demuestren el cumplimiento de normas que garanticen su calidad y seguridad (Rebolledo and Romero 2011). En esta sesión se identifican algunas de las certificaciones más relevantes y su importancia.

3.1.8 Buenas prácticas Agrícolas

Las Buenas prácticas Agrícolas (BPA) van desde la siembra del cultivo hasta la cosecha de los productos con el fin que todos los predios productores de frutas y hortalizas del país estén certificados y de esta manera se asegure la inocuidad alimentaria, mediante la prevención de los riesgos asociados a la producción primaria (Ver Figura 24). Además la implementación de las BPA en los predios de producción se busca obtener productos

inocuos y de alta calidad que permita a los productores ingresar con mejores precios a los mercados especializados tanto nacionales como internacionales (ICA 2022).

Figura 24. Pilares de las buenas prácticas agrícolas (BPA)



Fuente. (Alonso et al. 2020)

En Colombia, la implementación de las BPA aún no es obligatoria, sino que se considera una actividad voluntaria; sin embargo, los productores que pretendan exportar a la Unión Europea, Canadá, Estados Unidos o, en general, a cualquier país desarrollado, deben tener en cuenta que estos países exigen que los productos que ingresan a estos mercados tengan algún tipo de garantía de inocuidad. (Secilio 2005). El cumplimiento de estas condiciones se demuestra con certificaciones emitidas por organismos nacionales o internacionales respecto a las normas en cuestión, como el Decreto 30021 de 2017 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Norma Técnica Colombiana NTC 5400 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas [Icontec], 2005) o la norma internacional GlobalGap.

La aplicación de las BPA en los sistemas de producción agrícola contribuye, en general, a que el agricultor sea consciente de cómo y qué está haciendo en su explotación para mejorar los rendimientos y producir de forma segura. La aplicación de las BPA en los huertos agrícolas es, hoy en día, un componente de competitividad que permite a los

agricultores generar beneficios económicos, sociales, medioambientales y sanitarios (de seguridad), como los siguientes (FAO 2012):

- Obtención de un producto diferenciado por sus condiciones inocuas.
- Un menor índice de rechazo de las frutas en los diferentes mercados, porque se asegura la calidad e inocuidad de estas.
- Control detallado del proceso productivo (trazabilidad), a través de los registros exigidos por la norma.
- Reducción de riesgos en la toma de decisiones, como consecuencia de una mejor gestión de la finca en términos productivos y económicos (administración y control de personal, insumos e instalaciones).
- Aumento de la competitividad por la reducción de costos (mejor utilización de insumos y tiempo de trabajo).
- Posibilidad de exportar a mercados internacionales.
- Mejoramiento de la calidad de vida de los trabajadores.
- Capital humano capacitado: uso razonable de agroquímicos, mejores condiciones de higiene personal, primeros auxilios y prácticas de higiene, entre otros.
- Sostenibilidad del medioambiente: cuidado del agua, suelo, fauna y flora
- Reducción del uso de plaguicidas de diferentes grados de toxicidad.

Implementación de las BPA en Aguacate Hass

Para la implementación de las BPA en un cultivo de aguacate, los productores deben tener en cuenta una serie de características y condiciones básicas de la finca relacionadas con el sistema de producción, que forman parte de la planificación del establecimiento del cultivo. Entre los factores relacionados con la planificación del cultivo, se recomienda considerar al menos los siguientes:

- Topografía del predio (plano, ondulado, pendiente).
- Tipo de suelo (arenoso, arcilloso, franco).
- Condiciones climáticas de la zona (temperatura, precipitación, humedad relativa y brillo solar).
- Antecedentes del lote (inundaciones, erosión y aplicación de agroquímicos).
- Abastecimiento de agua (nacimientos, pozo, quebrada y acueducto)
- Elaboración y diseño de un mapa de la unidad productiva.

Puntos de control para la implementación de las BPA

Los siguientes apartados describen los puntos básicos que se requieren para obtener la certificación BPA. Cada finca de aguacates debe contar con diferentes espacios e instalaciones que faciliten la aplicación de las BPA. Para ello, se pueden realizar adaptaciones o reformas en algunos lugares de la finca, dependiendo de los recursos de cada productor, para cumplir con los requisitos. También es importante que estos lugares estén debidamente identificados, organizados y de acuerdo con los planes de limpieza e higiene. A continuación, se describe cada una de estas áreas.

Unidad sanitaria y de aseo

Estas unidades deben estar construidas con materiales de fácil limpieza y con sistemas adecuados de evacuación de aguas residuales. Las unidades deben estar situadas a una distancia mínima de 100 m de las fuentes de agua y a más de 15 m de donde se manipulen o almacenen productos agrícolas. También deben contar con carteles de identificación, señalización e indicaciones gráficas sobre el procedimiento correcto de lavado de manos. (ICA, 2017) (Ver Figura 25). Si no es posible construir aseos e instalaciones para lavarse las manos en los campos, los operadores pueden utilizar las propias instalaciones de la explotación, siempre que cumplan las normas de limpieza e higiene.

Figura 25. Unidad sanitaria y de aseo



Fuente. (Alonso et al. 2020).

Área de almacenamiento de insumos agrícolas

Para este fin, se puede destinar un espacio de la finca que esté retirado de la vivienda y que sea preferiblemente resistente al fuego (no es necesario construir una bodega). Además de estar destinado exclusivamente al almacenamiento de agroquímicos, es importante que este lugar permanezca organizado, que su construcción permite hacer aseo fácilmente y que se encuentre bien señalizado (Ver Figura 26).

Figura 26. Área de almacenamiento de insumos agrícolas



(Alonso et al. 2020).

Área de almacenamiento de utensilios, equipos y herramientas

En todas las explotaciones de producción agrícola se utilizan diferentes equipos y elementos, como aspersores, tijeras, machetes, guadañas, cubos, azadas, palas, rastrillos, cestas, mangueras, etc. Estos elementos deben lavarse en un lugar independiente después de cada uso en el campo y, una vez lavados, deben colocarse en la zona designada. Allí deben ser desechados de forma ordenada, y este lugar debe permanecer limpio, ordenado y señalizado (Alonso et al. 2020) (Ver Figura 27)

Figura 27. Área destinada a guardar herramientas y equipos



Fuente. (Alonso et al. 2020).

Área de dosificación y preparación de mezclas

Se trata de una zona destinada exclusivamente a la preparación de los productos agroquímicos que se aplicarán al cultivo, por lo que debe contar con suministro de agua, estar alejada de la vivienda y de las fuentes de agua y estar debidamente señalizada (Ver Figura 28).

Figura 28. Área de dosificación y preparación de mezclas



Fuente. (Alonso et al. 2020).

Área de vertimiento de aguas sobrantes

Debe ser una zona no productiva de la explotación (alejada de las fuentes de agua) donde se depositan los restos de las mezclas de aplicación de plaguicidas. El agua resultante del lavado de los equipos de aplicación y protección también debe ser vertida allí. Este lugar debe estar adecuadamente equipado con carbón activado, grava y arena (Ver Figura 29)

Figura 29. Área de vertimiento de aguas sobrantes (barbecho)



Fuente. (Alonso et al. 2020).

Área de postcosecha

En esta área se realiza el lavado, la clasificación, el empaque, el encerado y el almacenamiento de los frutos cosechados, por lo que debe cumplir con algunas características de diseño que facilitan la limpieza y desinfección, con el fin de evitar la entrada de plagas y proteger los frutos de daños físicos y contaminación. Esta zona debe incluirse en el plan de higiene y mantenimiento de las instalaciones (Ver Figura 30).

Figura 30. Área de poscosecha



Fuente. (Alonso et al. 2020).

Área para consumo de alimentos y descanso

Este es un lugar independiente, en el que los trabajadores pueden tomar sus alimentos y descansar (Ver Figura 31), por tanto, debe permanecer limpio y ordenado, con canecas para la disposición de basuras. Se recomienda contar con un espacio para que los trabajadores puedan guardar sus elementos personales, es importante que el personal sienta que se le brindan condiciones óptimas que facilitan su desempeño laboral.

Figura 31. Instalaciones para el bienestar de los trabajadores



Fuente. (Alonso et al. 2020).

Área para la disposición de residuos

En esta área se ubican recipientes debidamente marcados, para depositar allí materiales plásticos, metal, vidrio y residuos peligrosos que provengan de las diferentes actividades de la finca. Esto permitirá hacer una correcta clasificación de los desechos, lo que conlleva la conservación y protección del medioambiente (Ver Figura 32).

Figura 32. Recipientes debidamente marcados y protegidos



Fuente. (Alonso et al. 2020).

3.1.9 Global Gap

Con sus siglas en inglés Good Agricultural Practices (Buenas Prácticas Agropecuarias). Es un organismo privado que establece normas voluntarias a través de las cuales se puede certificar productos agrícolas en todas partes del mundo. Es una norma a nivel de la explotación que abarca todo el proceso de producción del producto certificado, desde el primer momento (como pueden ser piensos compuestos o plantas de vivero) y todas las actividades agropecuarias subsiguientes, hasta el momento en que el producto es retirado de la explotación. Esta es una herramienta para la relación entre empresas, por tanto, no siempre está directamente visible para el consumidor. Esta norma única integra en un formato modular los diferentes grupos de productos, producción de plantas, ganado y producción vegetal (Henson, Masakure, and Cranfield 2011). Esta norma se está implantando como obligatoria, ya que la mayoría de los distribuidores europeos la exigen ahora, para demostrar que se siguen las buenas prácticas en el sector agroalimentario (Humphrey 2008).

Para la certificación GLOBAL GAP, la palabra “productor(es)” se refiere a las personas (individuos) o las empresas (compañías, productor individual o grupo de productores) que son responsables legalmente de los procesos de producción y de los productos en el ámbito correspondiente, vendidos por esas personas o empresas. La palabra “productor(es)” se usa también en este Reglamento General para describir a las empresas de transporte de ganado y los fabricantes de alimentos para animales.

Los productores pueden solicitar la certificación siguiendo cualquiera de estas 2 opciones (certificación GLOBAL GAP, individual o en grupo, o bajo un esquema homologado). Estas opciones están basadas en el tipo de entidad legal que solicita la certificación (FINAGRO 2020).

Opción 1 – Certificación Individual

- Un productor individual solicita la certificación (GLOBAL GAP o a un esquema homologado).
- Una vez obtenida la certificación, el productor individual es el titular del certificado.

Opción 1 – Productor con Múltiples Sitios de Producción (Productor Multisitio) sin SGC

- Un productor individual o una organización que posee varios sitios de producción que no funcionan como entidades legales separadas.

Opción 1 – Productor con Múltiples Sitios de Producción (Productor Multisitio) con SGC

- Un productor individual o una organización que posee varios sitios de producción que no funcionan como entidades legales separadas, pero donde se ha implantado un SGC.
- En este caso se deberán aplicar las reglas del ‘Reglamento General Parte II – Reglas del Sistema de Gestión de Calidad’.

Opción 2

- Un grupo de productores solicita la certificación como grupo (GLOBALG.A.P. o a un esquema homologado).
- Dicho grupo, como entidad legal, es el titular del certificado una vez obtenida la certificación.
- El grupo deberá haber implantado un SGC y cumplir con las reglas que establece el ‘Reglamento General Parte II – Reglas del Sistema de Gestión de Calidad’.

3.2 FASE 2: Diseño del modelo de simulación de la cadena productiva

En la siguiente sección se presenta la construcción del modelo de simulación dinámica, el objetivo es poder replicar una finca genérica que represente el comportamiento productivo de los pequeños productores de aguacate Hass en el departamento del Cauca, a continuación, se presentan algunas generalidades.

Tamaño de la finca: El modelo se evaluó con un tamaño de un tamaño de finca de 4 hectáreas, esto porque previo al análisis dinámico se realizó un estudio de viabilidad financiera, y los resultados arrojaron que el aguacate es rentable a partir de 4 hectáreas sembradas, en análisis financiero se lo recreo en el modelo dinámico.

Demanda: Según Magaña y David (2020) se provee que el crecimiento de la demanda tendrá una tasa de crecimiento del 5% hasta el 2025, por lo tanto, se asume que todo lo que se produce se vende, a excepción de los frutos que no cumplen con el criterio de calidad que exige el mercado, por eso el modelo considera una tasa de mermas.

Horizonte de tiempo: El estudio se lo abordó con un horizonte de tiempo de 13 años, según los expertos a partir de esta edad los árboles se consideran adultos, es decir que estabilizan su tasa productiva.

A continuación, se hace una descripción de las variables más representativas del modelo.

3.2.1 Variables

En la Tabla 6 se describe cada una de las variables que intervienen en el sistema.

Tabla 6. Variables del modelo causal

Variables	Descripción
Programas de mejoramiento	Los programas de mejoramiento hacen referencia a la implementación de todas las técnicas que son útiles en la agricultura para mejorar la productividad del cultivo, estas pueden ser, mejoramiento del sistema de riego, control fitosanitario, implementación de planes de fertilización, injertación entre otras.
Apoyo gubernamental	El apoyo gubernamental se refiere a todos las contribuciones que le puede hacer el estado con dineros públicos para incentivar la producción, estos apoyos pueden estar reflejados

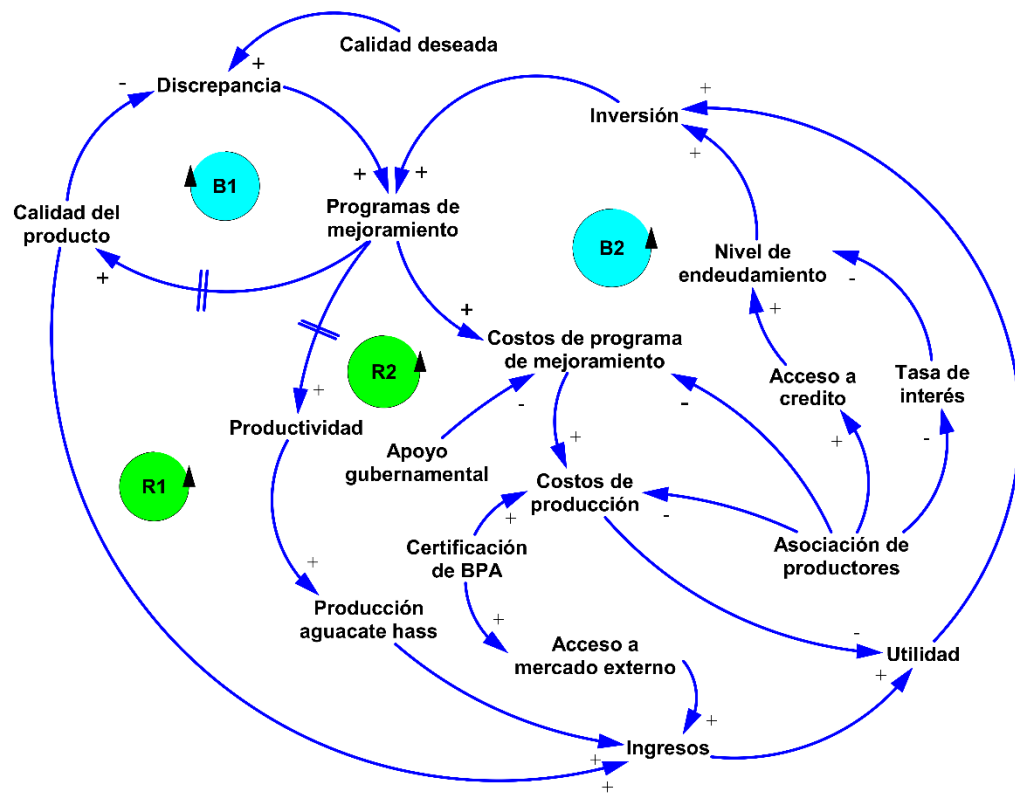
	en el suministro de insumos, equipos, material vegetal, acompañamiento técnico, capacitaciones y demás a pequeños productores.
Acceso al crédito	Se refiere a la inclusión financiera de pequeños productores rurales.
Tasa de interés	Se refiere al cobro que realizan las entidades bancarias por prestar dinero, dado el caso de que los pequeños productores puedan acceder a crédito.
Productividad	Es la relación entre los recursos empleados (tierra, mano de obra, insumos) y los kilogramos de aguacate cosechado por hectárea.
Producción Aguacate Hass	Son las toneladas por hectárea que se obtienen del cultivo por cada año.
Calidad Aguacate Hass	En el modelo se consideran la tasa de frutos con calidad exportación, y para el mercado nacional se consideran frutos de primera clase y segunda clase, estos se agrupan de acuerdo con el calibre del aguacate.
Ingresos	Son los ingresos en dinero que obtienen los productores por kg vendido.
Utilidad	Son las ganancias obtenidas por las ventas, descontando todos los costos.
Costos	Es la cantidad de dinero que el productor dedica para obtener la producción.
Asociación de productores	Son organizaciones creadas por pequeños productores para producir y comercializar aguacate Hass.
Costo de programa de mejoramiento	Es la cantidad de dinero que el productor necesita para mejorar la productividad del cultivo.
Reinversión	Es la cantidad de dinero que el productor dispone de su utilidad para reinvertir en los programas de mejoramiento.

Fuente. Autor del proyecto

3.2.2 Diagrama causal del modelo de dinámica de sistemas

La Figura 33 muestra el diagrama causal de la cadena productiva del aguacate Hass; la relación causa-efecto se puede ver a través de las flechas azules. Cuando estas son positivas (+), indican que un cambio en la variable de origen provoca un cambio en la misma dirección en la variable de llegada, en las mismas condiciones; son negativas (-) si el cambio en la variable de llegada es el opuesto al cambio en la variable de origen. Estas relaciones crean bucles de retroalimentación, de refuerzo (R) o de balance (B). Las pequeñas líneas paralelas que atraviesan las flechas representan retrasos.

Figura 33. Diagrama causal general

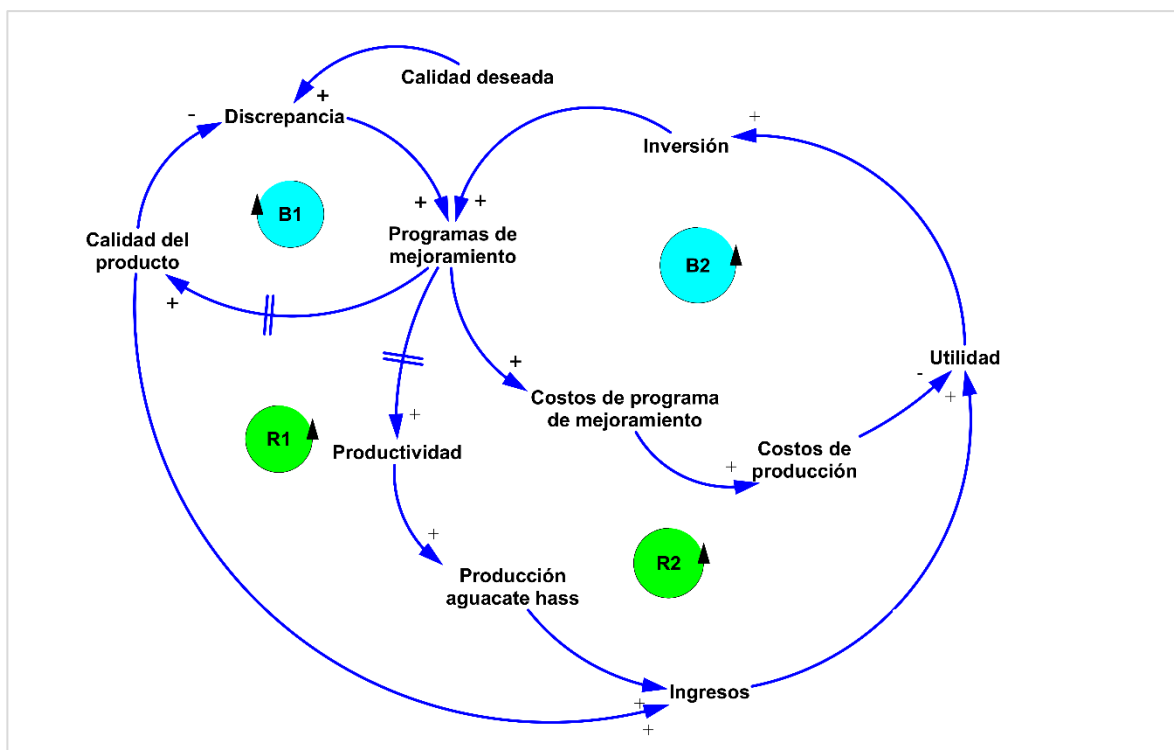


Fuente. Autor del proyecto.

3.2.3 Bucles de realimentación

La figura 34 muestra dos bucles de refuerzo, señalados con la letra "R", R1: bucle de aumento de la calidad de la fruta, R2: bucle de aumento de la productividad. En cuanto al límite de este sistema, el diagrama presenta 2 bucles de compensación o equilibrio, denotados con la letra "B", B1: bucle regulador de los programas de mejoramiento, y B2: bucle regulador de la inversión.

Figura 34. Bucles de realimentación del modelo



Fuente. Autor del proyecto

Los bucles R1 y R2, se presentan debido a que el productor recolecta su cosecha y vende al precio dado por el mercado, el precio depende de las calidades del fruto, y estas a su vez dependen del calibre, es decir que dependiendo del rendimiento productivo y de la calidad así mismo serán los ingresos, pero los ingresos aún no son utilidad, porque recordemos que se deben sacar de los ingresos dinero para pagar los costos de producción, al final le debería quedar una utilidad al productor, donde debe decidir en qué gastar, el productor le da prioridad a los gastos familiares, y si sobra tal vez los ocupe para reinvertir en programas de mejoramiento que le ayuden al cultivo a mejorar la calidad (mayor tamaño por fruto) y productividad (mayores toneladas cosechadas por hectárea), para la próxima cosecha y es así como se arma y funciona el bucle de realimentación.

Los retardos también son una de las características fundamentales de los modelos dinámicos, en el cultivo el retardo se da desde que se hace la implementación de los programas de mejoramiento, hasta que estos hacen efecto sobre la cosecha por ejemplo, si se implementa un control de fertilización, tiene que pasar un tiempo desde que se aplica

el abono hasta que la mata toma los nutrientes los procesa y produce mejores frutos, es por eso que en el diagrama causal se generan 2 retrasos, el uno está entre la implementación de programas de mejoramiento y la calidad, y entre programas de mejoramiento y la productividad.

Asimismo, el crecimiento de estos bucles está limitado por el bucle denotado B1 o regulador de los programas de mejora, que actúa en función de la discrepancia que exista entre la calidad deseada y la actual, a mayor discrepancia más programas de mejora hasta alcanzar la calidad deseada, que lógicamente para los pequeños productores sería lograr que el 100% de la fruta se produjera en óptimas condiciones para la exportación.

Por último, se explica el bucle B2, que también actúa sobre los programas de mejoramiento, la cual quiere decir que, a mayor inversión en programas de mejoramiento, más van a ser los costos de producción, este comportamiento impacta negativamente las utilidades, asumiendo que la reinversión la haga el mismo productor.

3.2.4 Diagrama de Forrester

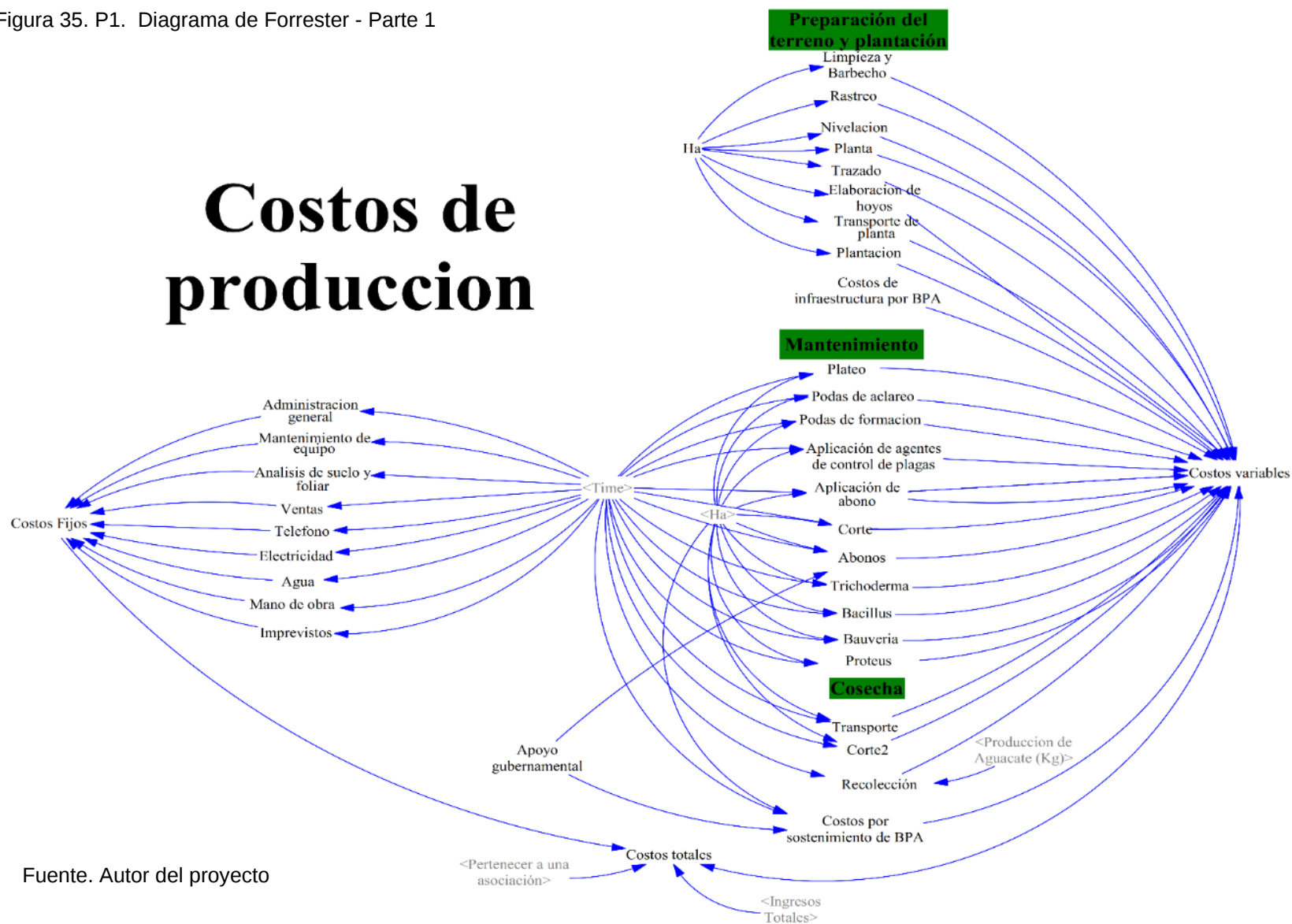
El diagrama de Forrester, es el resultado del entendimiento del sistema de producción del aguacate Hass el cual es representado por las variables y parámetros involucrados en dicho sistema. El diagrama de Forrester se lo estructuro en 2 partes, el primer parte se muestra en la figura 35-p₁, allí se dejan declarado todos los costos de producción y administración, el objetivo de estructurar el modelo el comportamiento de cada uno de los costos en función del tamaño de la finca en hectáreas, en la segunda parte de organiza las variables de flujo y de nivel de acuerdo a la relación entre las mismas.

3.2.5 Ecuaciones del modelo de Forrester

La relación entre las variables auxiliares, de flujo y nivel se represente mediante ecuaciones, el resultado de la interacción entre las mismas debe responder al efecto causal. La suma de las variables de nivel, parámetros y variables axilares es de 105, por ser tan numerosas, las ecuaciones se dejan en el anexo 1.

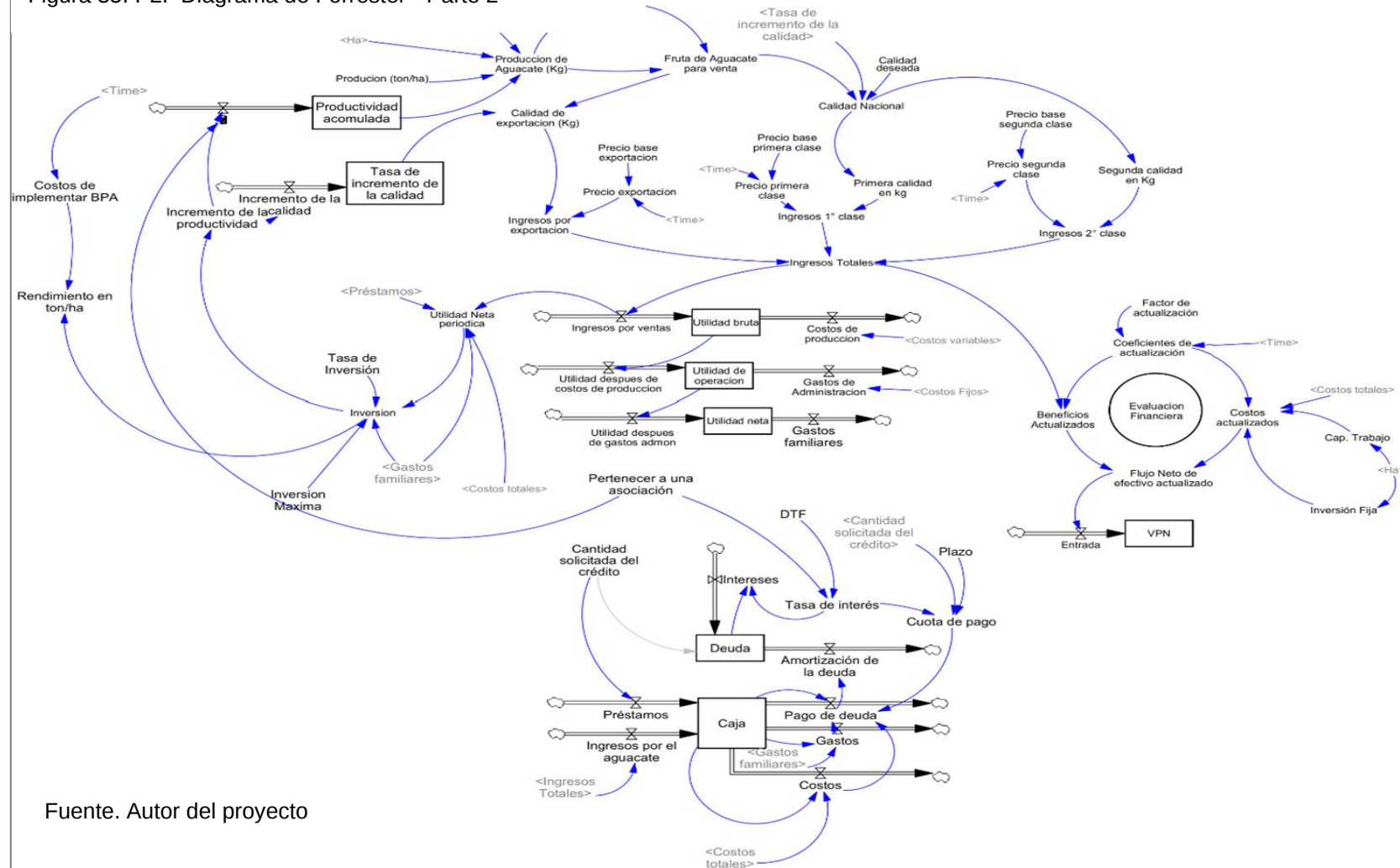
Figura 35. P1. Diagrama de Forrester - Parte 1

Costos de produccion



Fuente. Autor del proyecto

Figura 35. P2. Diagrama de Forrester - Parte 2



Fuente. Autor del proyecto

3.3 FASE 3: Evaluación de las políticas de apoyo (Simulación de escenarios)

En esta sección se describen las políticas que fueron consideradas para su evaluación en los escenarios de simulación. La definición de estas políticas se basó en una revisión de la literatura sobre el tema y en casos exitosos de otras regiones nacionales e internacionales, donde se demuestra que la implementación de estas políticas mejora la competitividad.

En esta sección solo se dejan planteadas las políticas, en el siguiente capítulo de resultados y análisis se describe parte de la simulación y en específico los resultados gráficos, estos se presentan mediante escenarios, es decir un escenario por cada política.

3.3.1 Acceso al crédito

El crédito agropecuario se otorga para ser utilizado en todo el país, en los diferentes eslabones de las cadenas productivas, agropecuarias y rurales, así como en los servicios de apoyo y complementarios relacionados. Por ejemplo, el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario es una entidad que promueve el desarrollo del sector rural colombiano, con instrumentos de financiación y desarrollo rural, estimulando la inversión. Es una sociedad de economía mixta del orden nacional, organizada como establecimiento de crédito de régimen especial, vinculada al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y supervisada por la Superintendencia Financiera de Colombia. FINAGRO actúa como entidad de segundo piso, es decir, otorga fondos a las instituciones financieras en condiciones concesionales para que éstas a su vez otorguen créditos para proyectos productivos (Hoyos and Herrera, 2020)(Ver Figura 36).

Figura 36. Solicitud de crédito agropecuario



Fuente. (FINAGRO 2022)

Por otra parte, para el año 2022 se ha establecido unas condiciones financieras para otorgar créditos agropecuarios, beneficiando a las asociaciones con una tasa de interés indexada con Depósito Interno Fijo (DTF) + 5% E.A. en comparación con pequeños productores, con una tasa indexada con DTF + 7% E.A (Ver Figura 37).

Figura 37. Condiciones financieras vigentes año 2020

Tipo de Productor	Activos (\$)	Monto máx. de crédito	Tasa indexada a DTF		Tasa indexada a IBR	
			Tasa de redescuento	Tasa de interés	Tasa de redescuento	Tasa de interés
Pequeño	Hasta 284 smmlv Hasta \$284.000.000	Hasta \$198.800.000	DTF - 2,5% (e.a.)	Hasta DTF +7% (e.a.)	IBR (nominal) - 2,6%)	Hasta IBR (nominal) + 6,7%
Joven rural	Hasta \$198.800.000			Hasta DTF +5% (e.a.)		Hasta IBR (nominal) + 4,8%
Mujer rural						
Comunidades negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras	Se clasifica en Pequeño, Mediano o Gran Productor según el monto total de activos aplicable para cada uno.	Cuando se clasifique como Pequeño Productor: \$198.800.000 , para Mediano y Gran productor no existe monto de crédito máximo	DTF - 2,5% (e.a.)	Hasta DTF +7% (e.a.)	IBR (nominal) - 2,6%)	Hasta IBR (nominal) + 6,7%
Mediano	Activos totales con valor equivalente hasta 5.000 smmlv, \$5.000.000.000		DTF + 1% (e.a.)	Hasta DTF + 10% (e.a.)	IBR (nominal) + 0,9%)	Hasta IBR (nominal) + 9,5%
Grande	Activos totales con valor superior a 5.000 smmlv, \$5.000.000.000		DTF + 2% (e.a.)		IBR (nominal) + 1,9%)	
Esquemas asociativos y de integración			DTF - 3,5% (e.a.)	Hasta DTF + 5% (e.a.)	IBR (nominal) - 3,5%)	Hasta IBR (nominal) + 4,8%
Crédito individual vinculado a esquema asociativo			DTF - 3,5% (e.a.)	Hasta DTF + 5% (e.a.)	IBR (nominal) - 3,5%)	Hasta IBR (nominal) + 4,8%
Esquema de integración			DTF - 1% (e.a.)	Hasta DTF + 7% (e.a.)	IBR (nominal) - 1,1%)	Hasta IBR (nominal) + 6,7%
Población calificada como víctima	Se clasifica en Pequeño, Mediano o Gran Productor según el monto total de activos aplicable para cada uno.	Cuando se clasifique como Pequeño Productor: \$198.800.000 , para Mediano y Gran productor no existe monto de crédito máximo	DTF - 3,5% (e.a.)	Hasta DTF + 2% (e.a.)	IBR (nominal) - 3,5%)	Hasta IBR (nominal) + 1,9%
Población desmovilizada, reinsertada, reincorporada, y población vinculada al PNIS	Se clasifica en Pequeño, Mediano o Gran Productor según el monto total de activos aplicable para cada uno.	Cuando se clasifique como Pequeño Productor: \$198.800.000 , para Mediano y Gran productor no existe monto de crédito máximo	DTF - 3,5% (e.a.)	Hasta DTF + 2% (e.a.)	IBR (nominal) - 3,5%)	Hasta IBR (nominal) + 1,9%

Fuente. (FINAGRO 2020)

Pese a las dificultades generadas por la contingencia de Covid-19 durante el año 2020, el Banco Agrario presentó un balance positivo que se refleja en un alza de 24,7% en los créditos a los pequeños y medianos productores del sector agropecuario, frente al año 2019. Desde el 16 de diciembre, los créditos para los pequeños productores aumentaron de \$1,78 billones en 2019 a \$2,17 billones en 2020, lo que representa una variación del 22%, y a los medianos productores los montos desembolsados pasaron de \$790.000 millones a \$1,02 billones, aumentando un 29,3%. Igualmente, en la colocación de créditos para todo el sector agropecuario, la entidad registró un incremento del 17%, con desembolsos a los empresarios rurales por \$4,17 billones, siendo que en el mismo periodo del año anterior esta cifra llegó a \$3,57 billones (Rincon Gomez, 2021).

El aumento de los recursos destinados al sector agropecuario y rural, apalancados con crédito, y los incentivos y alivios financieros del Gobierno nacional, permitieron que el aporte del sector a la economía presentará un crecimiento positivo del 2,8 %. Si bien, el sector agropecuario aporta, en promedio, 7 % al PIB total, al considerar el aporte de la agroindustria, la participación ampliada del sector alcanza el 11 % en promedio desde 2015 (\$108 billones). Sin duda, las dinámicas generadas por la agroindustria favorecen la generación de ingresos, mediante el incremento de la demanda de materias primas del sector primario, así como el aumento de las exportaciones, la sustitución de importaciones y la creación de empleo (FINAGRO 2020).

Este incremento de los recursos asignados al sector agropecuario y rural, apoyado en el crédito, y los estímulos y alivios financieros del Gobierno Nacional, permitieron que el sector tuviera un desempeño positivo en su aporte a la actividad económica de 2,8%. No obstante que el sector agropecuario contribuye, en promedio, con el 7 % del PIB total, al considerar el aporte de la agroindustria, la participación ampliada del sector alcanza el 11 % en promedio desde 2015 (\$108 mil millones). Indudablemente, la dinámica generada por el agro negocio favorece la obtención de ingresos, al incrementar la demanda de sus materias primas por parte del sector productivo, así como el crecimiento de las exportaciones, la sustitución de importaciones y la generación de empleo (FINAGRO 2020).

Para este año, el Ministerio de Agricultura dispuso de 114.500 millones de dólares para créditos a tasas de interés subsidiadas, que benefician especialmente a los pequeños y medianos productores. El Gobierno Nacional busca fomentar las inversiones en el campo por más de 1.200 millones de dólares. Cerca de 60 mil productores podrán ser beneficiarios de esta medida.

Un caso de éxito es el de Angélica Giraldo, productora de maíz en el municipio de La Unión (Valle del Cauca). Ella fue beneficiaria del Banco Agrario de Colombia por un crédito a través de la Línea Especial de Crédito (LEC) de Agricultura por Contrato, con el que obtuvo los recursos para cultivar su cosecha de maíz blanco, que previamente había negociado con Agro insumos, una empresa especializada en la comercialización de granos: "Solicitamos el préstamo para 14 hectáreas y esperábamos una producción de más o menos 9,5 a 10 toneladas por hectárea. En nombre de la empresa que nos compró y de mi familia, agradezco esta Ley de Crédito que el Ministerio de Agricultura, a través del Banco Agrario, nos brindó a quienes cultivamos la tierra. Es un beneficio muy bueno para

nosotros, nos da un buen flujo de caja para poder hacer el trabajo adecuado en el tiempo" (Agricultura 2022).

Esta contextualización evidencia que el problema no es la dificultad para el acceso al crédito, el contexto indica que más bien son los productores que no se arriesgan a optar por estas alternativas, tal vez por desconocimiento, o por ignorancia financiera. En el análisis de resultados se recrea una finca de 4 hectáreas de aguacate Hass que actualmente tiene bajos rendimientos en toneladas por hectárea, la simulación nos dirá si el productor es capaz de responder con la deuda, pagar los intereses y además obtener mejores utilidades, se plantea la siguiente hipótesis dinámica

3.3.2 Asociatividad

Varios documentos resaltan la importancia de la asociatividad y la integración entre los actores de un mismo eslabón y de diferentes eslabones, para lograr el encadenamiento productivo en el sector frutícola y hortícola, como concepto elemental para diversificar y consolidar la oferta de productos exportables y aumentar su distribución, donde la tarea de las entidades estatales es evidente y donde se deben orientar los esfuerzos para cumplir con las metas propuestas en la consolidación de la cadena productiva. (Ferrando Perea 2015)

La necesidad de que los productores se asocien surgió como respuesta a las condiciones de los mercados de bienes y servicios, donde la competencia ya no es solamente interna como consecuencia de la política de libre comercio, que permite la entrada de productos de diferentes países con beneficios arancelarios que ponen en riesgo la competitividad de los productores nacionales. Así, las estructuras asociativas son una forma de enfrentar conjuntamente la competencia con estrategias de precios, negociaciones grupales y capacidad de oferta. (Cerón et al. 2009).

Una de las fórmulas planteadas para impulsar la competitividad y vincular a los productores con el mercado es promover y mejorar el funcionamiento de las organizaciones de productores agrícolas (OPA). Estas son agrupaciones de productores con intereses comunes que, a partir de la acción conjunta, se proponen alcanzar objetivos relacionados con su actividad productiva, el más común de los cuales es la comercialización de sus productos. Cuando los productores actúan de una forma individual, cada uno asume los costos de la comercialización, por lo que uno de los beneficios más inmediatos y destacados

de la centralización de actividades a través de la OPA es la creación de economías de escala en la comercialización, que permiten contrarrestar el poder de mercado (Argüello and Poveda 2013).

La información del último Censo Nacional Agropecuario mostró que de los 2 millones de unidades de producción agropecuaria (UPA) que hay en Colombia, cerca de 200 mil (9,8%) pertenecen a una cooperativa, organización de productores o gremios. De ellas, el 43% son pequeños productores potenciales porque sus tierras tienen menos de 2 hectáreas. Sin embargo, esta distribución no es particular de las UPA asociadas, sino que refleja una tendencia nacional, ya que el 53% de todas las UPA tienen menos de 2 ha y el 39% tienen menos de 1 ha. De los 5.1 millones de personas registradas por la CNA, alrededor de 1.5 millones viven en hogares de pequeños productores potenciales que, como se mencionó anteriormente, enfrentan más obstáculos para desarrollar su actividad productiva y/u obtener ingresos suficientes de la misma. También se ha documentado que la obtención de la mayor parte de los ingresos del hogar a partir de la producción agrícola propia ha sido sistemáticamente un factor diferenciador para los hogares rurales de menores ingresos en el país (Argüello and Poveda, 2013).

Con respecto a la caracterización para el agro cadena del aguacate, se encontraron datos de encuestas realizadas a 16 organizaciones productivas de un total de 278 seleccionadas en la muestra. De las 16 organizaciones encuestadas, el 81% corresponden a la clasificación por Asociación, el 12% a empresa y el 6% a Grupo asociativo. En este sentido, se puede observar que el tipo de organización más atractiva para los productores es la de Asociación, debido al enfoque de carácter asociativo y sin ánimo de lucro. Las organizaciones que pertenecen a la agro cadena del aguacate cuentan con un total de 508 asociados, de los cuales 429 se encuentran activos; es decir que participan constantemente en las reuniones y actividades que se derivan del quehacer productivo y 79 no están activos en el grupo productivo (Gobernación Cauca 2020). En cuanto al tipo de población que se caracteriza en el agro cadena del aguacate; se registra que 14 organizaciones tienen como integrantes a los campesinos, 5 están integradas por indígenas y 8 asociaciones está compuesta por varios tipos de poblaciones. Se puede decir que las organizaciones encuestadas tienen como sede principal la Zona Centro del Departamento del Cauca, con un registro de 12 organizaciones especialmente en los municipios de El Tambo, Popayán, Cajibío, Piendamó, Timbío, Morales, Macizo Colombiano se encuentran 2 organizaciones,

del municipio de Sotará y en el Norte del Cauca con 2 participaciones de los municipios de Santander de Quilichao y Corinto (Gobernación Cauca 2020).

Las organizaciones de productores de aguacate en el departamento del Cauca han desarrollado sus propias empresas bajo estructuras de aprendizaje empírico y otras con la ayuda de algunas entidades que les han permitido fortalecerse cada vez más; los momentos de cambio se han visto reflejados en el aumento de asociados que ven una oportunidad en sus organizaciones que los lleva a aumentar el área porque creen en este cultivo y ven un futuro que puede mejorar su calidad de vida. Saben que la asociatividad es fundamental para fortalecer la comercialización colectiva y así poder atender las demandas locales y en algunos casos internacionales (Gobernación Cauca 2020)

Según un estudio realizado por (Accame et al. 2018), Si el agricultor forma parte de alguna asociación del sector hortofrutícola, pasará de tener un rendimiento de 0,324 toneladas por hectárea a tener 0,418 toneladas por hectárea, además un estudio realizado por Lievano Montealegre, Rodríguez, and Franco Robayo (Lievano Montealegre, Rodríguez, and Franco Robayo 2016b) concluyó que los costes indirectos de producción de los productores independientes representan el 12% de los ingresos totales, y para los productores asociados representan el 7%, esto indica que los costes indirectos de producción de los productores independientes son más cuantiosos. Los costes totales de producción de un productor independiente equivalen al 58% de los ingresos totales, y para los productores asociados equivalen al 30%, un 28% menos, hecho que demuestra los beneficios financieros que la asociatividad aporta a los productores agrícolas el estudio fue realizado para una cadena productiva del mango.

3.3.3 Apoyo gubernamental

Durante las últimas tres décadas, Colombia ha experimentado procesos de tipo político, económico, comercial y normativo hacia la apertura de su economía al ámbito internacional. Uno de los propósitos claros ha sido el aumento y diversificación de las exportaciones colombianas, aspecto en el cual el Gobierno ha aunado esfuerzos para identificar sectores y productos potenciales de la economía, como lo demuestra el caso del Aguacate, el oro verde de la economía colombiana, que empieza a convertirse en pilar de desarrollo económico y social del país (Rodríguez 2021).

La aceptación del aguacate Hass colombiano en el mercado estadounidense marca un hito muy importante para la consolidación de Colombia en la economía mundial. Existen condiciones que hacen que este caso sea particularmente importante de analizar. En primer lugar, desde una perspectiva nacional, es necesario tener en cuenta las circunstancias macro de una economía y un país que ha pasado por momentos decisivos durante los últimos 30 años. Desde la apertura de la economía a los mercados internacionales a principios de la década de los noventa, hasta la firma del acuerdo de paz en 2017, Colombia ha trabajado arduamente para lograr y firmar acuerdos comerciales internacionales que benefician a los productos y servicios nacionales al momento de ingresar a los mercados extranjeros.

El aguacate Hass colombiano, como hemos comentado a lo largo de este caso, es el producto agrícola del momento. Por su rendimiento de cosecha por hectárea, está por encima de los grandes competidores internacionales, este es un producto emblemático de la agricultura colombiana que ha conquistado el mercado europeo por su calidad, sabor y, además, por cumplir con las exigencias sanitarias. Estas habían limitado su acceso al mercado estadounidense durante años porque, bajo las condiciones climáticas del territorio colombiano, se consideraba que había un mayor riesgo de propagación de plagas propias de esta fruta. Sin embargo, ante esta situación, el gobierno colombiano, bajo el liderazgo del Ministerio de Agricultura y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), emprendió un arduo trabajo, junto con los productores, para erradicar y prevenir los riesgos sanitarios, lo que dio como resultado la reciente admisibilidad de los aguacates Hass al mercado estadounidense.

Antioquia, departamento ubicado en el noroeste de Colombia y con uno de los periodos de cosecha de aguacate Hass más largos del país, lleva a cabo un macroproyecto para el desarrollo tecnológico, productivo y comercial del aguacate en Antioquia (Rebolledo and Romero, 2011). Se trata de una investigación multidisciplinaria realizada por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo, liderada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). La investigación abarca actividades en los campos de la agrobiodiversidad, la eco fisiología, el manejo integrado de plagas (MIP), los índices de cosecha y la zonificación. Este proyecto se ha desarrollado a lo largo de toda la cadena productiva desde su inicio para asegurar el cumplimiento de los estándares del mercado internacional

y así lograr el objetivo de posicionarlo como el cuarto producto de exportación más importante de la agricultura colombiana.

La Asociación Nacional de Exportadores (Analdex), creada con el propósito de promover y apoyar a las empresas exportadoras, reportó una variación positiva para el aguacate Hass en Colombia del 228% en volumen para el año 2016, representado en 18.201 toneladas, frente a 5.543 toneladas del año anterior (Gobernación Cauca 2020).

El gobierno de Juan Manuel Santos, que finalizó en 2018, prioriza el aguacate Hass como un Proyecto de Interés Estratégico Nacional (PINE) desde 2015, en el que se articulan diferentes entidades estatales como los Ministerios de Comercio, Industria y Turismo, Agricultura, Relaciones Exteriores, y otras como el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Pro Colombia y el Programa de Transformación Productiva (PTP). De manera directa, participan productores, exportadores, Analdex y la Corporación Colombiana de Productores y Exportadores CorpoHass (Minagricultura, 2016). El interés inicial del gobierno era cultivar aguacate Hass en los Montes de María, zona ubicada entre los departamentos de Sucre y Bolívar, para sustituir los cultivos ilícitos allí presentes; sin embargo, posteriormente se identificó que esta zona no era apta para el cultivo de la variedad Hass, esfuerzo político que pudo ser aprovechado en otras zonas del país (Rebolledo and Romero 2011).

CorpoHass se encarga de defender los intereses de los productores de aguacate tanto en el mercado nacional como en el exterior, y fue creada como uno de los requisitos exigidos por el gobierno de los Estados Unidos a través del Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal (APHIS). El ICA, a través de la Subgerencia de Regulación Sanitaria y Fitosanitaria, viene trabajando desde el año 2011 en la recolección de información para avanzar en el proceso de cumplimiento del control sanitario (FAO 2012).

El 13 de septiembre de 2017, Asohofrucol, entidad que representa los intereses de los productores de frutas y hortalizas desde 1995, y que además es la encargada de administrar el Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola (FNFH), para la inversión de proyectos productivos en el país, puso en marcha el Proyecto de Asistencia Técnica para fortalecer la admisibilidad del aguacate Hass colombiano en el mercado de Estados Unidos, el 13 de septiembre de 2017.

También es el encargado de administrar el Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola (FNFH), para la inversión de proyectos productivos en el país. El proyecto es financiado por el Ministerio de Agricultura y administrado por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo a través del PTP. Se espera que sea ejecutado por Asohofrucol y Analdex con el apoyo técnico del ICA, especialmente en materia de plagas cuarentenarias, en beneficio de los productores de los departamentos de Tolima, Antioquia, Caldas, Valle del Cauca, Quindío y Cauca (Asohofrucol 2015).

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

El siguiente capítulo presenta los resultados de los escenarios de simulación. El primer escenario representa el comportamiento real de la cadena de producción; su importancia radica en validar si los resultados de la simulación se corresponden con el comportamiento real del sistema. El segundo escenario evalúa el comportamiento del sistema cuando los productores tienen acceso al crédito. El tercer escenario modela la asociatividad de los productores y el cuarto escenario evalúa las opciones de apoyo gubernamental a los pequeños productores.

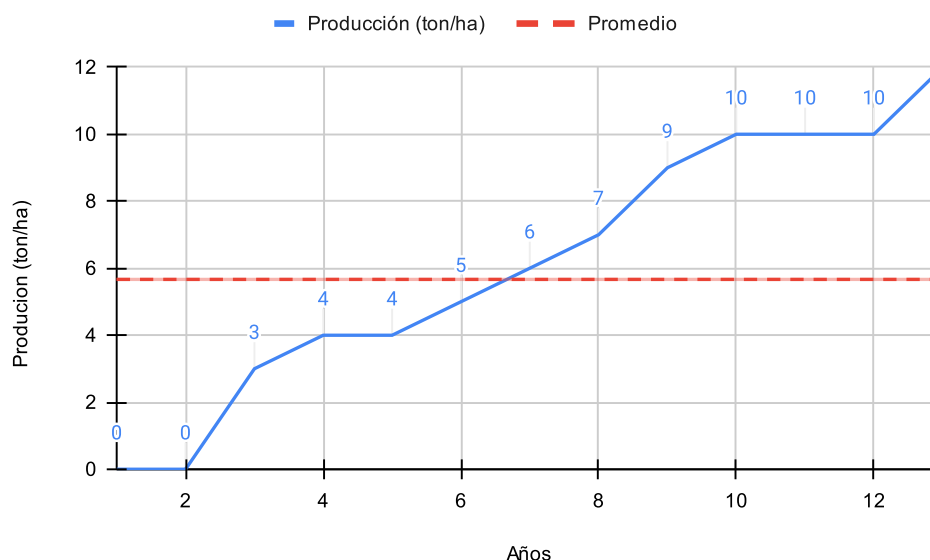
Los indicadores considerados para interpretar el impacto y la variación de los escenarios son los siguientes: **producción en kg, costes totales frente a ingresos totales, beneficio neto acumulado.**

4.1 Escenario 1. Comportamiento actual de la cadena productiva

Validación del modelo

La figura 38 muestra el rendimiento en toneladas y kilogramos por hectárea del cultivo a lo largo de los años, se puede observar que los primeros 2 años la producción es nula, este comportamiento está dado por la naturaleza anatómica del cultivo, dado que el cultivo comienza a dar sus primeros frutos a partir del tercer año. Posteriormente, el rendimiento se incrementa hasta que el cultivo llega a la etapa de madurez, esta se da a los 13 años, momento en el cual alcanza su máxima producción, para la validación del modelo se tuvo en cuenta que el rendimiento del departamento del Cauca es de 5,9 ton/ha. Al tomar el promedio de los resultados del modelo, el resultado es de 5,6 ton/ha. Esto significa que los resultados reales comparados con los simulados son similares.

Figura 38. Rendimiento por hectárea: Escenario actual



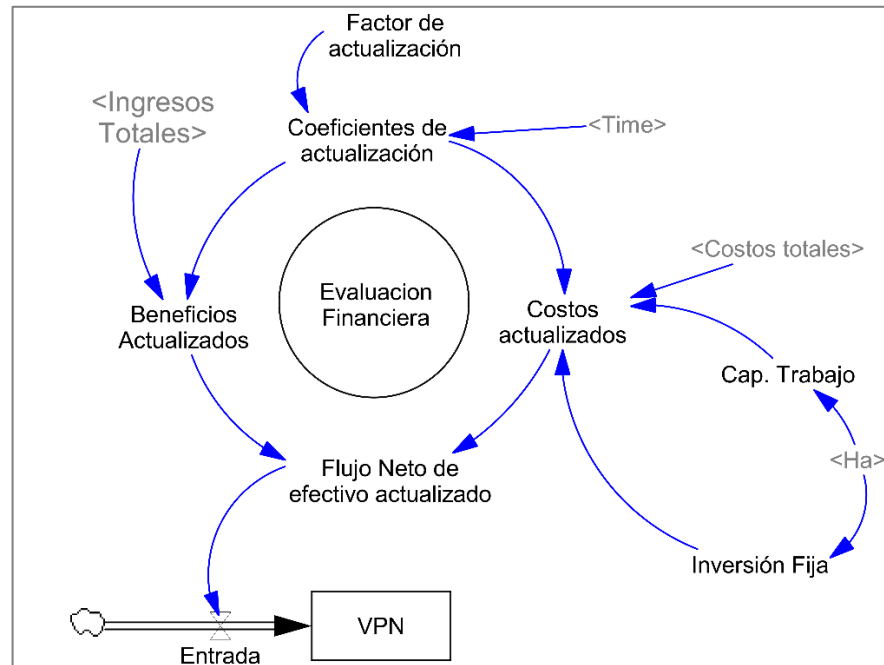
Fuente. Autor del proyecto

Tamaño de la finca

Para definir el tamaño de la finca a evaluar en la simulación, se tomaron en cuenta dos factores: uno tiene que ver con la realidad, es decir, el promedio de hectáreas que tienen los pequeños productores en sus unidades de producción, como se puede ver en la caracterización del eslabón productor, el 43% de los productores tienen 2 hectáreas y el 34% tienen entre 2 y 4 hectáreas. El segundo factor que se tomó en cuenta fue la viabilidad de siembra en función del número de hectáreas que se deben sembrar para que el cultivo sea rentable, por lo que fue necesario calcular el Valor Presente Neto (VPN) con base en los costos iniciales de inversión, mantenimiento y los flujos de caja por año.

En la figura 39, se puede ver cómo se estructuró el diagrama de flujos y niveles para calcular el VPN con dinámica de sistemas, en la literatura no se encontraron antecedentes sobre estudios de viabilidad financiera con dinámica de sistemas, por lo que este estudio podría ser el primero en abordar el VPN, teniendo en cuenta la retroalimentación del modelo de negocio.

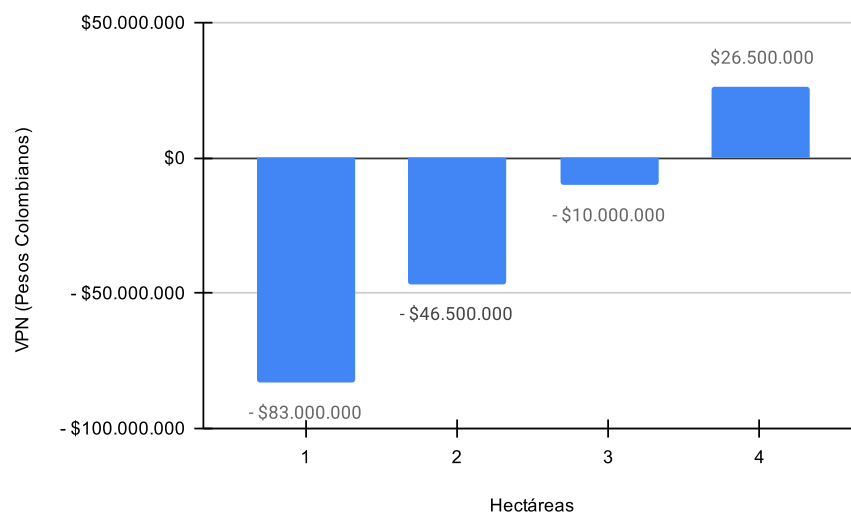
Figura 39. Diagrama de flujos y niveles: VPN



Fuente. Autor del proyecto

Según Gonzales y Vivares (2019) el valor del proyecto es la diferencia al inicio del proyecto (fecha actual), entre el valor presente de los flujos de caja futuros generados por el proyecto y las inversiones realizadas. Según la regla de decisión del VPN, se debe aceptar la alternativa con mayor VPN positivo y rechazar los que tengan VPN negativo, tomando estos conceptos, el resultado (Figura 40) indica que se deben sembrar 4 hectáreas, pues a partir de este tamaño el VPN es \$ 26.500.000, cabe resaltar que los resultados del VPN se derivan del modelo dinámico, por lo que el cálculo toma en cuenta la retroalimentación del sistema.

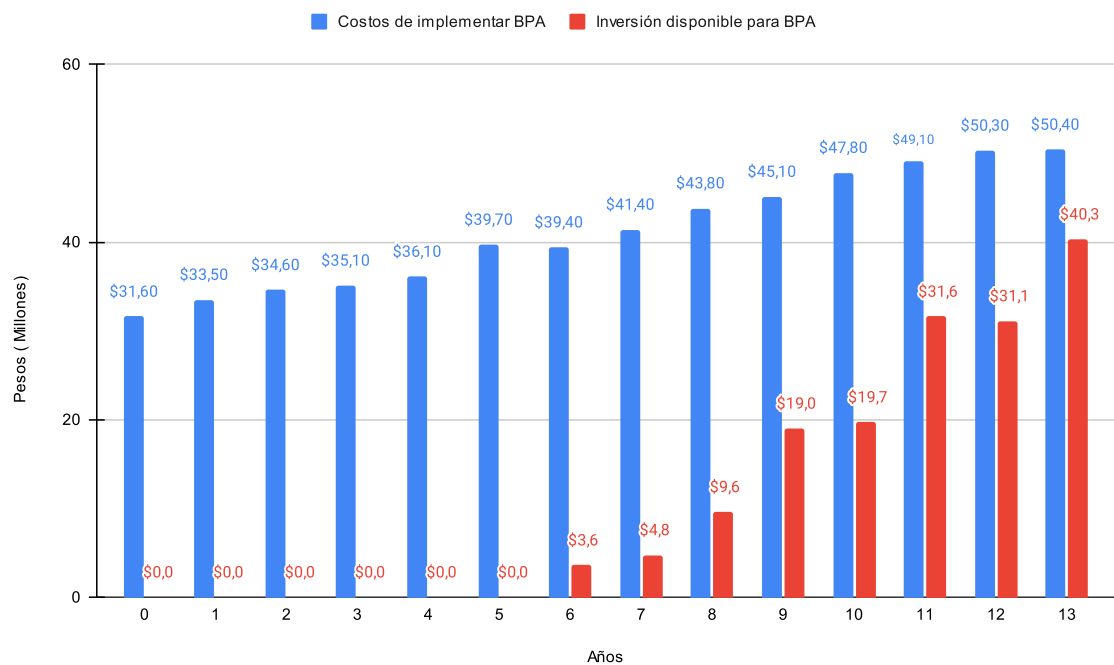
Figura 40. Análisis de evaluación financiera según el número de hectáreas



Fuente. Autor del proyecto

La figura 41 muestra el resultado del bucle de reinversión en el escenario actual. Se puede observar que los costes de implantación y mantenimiento de las BPA son superiores a la inversión disponible en todos los periodos. Este comportamiento es consecuencia del déficit en el rendimiento de la producción y la calidad del producto, por lo que los ingresos nunca son suficientes para cubrir los programas de mejora, en este punto es evidente la necesidad de buscar alternativas para financiar los programas de mejora, que son las políticas que se evalúan más adelante en el texto para mostrar cómo rompen el círculo vicioso y abren la oportunidad de mejorar la productividad.

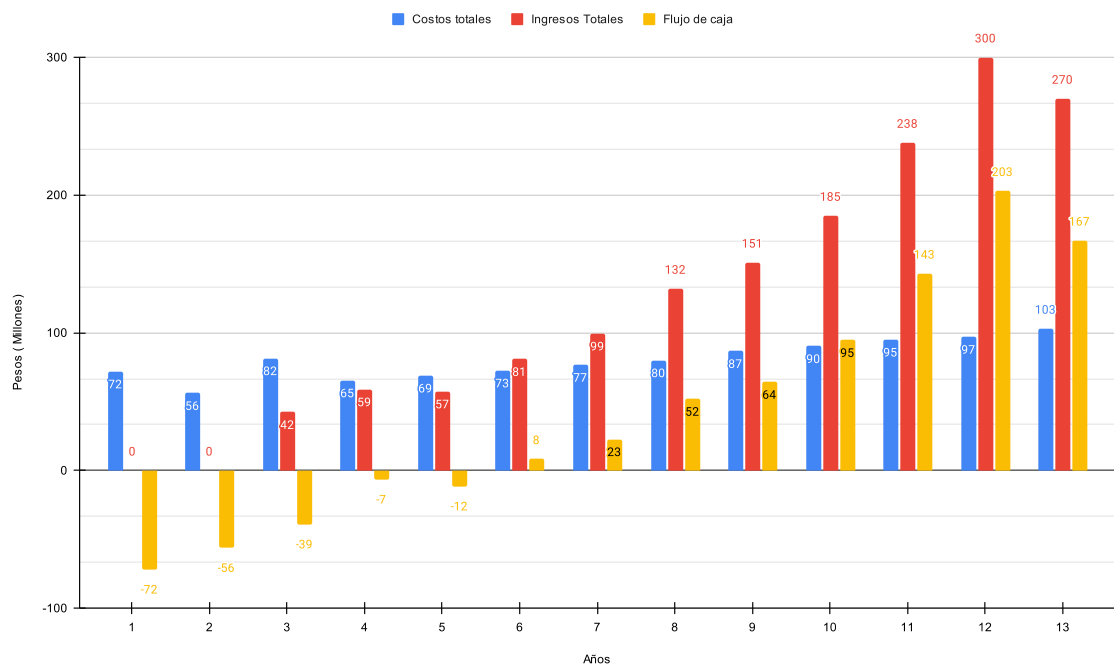
Figura 41. Costos de implementar BPA vs flujo de caja disponible para invertir – Escenario actual



Fuente. Autor del proyecto

La Figura 42 muestra los costes de producción, los ingresos por ventas y el flujo de caja. En cuanto a los costos, se observa que para el primer año ascienden a 72 millones, en el segundo año a 56 millones y en el tercer año los costos suben a 82 millones, debido a los costos adicionales de mano de obra para atender la cosecha. Los ingresos pueden observarse que comienzan en el año 3, que es cuando se obtienen las primeras cosechas cuyo valor es de 42 millones. Al observar el flujo de caja se puede ver que los primeros 5 años son de mucha inversión, el punto de equilibrio se da en el año 6 en el que se genera una utilidad de 9 millones, posteriormente los flujos de caja son positivos, el periodo en el que se registra mayor utilidad es en el año 12, cuando la cosecha alcanza su pico máximo.

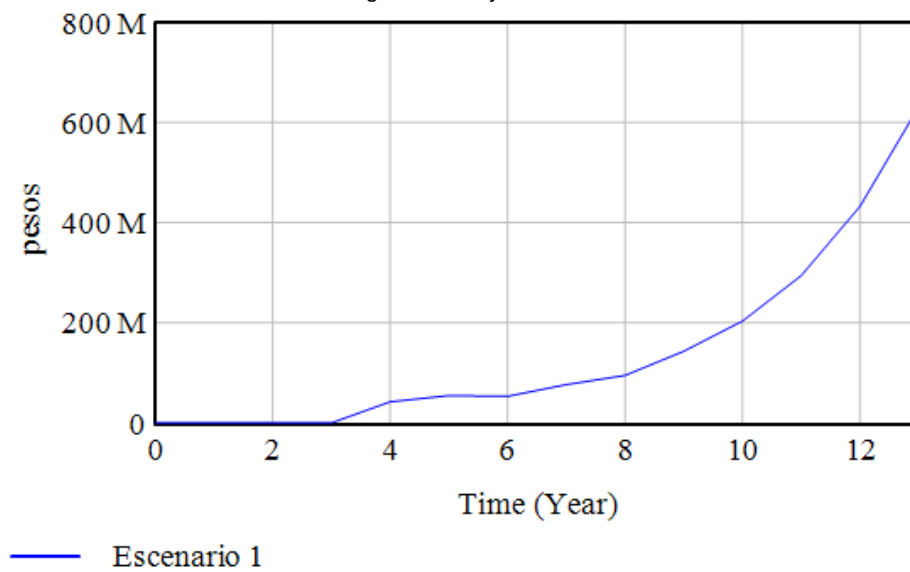
Figura 42. Costos vs Ingresos – Escenario actual



Fuente. Autor del proyecto

Por último, la figura 43 muestra la variable del nivel de efectivo, es decir, si se acumularan todos los beneficios netos, sumarían alrededor de 600 millones de pesos durante 13 años.

Figura 43. Caja acumulada



Fuente. Autor del proyecto

4.2 Escenario 2. Acceso al crédito.

El escenario 1 mostró el comportamiento actual de la cadena productiva, demostrando que los ingresos al tercer año no son suficientes para cubrir los programas de mejoramiento del cultivo como el BPA, considerando que los pequeños productores priorizan los gastos familiares antes que la reinversión en el cultivo; por lo tanto, el escenario 2 ofrece la posibilidad de que los productores accedan a las opciones de crédito ofrecidas por las entidades gubernamentales, y a través de la simulación se espera determinar si los productores son capaces de devolver el préstamo, pagar los intereses y además aumentar la rentabilidad del cultivo. A continuación, se presentan algunos de los supuestos que se hicieron.

El número de árboles por hectárea son 200

El tamaño de la finca es de cuatro hectáreas

El número inicial de árboles es de 800 con una edad de tres años

La capacidad de reinversión son el 20% de sus utilidades.

Los productores son independientes, es decir que no pertenecen a ninguna asociación o cooperativa.

No se presentan eventos climáticos que afecten la producción.

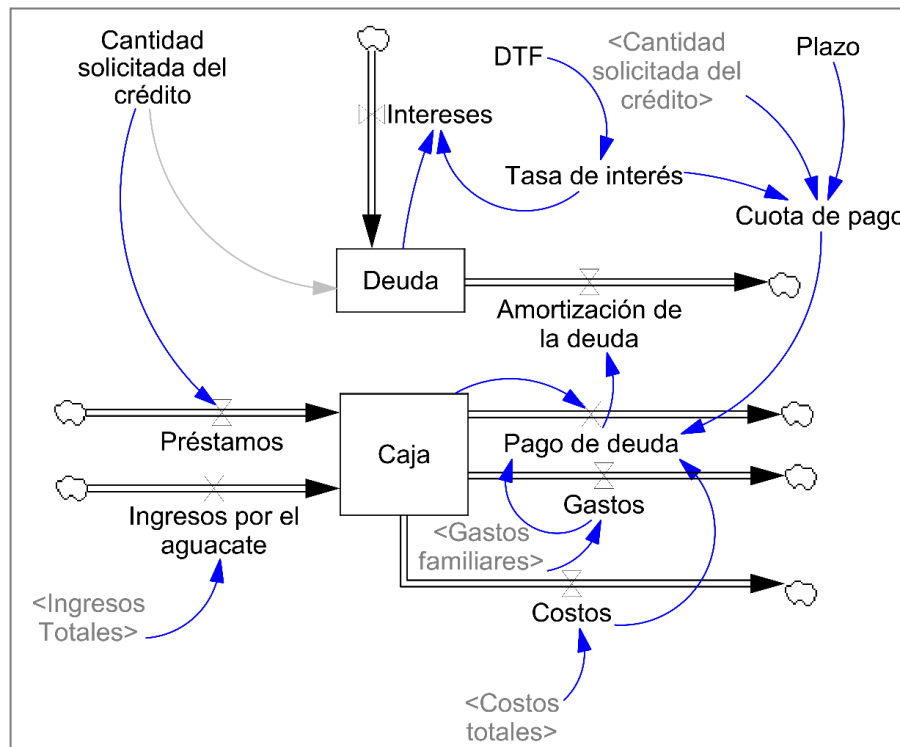
Tasa de interés hasta $DTF^2 + 7\%$ E.A. (FINAGRO 2022)

Módulo financiero

Para construir el módulo financiero se adaptó la estructura propuesta por Osorio, Aramburo y Morales (2011) y Ovalle, Orozco y Sinisterra (2019a) quienes formularon modelos de simulación dinámica para evaluar estrategias de reinversión en pequeños productores de café. Teniendo en cuenta que el contexto del café y el aguacate son muy similares por ser cultivos permanentes, se adaptó la estructura base para construir el modelo de este estudio de caso. Por lo tanto, en un primer momento fue necesario conocer cuánto dinero tiene el agricultor en efectivo para decidir en qué invertir y si es suficiente para cubrir al menos los

gastos básicos del núcleo familiar. En la figura 44 se observa que el efectivo en caja aumenta por los ingresos de la cosecha de aguacate, así como por el dinero de los préstamos, y disminuye por los costos de producción, los gastos familiares y el pago de las cuotas de los préstamos.

Figura 44. Diagrama de niveles y flujos para la caja del productor



Fuente. Adaptado de (Osorio, Aramburo, and Morales 2011)

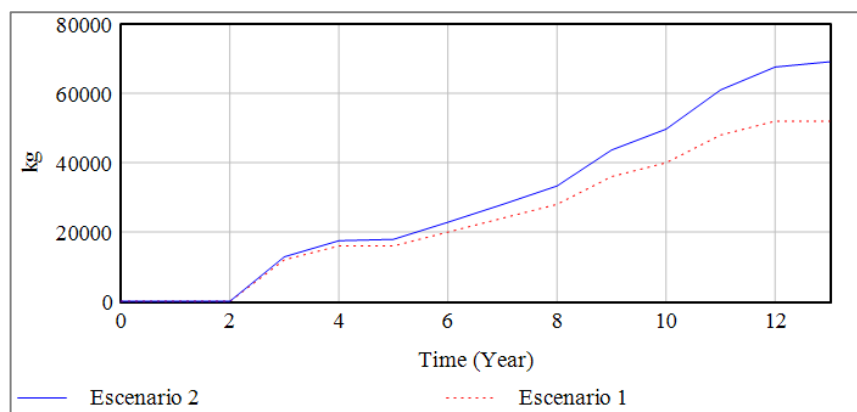
Así mismo se muestra cómo se modeló el comportamiento de la deuda una vez se hace efectivo el crédito por parte del productor, se asume que monto crediticio que el agricultor puede obtener depende del tamaño de la finca. Para este análisis el valor del crédito equivale al total del costo de la implementación de BPA (\$ 33.812.380) (Zamrodah 2016), ya que por los bajos niveles de competitividad al productor no le queda capital para ayudar a financiar los programas de mejoramiento. Por este crédito el productor tendrá que pagar una cuota de 6.4 millones a un plazo de 10 años, el valor de la cuota a pagar anualmente por el productor se calcula usando la siguiente fórmula.

$$C = D * \frac{T1 * (1 + T1)}{(1 + T1)^n - 1} \quad (Ec. 1)$$

Donde C es la cuota para pagar, D la deuda actual, TI la tasa de interés y n el número de periodos. El valor de la cuota a pagar por la deuda entra también a hacer parte de los gastos que debe cubrir el productor.

Con estos parámetros iniciales se simula el comportamiento del sistema cuando los pequeños productores tienen acceso al crédito para financiar los programas de mejoramiento a partir del año 3. El impacto sobre la producción se muestra en la Figura 45 donde se puede notar que el patrón del comportamiento en cuanto a la tendencia de crecimiento es similar al escenario base (escenario 1), así mismo se puede ver que a partir del año 4 la producción se incrementa, esto se debe a que la inversión se hizo en el año 3, pero el efecto de la implementación de BPA tarda alrededor de un año, de ahí en adelante la producción va incrementando hasta alcanzar los 61.219 kg un incremento del 23% con respecto al escenario 1 en el años 13.

Figura 45. Producción en kg. Escenario con opción de crédito



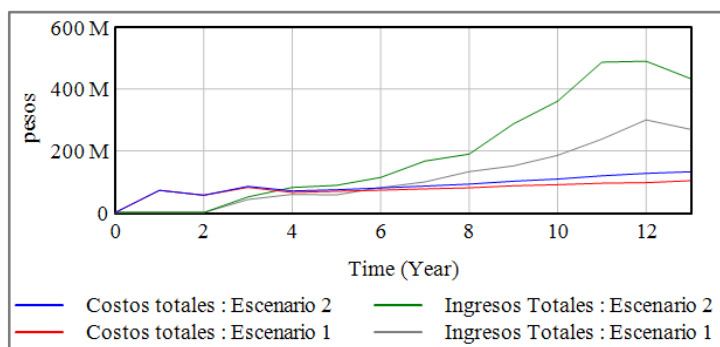
Fuente. Autor del proyecto

La Figura 46 muestra el comportamiento de los ingresos totales frente a los costos totales para el escenario 1 y el escenario 2; con respecto a los ingresos, se observa un incremento importante en los últimos años, que alcanza un pico de 490 millones de pesos. Este comportamiento es el resultado del financiamiento destinado a cubrir los costos de implementación de buenas prácticas agrícolas. Este programa exige al productor producir de manera tecnificada, pues entran en juego otros agentes como los asistentes agrónomos que implementan planes de control de plagas y enfermedades, control fitosanitario, adecuación de sistemas de riego, injertos, así como el desarrollo de planes de fertilización.

Con respecto a los costos, hay dos picos que se destacan en los años 1 y 3, el primer pico se debe a la inversión inicial en la siembra del cultivo, y el segundo pico se debe a que en el año 3 se realiza la inversión en los programas de mejoramiento, de ahí en adelante los costos que se incrementan están asociados al aumento de las toneladas por hectárea, lo que requiere de mayor mano de obra para la recolección de la fruta.

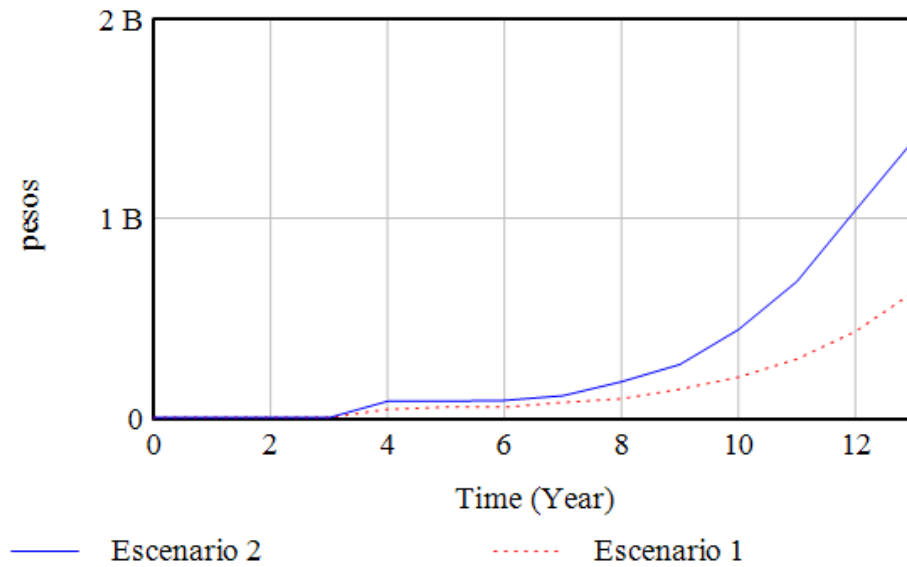
No obstante, es posible que los costos no suban en la misma proporción en que suben los ingresos, esto se debe a que los ingresos no solo dependen de los volúmenes de producción sino también de los precios, y estos a su vez dependen de la calidad, en ese sentido lo que sucede es que a medida que se va obteniendo un producto de mejor calidad, aumenta la tasa de producción que cumple con la calidad para la exportación, y como los precios de la fruta en el mercado exterior son mucho más favorables, sucede que se pueden obtener más ingresos con los mismos niveles de producción, los flujos de caja acumulados durante el periodo de estudio que son 13 años acumulados llegan a los 1300 millones de pesos (Figura 47).

Figura 46. Costos totales vs ingresos totales - Escenario dos



Autor del proyecto.

Figura 47. Caja acumulada y flujo neto periódico - Escenario dos

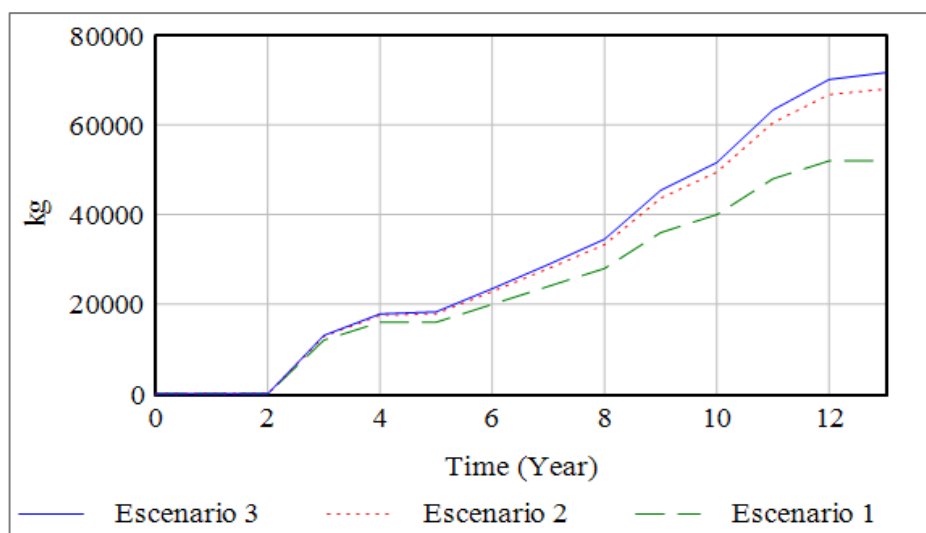


Fuente. Autor del proyecto

4.3 Escenario 2. Asociación de productores.

El escenario 3 analiza el comportamiento del sistema cuando los productores deciden unirse o formar una asociación. Los resultados muestran que esta decisión puede traerles importantes beneficios, en comparación con los que trabajan de manera independiente, la Figura 48 indica que la producción se incrementa en comparación con los escenarios anteriores, en el último periodo el porcentaje de incremento fue de 37.83% con respecto al escenario inicial.

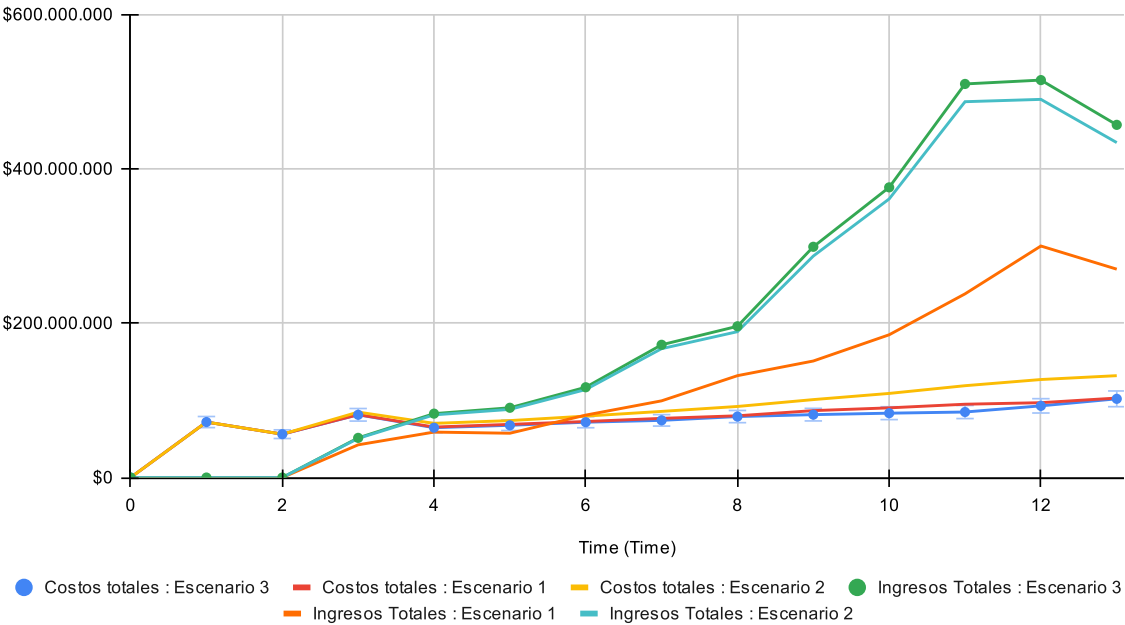
Figura 48. Producción de aguacate en kg – Escenario 3



Fuente. Autor del proyecto

El indicador de costes frente a ingresos (Figura 49 – líneas punteadas) muestra un ligero aumento de los ingresos en los últimos años. Esto se puede atribuir a la reducción de los costes puesto que, al adquirir materias primas en mayor volumen, pueden mejorar su capacidad de negociación para adquirir materiales a menor coste. También cuentan con la posibilidad de financiarse con tasa de interés más bajos.

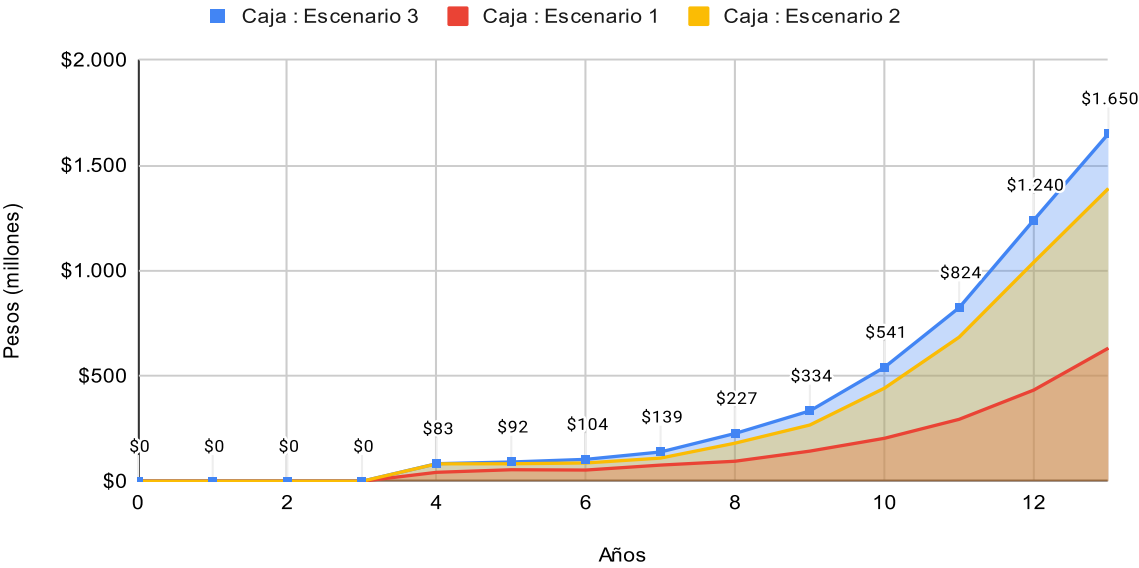
Figura 49. Costos vs Ingresos - Escenario 3



Fuente. Autor del proyecto

La utilidad acumulada para el escenario 3 suman alrededor de 1650 millones de pesos durante los 13 años de estudio (Figura 50).

Figura 50. Flujo de caja acumulada



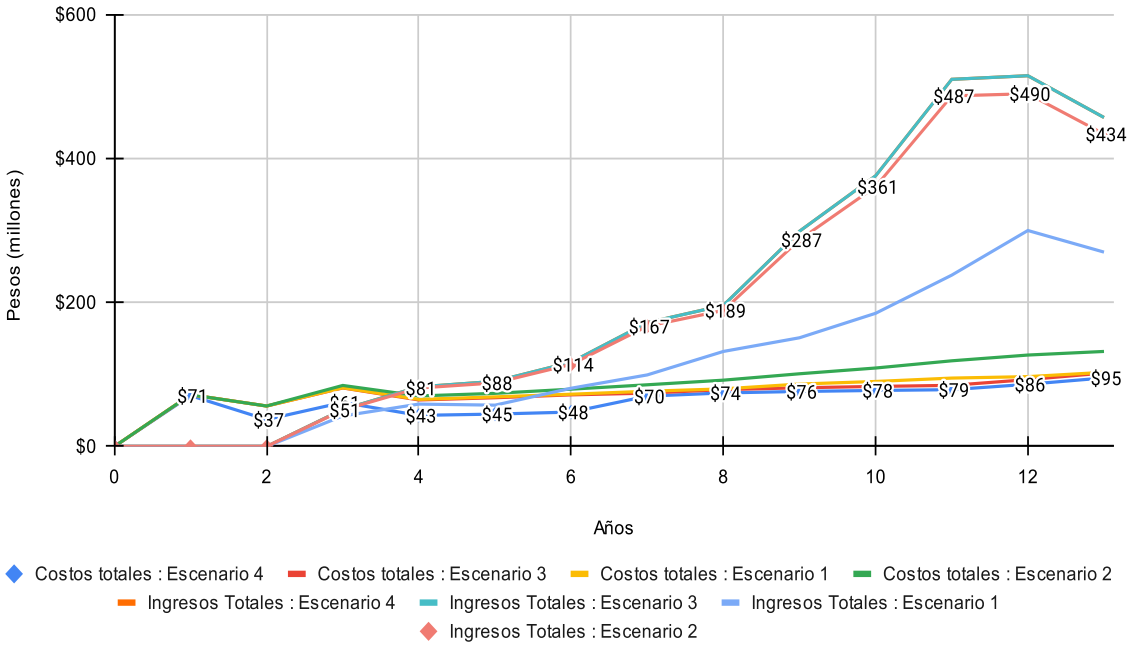
Fuente. Autor del proyecto

4.4 Escenario 3. Apoyo Gubernamental

Finalmente, se muestran los resultados del comportamiento del sistema cuando los productores reciben apoyo del gobierno. Este escenario parte del supuesto de que los productores trabajan de manera asociativa y también tienen acceso al crédito; por ello, la configuración de los escenarios anteriores resulta útil para modelar esta política.

Considerando que el gobierno puede intervenir en la cadena productiva de diversas formas, en este escenario se asume que el apoyo gubernamental está representado por los subsidios a los fertilizantes y la asistencia técnica a los productores durante los primeros cinco años. Esta estrategia permite fortalecer los periodos más complejos del cultivo, que son los primeros años, pues son los de mayor inversión y menor ingreso. En este sentido, la Figura 51 muestra que, de entre los demás escenarios, este es el que tiene menores costos en los primeros años; el resultado del sistema se traducirá en mayores ingresos, pues el gobierno cubrirá los fertilizantes y la asistencia técnica, que son los más elevados entre los demás costos.

Figura 51. Costos totales vs Ingresos totales - Escenario 4



Fuente. Autor del proyecto

Por último, la Tabla 7 muestra el impacto de las políticas evaluadas en la simulación comparadas con el escenario 1. Los resultados del escenario actual muestran que los pequeños productores están inmersos en un bucle de equilibrio, donde los bajos niveles de productividad, hace que no les queden ingresos suficientes para invertir en programas de mejora, por lo que los cultivos siguen produciendo los mismos volúmenes de producción.

Una de las opciones más rápidas para salir de este bucle es el acceso al crédito para financiar los costes de los programas de mejora, que en el caso del cultivo del aguacate Hass, el programa de mayor impacto es la implantación de buenas prácticas agrícolas (BPA). Si cumplen con todas las BPA, el ICA les otorga un registro que acredita que el productor tiene las condiciones de fruta con la calidad requerida por el cliente. Esta operación genera un incremento en el flujo de caja del productor del 145%. Así mismo, se demuestra que si los productores se asocian pueden reducir sus costos, ya que por la reducción de los costos de producción la caja neta se incrementa en un 190%. Ahora, si los productores adoptan los programas ofrecidos por el gobierno para fortalecer las cadenas agrícolas, el flujo de caja neto se incrementa en un 207% en comparación con el escenario inicial.

Tabla 7 . Impacto de las políticas de apoyo frente a la situación actual

Escenario	Ingresos Acumulados Pesos	Costos Acumulados Pesos	Caja acumulada Pesos	Mejora de la caja acumulada frente al escenario 1
Escenario 1 (Actual) Modelo actual. Se parte de que los productores no tienen acceso a crédito, tampoco están asociados, ni reciben ningún tipo de apoyo gubernamental	1,615,183,400	1,045,552,800	569,630,600	0%
Escenario 2 (Crédito) Los productores acceden al crédito, para poder cubrir costos de programas de mejoramiento	2,748,482,700	1,202,311,300	1,393,540,000	145%
Escenario 3 (Asociatividad) Los productores trabajan en asociatividad	2,866,682,500	1,011,600,100	1,650,200,000	190%

Escenario 4 El gobierno ayuda a impulsar a los pequeños productores con asistencia técnica y abonos en los 5 primeros años	2,866,682,500	864,203,500	1,750,300,000	207%
---	---------------	-------------	---------------	------

Fuente. Autor del proyecto

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las principales conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

5.1 Conclusiones

En esta investigación se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas que permitió analizar la evaluación de diferentes variables de interés para el agricultor, tales como los ingresos y los costos, teniendo en cuenta la estructura de retroalimentación, las no linealidades y los rezagos entre las variables involucradas. El modelo desarrollado permitió estudiar el efecto, a largo plazo, de diferentes políticas de apoyo a los pequeños agricultores a través de escenarios, con el objetivo de mejorar la productividad, la calidad de la producción y, por tanto, la calidad de vida del agricultor.

Por otro lado, el objetivo de cualquier política aplicada al sector agrario debería ser la búsqueda de un aumento de los rendimientos productivos, dentro de un marco competitivo y sostenible. Esta investigación propone implementar los siguientes mecanismos para lograr estos objetivos:

- Desarrollar cadenas productivas dentro del sector agropecuario del departamento del Cauca y promover el trabajo asociativo, con el fin de reducir las barreras de acceso a los mercados internacionales, aumentar la competitividad, obtener los beneficios que ofrecen las economías de escala, tener un acceso más fácil al crédito y aumentar los niveles de confianza entre los agentes participantes. Hay que dejar de pensar en el agricultor como un trabajador agrícola para pensar más como un empresario.
- Fomentar la aplicación de buenas prácticas agrícolas, reflejadas, entre otras, en un adecuado control sanitario, organización logística de la cosecha, control de calidad de los productos, uso de abonos y fertilizantes, etc. El fin de estas prácticas es la obtención por parte de los pequeños productores de algún certificado de calidad que les permita mejorar la rentabilidad gracias al acceso a nuevos canales de distribución y a la exportación.

5.2 Recomendaciones

Este estudio se puede ajustar mejor desarrollando un modelo que pueda pronosticar los precios de los insumos agrícolas más representativos, como los abonos, así como también el precio del aguacate y el consumo en el mundo ajustado a la tasa de cambio, ya que estas son las variables que más exponen al riesgo el negocio.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Accame, Stefania, Antonio Blanco, Marcos Sancho, and Luis Vásquez. 2018. "Análisis de Los Pequeños Productores de Palto En El Perú. Propuestas Para La Mejora de Su Rendimiento Productivo." *Universidad ESAN*: 1–137.
- Agricultura, Ministerio de. 2022. "Gobierno de Iván Duque Pone En Marcha Plan de Financiamiento Para Incentivar Producción Agropecuaria En 2022." <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Gobierno-de-Iván-Duque-pone-en-marcha-plan-de-financiamiento-para-incentivar-producción-agropecuaria-en-2022.aspx> (July 15, 2022).
- Agro Ingreso Seguro-AIS. 2011. *Levantamiento de Información y Evaluación de Los Resultados de La Ejecución Del Programa Agro Ingreso Seguro-AIS Informe Final*.
- AGRONET. 2018a. "Comparativo de Área, Producción, Rendimiento y Participación Departamental Por Cultivo."
- . 2018b. "Comparativo de Área, Producción, Rendimiento y Participación Departamental Por Cultivo." <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=3> (March 14, 2021).
- Alfonso, D., Urrego, I., Guaneme, I. Céspedes, D. 2018. "Integración Academia-Gobierno-Sector Productivo Para Incentivar Desarrollo En El Sector Agrario En Colombia." *Finanzas y Comercio Internacional*: 90. https://ciencia.lasalle.edu.co/finanzas_comercio/265 (May 3, 2021).
- Alonso, Jorge, Bernal Estrada, Cipriano Arturo, and Díaz Díez. 2020. *Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) En El Cultivo de Aguacate*.
- Amézaga, Carola, Artieda, Luis Miguel. 2017. "Hacia Un Crecimiento Con Inclusión: La Asociatividad Como Estrategia de Desarrollo Para Las Micro y Pequeñas Empresas Agropecuarias En El Perú | ASOCAM." <http://www.asocam.org/node/50903> (May 3, 2021).
- Andrew Steer. 2013. "El Mundo Debe Producir de Forma Sostenible Un 70% Más de Alimentos Para Mediados de Siglo: Informe de La ONU | | Noticias de La ONU." <https://news.un.org/en/story/2013/12/456912> (March 14, 2021).
- Angerhofer, Bernhard J., and Marios C. Angelides. 2000. "System Dynamics Modelling in Supply Chain Management: Research Review." *Winter Simulation Conference*

- Proceedings* 1: 342–51.
- Anríquez, Gustavo, and Kostas Stamoulis. 2007. *Rural Development and Poverty Reduction: Is Agriculture Still the Key?* www.fao.org/es/esa (March 15, 2021).
- Aracil, Javier. 2000. “Dinámica de Sistemas.”
- Argüello, Ricardo, and Paola Poveda. 2013. “Veinte Años de Diversificación Del Ingreso de Los Hogares Rurales En Colombia: 1993-2013.” : 1993–2013.
- Asohofructol. 2015. “Costos De Produccion De Platano Y Maracuya En El Ariari – Meta.”
- Bala, Bilash Kanti, Fatimah Mohamed Arshad, and Kusairi Mohd Noh. 2018. Springer *System Dynamics: Modelling and Simulation*.
- Bancóldex. 2022. “Clasificación de Empresas En Colombia.”
- Belda, R. 2017. *Análisis de Competitividad y Consistencia de Las Exportaciones Mexicanas de Aguacate (Tesis de Master)*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/87592> (March 14, 2021).
- Bisht, Ishwari Singh. 2021. “Agri-Food System Dynamics of Small-Holder Hill Farming Communities of Uttarakhand in North-Western India: Socio-Economic and Policy Considerations for Sustainable Development.” *Agroecology and Sustainable Food Systems* 45(3): 417–49.
- Cauca, Gobernacion del. 2021. “Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.” <https://www.cauca.gov.co/Dependencias/secretaria-de-agricultura-y-desarrollo-rural/Paginas/Default.aspx> (June 30, 2022).
- Cayeros, Sergio, Francisco Robles, and Edel Soto. 2016. “Cadenas Productivas y Cadenas de Valor.”
- Cerón, Jairo et al. 2009. *Una Mirada a Las Cadenas ProdUctivas Perspectiva de Modelamiento Con Dinámica de Sistemas Autores*. 1st ed. Bogotá.
- DANE. 1977. *Valores de Exportaciones e Importaciones*.
- . 2021. “Componente Abastecimientos - Boletín Quincenal 2021.” <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/componente-abastecimientos-1/componente-abastecimientos-boletin-quincenal-2021> (August 25, 2022).
- Demczuk, André, and Antonio Domingos Padula. 2017. “Using System Dynamics Modeling to Evaluate the Feasibility of Ethanol Supply Chain in Brazil: The Role of Sugarcane Yield, Gasoline Prices and Sales Tax Rates.” *Biomass and Bioenergy* 97: 186–211.

- Elgue, Mario Cesar, and Claudia Alejandra Chiaradía. 2006. *Formas Asociativas Para La Agricultura Familiar*.
- FAO. 2007. *Desarrollo Agrícola de Países Latinos*.
- . 2012. 2 Fiat Panis *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas Para El Productor Hortifrutícola*.
- Ferrando Perea, Ampelio. 2015. "Asociatividad Para Mejora De La Competitividad De Pequeños Productores Agrícolas." *Anales Científicos* 76(1): 177.
- FINAGRO. 2020. "Acceso Al Crédito Agropecuario."
- . 2022. "Portafolio de Servicios 2 0 2 2."
- Forrester, Jay. 1994. "System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR." *Clinical chemistry* 29(4).
- Franco, Nicolás Arturo Torres, and Eleonora Davalos. 2019. "Heterogeneous Effects of Agricultural Technical Assistance in Colombia." <http://hdl.handle.net/10784/15652>.
- García, Juan Sebastián Arias, Alejandro Hurtado-Salazar, and Nelson Ceballos-Aguirre. 2021. "Current Overview of Hass Avocado in Colombia. Challenges and Opportunities: A Review." *Ciencia Rural* 51(8): 1–9.
- Giraldo, Eliana María González, and Carlos Andrés Vivares Mira. 2019. "Valoración de Un Proyecto Agrícola Aplicando La Teoría de Opciones Reales. Caso de Estudio: Cultivo de Aguacate Hass En Angostura - Antioquia Eliana María González Giraldo * Carlos Andrés Vivares Mira * *." : 1–21.
- Gobernación Cauca. 2020. "Desarrollo Rural Plan Departamental De Extensión."
- Gowan. 2020. "La Importancia Del Aguacate Hass En Colombia | Gowan Colombia."
- Hasan, Nur, Erma Suryani, and Rully Hendrawan. 2015. "Analysis of Soybean Production and Demand to Develop Strategic Policy of Food Self Sufficiency: A System Dynamics Framework." In *Procedia Computer Science*, Elsevier Masson SAS, 605–12.
- Henson, Spencer, Oliver Masakure, and John Cranfield. 2011. "Do Fresh Produce Exporters in Sub-Saharan Africa Benefit from GlobalGAP Certification?" *World Development* 39(3): 375–86.
- Hoyos, Quintero, and Monsalve Herrera. 2022. "Un Estudio Sobre La Relación Entre El Acceso Al Crédito y La Productividad de Las Pymes En Colombia Entre 2018-2019 Trabajo de Grado Autores : Elizabeth Hoyos Quintero Federico Herrera Monsalve Asesor : Daniel Santiago Medina Gaspar Universidad EAFIT Mede."
- Humphrey, John. 2008. "Private Standards, Small Farmers and Donor Policy: EUREPGAP

- in Kenya.” (308): 95.
- ICA. 2022. “Consolidación de La Producción Agrícola Sana y de Calidad.”
- Jaramillo, C. F. 1998. “Liberalization, Crisis, and Change in Colombian Agriculture.” *Liberalization, crisis, and change in Colombian agriculture*.
- Jaramillo, Carlos Felipe. 2019. Liberalization and Crisis in Colombian Agriculture *Liberalization and Crisis in Colombian Agriculture*. <https://www.routledge.com/Liberalization-And-Crisis-In-Colombian-Agriculture/Jaramillo/p/book/9780367160524> (July 15, 2022).
- Kumar, Sachin et al. 2021. “Using System Dynamics to Analyze the Societal Impacts of Blockchain Technology in Milk Supply Chainsrefer.” 149(July 2020).
- Li, Fu Jia, Suo Cheng Dong, and Fei Li. 2012. “A System Dynamics Model for Analyzing the Eco-Agriculture System with Policy Recommendations.” *Ecological Modelling* 227: 34–45.
- Lievano Montealegre, Beltrán Rodríguez, and Franco Robayo. 2016a. instname:Universidad Piloto de Colombia *Análisis Comparativo de Los Beneficios Financieros de La Asociatividad*. Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/207> (May 3, 2021).
- . 2016b. “Análisis Comparativo de Los Beneficios Financieros de La Asociatividad.” instname:Universidad Piloto de Colombia.
- MADR. 2021. “Cadena Productiva Aguacate MinAgro.” : 1–33.
- Magaña David. 2020. *Aguacates El Cultivo a Prueba de Pandemias*. <https://www.elespectador.com/noticias/economia/aguacates-el-cultivo-a-prueba-de-pandemias/>.
- Mellor, John W, and Bruce F Johnston. 1984. “The World Food Equation: Interrelations among Development, Employment, and Food Consumption.” *Journal of Economic Literature* 22(2): 531–74.
- Minagricultura. 2020. “Cadena Productiva Aguacate.”
- Muhandhis, Isnaini et al. 2021. “Modeling of Salt Supply Chains to Achieve Competitive Salt Prices.” *International Journal on Food System Dynamics* 12(1): 51–67.
- Olafsdottir, Anna Hulda et al. 2018. “System Dynamics Modelling and System Analysis Applied in Complex Research Projects - The Case of VALUMICS.” *International Journal on Food System Dynamics* 9(5): 409–18.
- ONU. 2020. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020 *El Estado Mundial*

de La Agricultura y La Alimentación 2020.

- Osorio, Felipe Abaunza, Santiago Arango Aramburo, and Yris Olaya Morales. 2011. "Simulación de Estrategias de Inversión Para Pequeños Caficultores Colombianos Simulation of Investment Strategies for Small Coffee Farmers in Colombia." *Revista Facultad Nacional De Agronomía* 64(2): 6277–90.
- Ovalle, Oscar Rubiano, Helmer Paz Orozco, and Hector Angulo Sinisterra. 2019a. "Analysis of Financial Flow for Small Producers of Colombian Coffee: A Systemic Approach." In *Handbook of Research on Urban and Humanitarian Logistics*, eds. Jesus Gonzalez-Feliu, Mario Chong, Jorge Vargas Florez, and Julio Padilla Solis. Hershey, PA, USA: IGI Global, 158–78. <https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-5225-8160-4.ch008>.
- . 2019b. "Analysis of Financial Flow for Small Producers of Colombian Coffee." In *Handbook of Research on Urban and Humanitarian Logistics*, IGI Global, 158–78. <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-5225-8160-4.ch008>.
- Parra-Peña, Rafael, Rafael Puyana, and Federico Yepes. 2021. "Análisis De La Productividad Del Sector Agropecuario En Colombia Y Su Impacto En Temas Como: Encadenamientos Productivos, Sostenibilidad E Internacionalización, En El Marco Del Programa Colombia Más Competitiva." *Fedesarrollo* 1: 135.
- Pasha, Donaya, and Erma Suryani. 2017. "Pengembangan Model Rantai Pasok Minyak Goreng Untuk Meningkatkan Produktivitas Menggunakan Sistem Dinamik Pada PT XYZ." *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi* 3(2): 116–28.
- Perfetti, J. J., Á.; Balcázar, A.; Hernández, and J.. Leibovich. 2013. Sociedad de Agricultores de Colombia, Fedesarrollo. *Políticas Para El Desarrollo de La Agricultura En Colombia*. <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/61> (May 2, 2021).
- Perfetti, Juan José, Álvaro Balcazar, Antonio Hernández, and José Leibovich. 2013. Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia *Vinculación de Los Pequeños Productores Al Desarrollo de La Agricultura*. <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/61>.
- Poppe, Krijn J. 2016. "Business Dynamics with Scenarios on Dutch Agriculture and Its Institutional Arrangements." 2: 176–81.
- PROCOLOMBIA. 2021. "En 2020 Se Exportaron 67.071 Toneladas de Aguacate Hass

- Colombiano.” <https://procolombia.co/noticias/el-aguacate-hass-colombiano-estara-presente-en-la-edicion-iv-del-super-bowl-con-mas-de-43-toneladas> (April 23, 2021).
- Rebolledo, Alexander, and Miguel Antonio Romero. 2011. “Avances En Investigación Sobre El Comportamiento Productivo Del Aguacate (Persea Americana Mill.) Bajo Condiciones Subtropicales.” *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 12(2): 113–20.
- Reina, Mauricio, Sandra Zuluaga, Wendy Bermúdez, and Sandra Oviedo. 2011. *Protección e Incentivos Agrícolas En Colombia*.
- Rich, Karl M et al. 2016. “Participatory Systems Approaches for Urban and Peri-Urban Agriculture Planning: The Role of System Dynamics and Spatial Group Model Building.” AGSY.
- Rincon Gomez, Michael Eduardo. 2021. “Proceso De Producción Del Aguacate Hass En Colombia Y Sus Impactos En La Distribución Física Internacional.”
- Rodríguez, Daniela. 2021. “Sector Secundario En Colombia: Características e Importancia.” *Lifeder*: 1.
- Rojas M., Zilia, and Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1977. “Evolución de La Agricultura y Las Instituciones Agrícolas de Colombia.” <https://repositorio.iica.int/handle/11324/15808> (May 1, 2021).
- Schwartz, M. et al. 2018. “Competitive Peruvian and Chilean Avocado Export Profile.” In *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, 1079–83.
- Secilio, Gustavo. 2005. *La Calidad En Alimentos Como Barrera Para-Arancelaria*.
- Shahbandeh, M. 2022. “Avocado Production Worldwide from 2000 to 2020.”
- Supply, Biomass, and Chain Coordination. 2021. “A System Dynamics Approach to Comparative Analysis of Biomass Supply Chain Coordination Strategies.”
- Suryania, Erma, Rully Agus, Totok Mulyono, and Lily Puspa. 2014. “Jurnal Teknologi Full Paper System Dynamics Model to Support Rice Production and Distribution For.” 3: 45–51.
- Tomta, Danielle. 2009. “Cadenas Productivas y Productividad de Las Mipymes.” *Criterio Libre* 7(11): 145–64.
- Tovar, Jorge, and Eduardo Uribe. 2008. instname:Universidad de los Andes *Reflexiones Sobre El Crecimiento de Largo Plazo Del Sector Agrícola En Colombia*. Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE. <http://economia.uniandes.edu.co> (May 1, 2021).
- UPRA. 2013. 53 Journal of Chemical Information and Modeling *Cultivo Comercial de*

- Aguacata Hass Identificación de Zonas Aptas En Colombia a Escala 1:100.000.*
- . 2018. “Zonificación de Aptitud Para El Cultivo Comercial de Aguacate Hass.” : 1–7.
- Uribe, Eduardo, Tovar, Jorge. 2011. “Rationalizing the Sluggish Growth of the Agricultural Sector in Colombia (Reflexiones Sobre El Crecimiento De Largo Plazo Del Sector Agrícola En Colombia).” *SSRN Electronic Journal*.
<https://papers.ssrn.com/abstract=1480375> (May 1, 2021).
- W, Forrester. 1962. “Industrial Dynamics.”
- Winz, Ines, Gary Brierley, and Sam Trowsdale. 2009. “The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management.” *Water Resources Management* 23(7): 1301–23.
- WRI. 2019. “WRI Homepage | World Resources Institute Research.”
<https://research.wri.org/wrr-food> (March 14, 2021).
- Xiong, Bo, and Yuhe Song. 2018. “Big Data and Dietary Trend: The Case of Avocado Imports in China.” *Journal of International Food and Agribusiness Marketing* 30(4): 343–54. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08974438.2018.1426073> (March 14, 2021).
- Zamrodah, Yuhanin. 2016. “Desarrollar El Proceso de Certificación En BPA Bajo La Resolución ICA 30021 de 2017 En Cultivo de Aguacate Hass En La Finca La Floresta, Ubicada En La Vereda Santa Rosa, Municipio de Restrepo-Valle Del Cauca.” 15(2): 1–23.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 8. Lista de ecuaciones del diagrama de Forrester.

NOMBRE	UNIDAD	ECUACIÓN
Abonos	Pesos	DELAY FIXED((3.34e+06*Ha)*(1+0.08*(Time)), 1 , 0)
Administración general	Pesos	DELAY FIXED((1e+06*12)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Agua	Pesos	DELAY FIXED((800*12)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Amortización de la deuda	Pesos	Pago de deuda
Análisis de suelo y foliar	Pesos	DELAY FIXED((0)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Aplicación de abono	Pesos	DELAY FIXED((720000*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Aplicación de agentes de control de plagas	Jornal	DELAY FIXED((356994*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Bacillus	Kg	DELAY FIXED((150000*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Beneficios Actualizados	Pesos	Coeficientes de actualización*Ingresos Totales
Caja	Pesos	INTEG (Ingresos por el aguacate +Préstamos-Costos Gastos-Pago de deuda, 0)
Calidad de exportación (Kg)	Kg	Fruta de Aguacate para venta*Tasa de incremento de la calidad
Calidad deseada	%	1
Calidad Nacional	%	(Calidad deseada-Tasa de incremento de la calidad)*Fruta de Aguacate para venta
Cantidad solicitada del crédito	Kg	3.2e+07
Cap. Trabajo	Pesos	PULSE(0, 1)* 1.4362e+07*Ha
Corte	Pesos	DELAY FIXED((0*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Corte 2	Pesos	DELAY FIXED((0*Ha)*(1+0.05*(Time)) , 2 , 0)
Costos	Pesos	IF THEN ELSE(Caja<0, 0, IF THEN ELSE(Costos totales>Caja, Caja, Costos totales)) Configuración para que la caja no de valore negativos
Costos actualizados	Pesos	Coeficientes de actualización*Costos totales+"Cap. Trabajo "+Inversión Fija
Costos de implementar BPA	Pesos	RANDOM UNIFORM(3e+07, 3.2e+07 , 0)*(1+0.05*Time)

Costos de infraestructura por BPA	Pesos	$PULSE(3, 1) * 2e+07$
Costos de producción	Pesos	Costos variables
Costos Fijos	Pesos	administración general + Agua + Análisis de suelo y foliar + Electricidad + Imprevistos +Mano de obra Mantenimiento de equipo + Teléfono + Ventas
Costos por sostenimiento de BPA	Pesos	$DELAY\ FIXED((3e+06 * Ha) * (1 + 0.05 * (Time)), 1, 0)$
Costos totales	Pesos	Costos Fijos Costos variables
Costos variables	pesos	Abonos Aplicación de abono Aplicación de agentes de control de plagas + Proteus + Bacillus +Limpieza y Barbecho Bauveria +Plateo+ Recolección +Corte +Corte 2 + Elaboración de hoyos + Nivelacion +Planta+Plantacion+Podas de aclareo+Podas de formacion +Rastreo+Transporte+Transporte de planta+Trazado+Trichoderma+Costos de infraestructura por BPA +Costos por sostenimiento de BPA
Cuota de pago	Pesos	$DELAY\ FIXED(Cantidad\ solicitada\ del\ crédito * ((Tasa\ de\ interés * ((1 + Tasa\ de\ interés)^{Plazo})) / (((1 + Tasa\ de\ interés)^{Plazo}) - 1)), 3, 0)$
Deuda	Pesos	INTEG (Intereses-Amortización de la deuda, Cantidad solicitada del crédito)
DTF	%	0.0802
Elaboración de hoyos	pesos	$PULSE(1, 1) * 300000 * Ha$
Electricidad	pesos	$DELAY\ FIXED((0) * (1 + 0.05 * (Time)), 1, 0)$
Factor de actualizacion	%	0.1
FINAL TIME	pesos	13
Flujo Neto de efectivo actualizado	Pesos	Beneficios Actualizados-Costos actualizados
Fruta de Aguacate para venta	Kg	Produccion de Aguacate (Kg)"-Mermas

Gastos	Pesos	IF THEN ELSE(Caja>Gastos familiares, Gastos familiares, 0)
Gastos de Administración	Pesos	Costos Fijos
Gastos familiares	Pesos	256400+83000*4*12
Hectareas	Ha	4
Imprevistos	Pesos	DELAY FIXED((198330*12)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Incremento de la calidad	%	Incremento de la productividad
Incremento de la productividad	%	F THEN ELSE(Inversion>2e+07, (0.0584/6+0.0838/6 + 0.032/6), (0.0584/6+0.0838 /6))
Ingresos 1° clase	Pesos	Precio primera clase*Primera calidad en kg
Ingresos 2° clase	Pesos	Precio segunda clase*Segunda calidad en Kg
Ingresos por el aguacate	Pesos	Ingresos Totales
Ingresos por exportación	Pesos	Calidad de exportación (Kg)**Precio exportación
Ingresos por ventas	Pesos	Ingresos Totales
Ingresos Totales	Pesos	Ingresos por exportacion+Ingresos 1° clase+Ingresos 2° clase
Intereses	Pesos	DELAY FIXED(Deuda*Tasa de interés , 4 , 0)
Inversión	Pesos	IF THEN ELSE(Utilidad Neta periodica-Gastos familiares>Inversion Maxima, Inversion Maxima , IF THEN ELSE(Utilidad Neta periodica<=0, 0, Utilidad Neta periodica *Tasa de Inversión))
Inversión Fija	Pesos	PULSE(0, 1)* 1.305e+07*Ha
Inversión Máxima	Pesos	2e+07
Limpieza y Barbecho	Pesos	PULSE(1, 1)*540000*Ha
Mano de obra	Jornal	DELAY FIXED((0*12)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Mantenimiento de equipo	Pesos	DELAY FIXED((0)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Mermas		Produccion de Aguacate (Kg)**0.1
Nivelación	Pesos	PULSE(1, 1)* 0*Ha
Pago de deuda	Pesos	IF THEN ELSE(Caja>Gastos+Costos, IF THEN ELSE((Caja-Gastos+Costos)>Cuota de pago , Cuota de pago , MIN((Caja-Gastos)+Costos

		, Cuota de pago)) , 0)
Planta	Pesos	PULSE(1, 1)*(200*12500)*Ha
Plantación	Pesos	PULSE(1, 1)*600000*Ha
Plateo	Pesos	DELAY FIXED((720000*Ha)*(1+0.05*(Time)) , 1, 0)
Plazo		10
Podas de aclareo	Pesos	DELAY FIXED((480000*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Podas de formación	Pesos	DELAY FIXED((480000*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Precio base exportación	pesos/kg	RANDOM UNIFORM(2*4000,4*4000 , 0)
Precio base primera clase	pesos/kg	RANDOM UNIFORM(4000 , 5000 , 0)
Precio base segunda clase	pesos/kg	RANDOM UNIFORM(2000, 3000, 0)
Precio exportación	Pesos	DELAY FIXED(Precio base exportacion*(1+0.02*(Time)), 1 , 0)
Precio primera clase		DELAY FIXED(Precio base primera clase*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Precio segunda clase	Pesos	DELAY FIXED(Precio base segunda clase*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Préstamos		PULSE(3, 1)*Cantidad solicitada del crédito
Primera calidad en kg	Kg	Calidad Nacional*0.6
Producción de Aguacate (Kg)	Kg	Produccion (ton/ha)"(Time)*1000*Ha*(1+Productividad acumulada)
Productividad		Incremento de la productividad
Productividad acumulada		INTEG (Productividad, 0)
Proteus		DELAY FIXED((150500*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Rastreo	Pesos	PULSE(1, 1)* 0*Ha
Recolección	Pesos	("Produccion de Aguacate (Kg)"*0.0125*30000)*(1+0.05*(Time))
Rendimiento en ton/ha	Pesos	IF THEN ELSE(Inversion>=Costos de implementar BPA, 1, 0)
SAVEPER	Year	1
Segunda calidad en Kg	Kg	Calidad Nacional*0.4
Tasa de incremento de la calidad		INTEG (Incremento de la calidad,

		0)
Tasa de interés		IF THEN ELSE(Pertenecer a una asociación=1, (0.05+DTF) , (0.07+DTF))
Tasa de Inversión		0.2
Telefono		DELAY FIXED((0)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
TIME STEP	Year	1
Transporte	Pesos	DELAY FIXED((0*Ha)*(1+0.05*(Time)) , 2 , 0)
Transporte de planta	Pesos	PULSE(1, 1)* 600000*Ha
Trazado	Kg	PULSE(1, 1)* 150000*Ha
Trichoderma	Kg	DELAY FIXED((150500*Ha)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
Utilidad bruta	Pesos	INTEG (Ingresos por ventas-Costos de produccion, 0)
Utilidad de operacion		Utilidad despues de costos de produccion-Gastos de Administracion
Utilidad despues de costos de produccion		Utilidad bruta
Utilidad despues de gastos admon		Utilidad de operación
Utilidad neta	Pesos	Utilidad despues de gastos admon-Gastos familiares
Utilidad Neta periodica		Ingresos por ventas+Préstamos-Costos totales-Gastos familiares
Utilidad neta1		Utilidad Neta periodica+Préstamos
Ventas	Pesos	DELAY FIXED((0)*(1+0.05*(Time)), 1 , 0)
VPN	Pesos	INTEG (Entrada, 0)
Calidad deseada		1
Inversión	Pesos	IF THEN ELSE(Utilidad Neta periodica-Gastos familiares>Inversion Maxima, Inversion Maxima , IF THEN ELSE(Utilidad Neta periodica<=0, 0, Utilidad Neta periodica *Tasa de Inversión))
Tasa de interés	%	IF THEN ELSE(Pertenecer a una asociación=1, (0.05+DTF) , (0.07+DTF))
Utilidad neta1	Pesos	Utilidad Neta periodica+Préstamos
Costos de producción	Pesos	Costos variables

Ingresos Totales	Pesos	Ingresos por exportacion+Ingresos 1° clase+Ingresos 2° clase
Costos de implementar BPA	Pesos	RANDOM UNIFORM(3e+07, 3.2e+07 , 0)*(1+0.05*Time)
Producción de Aguacate (Kg)	Kg	Producción (ton/ha)"(Time)*1000*Ha*(1+Productividad acumulada)

Fuente. Autor del proyecto