



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Dinámica de los Agroecosistemas bajo el
enfoque de Sistemas Socioecológicos.
Caso de estudio: Cuenca Hidrográfica del
Río Grande y del Río Chico**

Cristina Vargas Betancur

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Ciudad, Colombia

2020

Dinámica de los Agroecosistemas bajo el enfoque de Sistemas Socioecológicos. Caso de estudio: Cuenca Hidrográfica del Río Grande y del Río Chico

Cristina Vargas Betancur

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Director (a):

Ph.D., Clara Inés Villegas Palacio Codirector (a):

MSc, Juan David Osorio Múnera

Línea de Investigación:

Sistemas socioecológicos y Dinámica de los Agroecosistemas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Ciudad, Colombia

2020

Agradecimientos

Agradezco a las instituciones Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y a COLCIENCIAS que mediante el proyecto TRASSE "Trajectories of Social-Ecological Systems in Latin American Watersheds: Facing Complexity and Vulnerability in the context of Climate Change" por su financiación y por su contribución a mi proceso de formación investigativa.

Mi más profundo agradecimiento a mi Directora Clara Inés Villegas Palacio por su disposición, orientación, paciencia y apoyo durante todo este proceso, a mi codirector Juan David Osorio por comentarios y contribuciones. También agradezco a Luisa Díez Echavarría, Linda Ivet Berrio y Jessica Arias por sus orientaciones y ayuda que permitieron mejorar la investigación.

Agradezco a los productores de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico por su tiempo y disposición para la recolección de información para llevar a cabo los objetivos de esta investigación.

Quiero agradecer a Andrea Suárez Pardo y Laura Montoya por su valiosa amistad, apoyo y compañía durante todo el proceso de realización de esta investigación. A mi familia y amigos de la vida que con sus palabras, afecto y amistad aportaron en la fuerza y confianza para esta etapa de mi vida.

Resumen

Los cambios en los ecosistemas afectan el sistema social ya que comprometen el funcionamiento de estos y su capacidad de generar beneficios esenciales para la sociedad. Al igual que los cambios en los ecosistemas inciden sobre el sistema social, los procesos de decisión individuales o colectivos, para parcelas agrícolas, fincas enteras o áreas más grandes, y para horizontes de tiempo que se extienden de un día a varias décadas (Quesnel et al., 2015) inciden en las trayectorias de los sistemas de producción de alimentos. Generalmente los sistemas de producción agrícola se pueden dividir en tres sistemas que interactúan: el sistema de decisión, el sistema operativo y el sistema biofísico (Clouaire & Rellier, 2009). El sistema biofísico lo conforman los recursos naturales y el ambiente, la interacción de factores y procesos del recurso natural con el desarrollo de las actividades, como el relieve, los cultivos, el ganado. El sistema operativo son las entradas de material para la ejecución de los procesos de producción como fertilizantes, complementos alimenticios, maquinaria. El sistema de decisión es el individuo o conjunto de individuos que proporciona las instrucciones de la ejecución de las tareas y las observaciones para alcanzar el objetivo general del sistema de producción. Estos sistemas modelan la dinámica de los elementos que constituyen el agroecosistema. La presente investigación propone el análisis de los agroecosistemas bajo la perspectiva de sistemas socio-ecológicos, y busca responder la pregunta ¿Cómo son el sistema de decisión, el sistema operativo y el sistema biofísico en los agroecosistemas, a nivel de predio, en una cuenca hidrográfica estratégica para la provisión de servicios ecosistémicos, y cuáles son los factores endógenos y exógenos que determinan las decisiones de producción? El caso de estudio de investigación es la Cuenca Hidrográfica Río Grande ubicada en los Andes Colombianos, estratégica en la provisión de agua potable para el segundo centro poblado más importante del país con cerca de 4 millones de habitantes. La cuenca está dedicada fundamentalmente a ganadería de leche y cultivos de tomate de árbol y papa.

La identificación y relación de las variables se realizó a partir de una revisión sistemática de literatura, del análisis de cronogramas de producción de los cultivos de tomate de árbol, papa y ganadería de leche, características socioeconómicas, productivas, ambientales y validación en campo con productores. Las decisiones de los productores en los agroecosistemas de la Cuenca no

sólo están influenciadas por las motivaciones económicas asociadas a los costos y ganancias de la producción, sino también por las motivaciones de carácter social y cultural, cómo la tradición, que determinan las características de la zona y la transferencia de conocimiento por generaciones, las experiencias que generan temor e incertidumbre frente a los resultados de la producción, la presencia de cooperativas, lazos de confianza entre la comunidad de los agricultores que fomentan a la cooperación y colaboración.

Palabras clave: sistemas socioecológicos, agroecosistemas, dinámica de sistemas, diagramas causales, toma de decisión

Abstract: Agroecosystems Dynamics under the Socioecological System approach. Case study: Río Grande y Río Chico Watershed

Changes in ecosystems affect the social system since they compromise their functioning and their ability to generate essential benefits for society. Just as changes in ecosystems affect the social system, individual or collective decision processes, for agricultural plots, entire farms or larger areas, and for time horizons that extend from one day to several decades (Quesnel et al., 2015) influence the trajectories of food production systems. Generally, agricultural production systems can be divided into three interacting systems: the decision system, the operating system and the biophysical system (Clouaire & Rellier, 2009). The biophysical system is made up of natural resources and the environment, the interaction of natural resource factors and processes with the development of activities, such as relief, crops, and livestock. The operating system is the material inputs for the execution of production processes such as fertilizers, food supplements, machinery. The decision system is the individual or set of individuals who provides the instructions for the execution of the tasks and the observations to achieve the general objective of the production system. These systems model the dynamics of the elements that make up the agroecosystem. This research proposes the analysis of agroecosystems from the perspective of socio-ecological systems, and seeks to answer the question: ¿How are the decision system, the operating system and the biophysical system in agroecosystems, at the farm level, in a basin hydrographic strategy for the provision of ecosystem services, and what are the endogenous and exogenous factors that determine production decisions? The research case study is the Río Grande Hydrographic Basin located in the Colombian Andes, strategic in the provision of drinking water for the second most important populated center in the country with about 4 million inhabitants. The basin is mainly dedicated to dairy farming and tree tomato and potato crops. The identification and relationship of the variables was carried out from a systematic literature review, the analysis of production schedules of tree tomato, potato and dairy farming, socioeconomic, productive, environmental characteristics and field validation with producers. The decisions of the producers in the agroecosystems of the Basin are not only influenced by the economic motivations associated with the costs and profits of production, but also by the social and cultural motivations, such as tradition, which determine the characteristics of the zone and the transfer of knowledge for generations, experiences that generate fear and uncertainty in the face of production results, the presence of cooperatives, ties of trust between the farmer community that encourage cooperation and collaboration..

Keywords: socio-ecological systems, agroecosystems, system dynamics, causal diagrams, decision making

Contenido

	Pág.
Resumen.....	VII
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas.....	XIV
Lista de fotos.....	XV
Introducción	1
Capítulo 1.....	5
1. Marco Teórico	5
1.1 Sistemas Socio-ecológicos	5
1.2 Dinámica de los Agroecosistemas bajo el enfoque de Sistemas Socio-ecológicos.....	7
Capítulo 2.....	17
2. Metodología	17
2.1. Caso de estudio: Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico.	18
2.2 FASE I: Identificación con base en fuentes secundarias de posibles variables que determinan las dinámicas de los agroecosistemas	21
2.2. FASE II: Planteamiento de la hipótesis dinámica de los agroecosistemas en la zona de estudio22	
2.3. FASE III: Recolección de información en campo.....	25
2.4. FASE IV: Formulación del Diagrama Causal de la Dinámica de un agroecosistema	30
2.5. FASE V: Evaluación del efecto de variables externas de acuerdo con el Diagrama Causal de Dinámicas Agroecosistemas.....	32
Capítulo 3.....	35
3. Resultados	35
3.1. Variables que hacen parte en la dinámica de los agroecosistemas.....	35
3.1.1. Línea de tiempo con hitos importantes de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico	35
3.1.2. Cronogramas de producción	40
3.1.3. Identificación de las variables que determinan las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca del Río Grande y Río Chico	46

3.2. Formulación de la hipótesis dinámica: Diagramas Causales del sistema biofísico, sistema operativo y sistema de decisión	54
3.2.1. Diagrama Causal Sistema Biofísico.....	55
3.2.2. Diagrama Causal Sistema Operativo	57
3.2.3. Diagrama Causal Sistema de Decisión	62
3.3. Recolección de información en campo	67
3.4. Formulación del Diagrama Causal de la dinámica de los agroecosistemas.....	82
3.5. Evaluación del efecto de variables externas de acuerdo con el Diagrama Causal de Dinámica de los Agroecosistemas.	86
4. Discusión	107
5. Conclusiones	111
Bibliografía	115

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Los subsistemas centrales en un marco para analizar los sistemas socio-ecológicos.....	6
Figura 2. Modelo de interacción de elementos de un sistema de un agroecosistema.	8
Figura 3. Estructura de los Agroecosistemas bajo el enfoque de un Sistema Socio-ecológico.	10
Figura 4. Ruta metodológica.....	18
Figura 5. Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico	20
Figura 6. Explicación del concepto de ciclos de retroalimentación en un Diagrama Causal.....	23
Figura 7. Mapa de los Municipios y veredas por núcleos de trabajo.....	27
Figura 8. Zonificación de las áreas del SILAP Santa Rosa de Osos.....	29
Figura 9. Ejemplo consolidación del Diagrama Causal a partir de los sistemas que integran un agroecosistema.	31
Figura 10. Ejemplo evaluación del efecto de variables externas en el Diagrama Causal.	33
Figura 11. Periodos e hitos importantes en la historia de la Cuenca del Río Grande y Río Chico. 36	
Figura 12. Línea de tiempo de hitos importantes específicos en la historia de la Cuenca del Río Grande y Río Chico.....	38
Figura 13. Cronograma de producción del Cultivo de Tomate de Árbol.....	41
Figura 14. Cronograma de producción del Cultivo de Papa.	43
Figura 15. Calendario de manejo agrícola para la producción de leche	46
Figura 16. Diagrama de bloques de un agroecosistema en la Cuenca	53
Figura 17. Diagrama Causal Sistema Biofísico	55
Figura 18. Diagrama Causal del Sistema Operativo	59
Figura 19. Diagrama Causal Sistema de Decisión.....	63
Figura 20. Diagrama Causal de las Dinámicas de los Agroecosistemas en la Cuenca Río Grande y Río Chico	84
Figura 21. Efecto de eventos climáticos extremos en la Dinámica de los Agroecosistemas.	89
Figura 22. Efecto de los Costos de insumos de la Producción en la Dinámica de los Agroecosistemas	94
Figura 23. Efecto de la variable Pago por Servicios Ambientales (PSA)en la Dinámica de los Agroecosistemas	99
Figura 24. Efecto de la variable Acceso a Seguros en la Dinámica de los Agroecosistemas	104

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Algunas investigaciones de modelos de simulación de Agroecosistemas y Sistemas Socio-ecológicos bajo el enfoque de dinámica de sistemas	12
Tabla 2. Municipios y veredas por núcleos de trabajo.....	26
Tabla 3. Numero de datos existentes del Núcleo 3 como zona para el trabajo de campo.....	28
Tabla 4. Formato registro de validación por revisión literaria de las variables.	32
Tabla 5. Descripción de los sistemas de un agroecosistema	46
Tabla 6. Descripción de las variables del Sistema Biofísico.....	47
Tabla 7. Descripción de las variables del Sistema Operativo.	47
Tabla 8. Descripción de las variables del Sistema de Decisión	51
Tabla 9. Leyenda del Diagrama Causal del Sistema Biofísico	55
Tabla 10. Leyenda del Diagrama Causal del Sistema Operativo	57
Tabla 11. Leyenda del Diagrama Causal del Sistema de Decisión	62
Tabla 12. Leyenda del Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca. ...	83
Tabla 13. Leyenda del efecto de Evento Climático Extremo en la dinámica de los agroecosistemas	87
Tabla 14. Variación porcentual entre el mes de enero y febrero del 2019 de los costos de los fertilizantes, enmiendas y acondicionadores del suelo	92
Tabla 15. Leyenda del efecto de los Costos de los insumos de la Producción en la dinámica de los agroecosistemas	92
Tabla 16. Leyenda del efecto de la Implementación de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en la dinámica de los agroecosistemas	98
Tabla 17. Leyenda del efecto del Acceso a Seguros en la dinámica de los agroecosistemas	103

Lista de fotos

	Pág.
Foto 1. Reforestación en los linderos del predio El Líbano.....	71
Foto 2. Área de bosque y pasto en el predio El Líbano	72
Foto 3. Establecimiento donde se encuentra el tanque de enfriamiento del predio Finca los Tres .	74
Foto 4. Áreas de bosque y pasto del predio La Floresta.	76
Foto 5. Movilización del ganado de los potreros a la sala de ordeño en el predio La Cascada.....	77
Foto 6. Concentración del ganado antes de pasar a la sala de ordeño en el predio La Cascada.....	78
Foto 7. Sala de ordeño en el predio La Cascada.....	78
Foto 8. Comando de control y tanque de enfriamiento en el predio La Cascada	79
Foto 9. Porcícola en el predio La Cascada.....	80

Introducción

Los cambios en los ecosistemas afectan directa e indirectamente el sistema social ya que comprometen el funcionamiento de estos y su capacidad de generar beneficios esenciales para la sociedad; por ejemplo, afectaciones a los servicios de aprovisionamiento inciden sobre la capacidad de los sistemas sociales de obtener alimentos perjudicando el bienestar del sistema social. Al igual que los cambios en los ecosistemas inciden sobre el sistema social, los procesos de decisión individuales o colectivos, para parcelas agrícolas, fincas enteras o áreas más grandes, y para horizontes de tiempo que se extienden de un día a varias décadas (Quesnel et al., 2015) inciden en las trayectorias de los sistemas de producción de alimentos. Este es un claro ejemplo de que los sistemas sociales y los ecosistemas están estrechamente vinculados, convirtiéndose en un sistema integrado de humanos en la naturaleza denominado sistemas socio-ecológicos (Anderies, Janssen, & Ostrom, 2004).

Los sistemas socio-ecológicos (SES) están conformados por las relaciones entre los sistemas sociales y naturales (Ostrom, 2009). El SES funciona por la coacción entre las especies de fauna y flora, que influyen en la cantidad de oferta de servicios ecosistémicos (Farm et al., 2012); interacciones sociales que definen como los seres humanos los usan (demanda) (Janssen et al., 2006), las relaciones entre los ecosistemas y acciones antropogénicas (Dee et al., 2017); y las interacciones sociales que pueden influir sobre las prioridades de los administradores de recursos que inducen a crear las medidas de gestión (Alexander et al., 2016; Janssen et al., 2006). En este orden de ideas, los sistemas de producción agrícolas, comúnmente denominados agroecosistemas son un ejemplo de un SES.

El objetivo de los agroecosistemas es producir suficiente alimento, materias primas para diversos usos industriales: farmacéuticos, adhesivos, biocombustibles, entre otros; para cubrir las necesidades del sistema social, sin embargo, el objetivo de maximizar la productividad en periodos de corto plazo ha implicado el aumento de las concentraciones de fertilizantes, pesticidas, semillas seleccionadas, uso de maquinaria, sistemas de riego, mano de obra, entre otros. Uno de los principales desafíos de la agricultura del siglo XXI es garantizar una transición hacia el manejo sostenible de los agroecosistemas, con el fin de prevenir, mitigar, controlar los impactos ambientales de las actividades agropecuarias, proporcionar rendimientos socioeconómicos adecuados y estables, y contribuir a la restauración de las funciones del ecosistema.

Los agroecosistemas son ecosistemas modificados por el hombre que interactúan con factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción para la obtención de alimento y servicios en beneficio del hombre (Ruiz, 1995). Los agroecosistemas abarcan la interacción de las actividades agropecuarias, los procesos biofísicos y los procesos de decisión individual o colectiva, pero los hace susceptibles a eventos naturales impredecibles como cambios en el clima y enfermedades; cambios en el factor económico como cambios en la demanda,

la fluctuación de los precios; variaciones en las políticas, y las presiones sociales de cultura y tradición. La presencia de varios componentes que interactúan con los procesos biofísicos, y la necesidad de responder simultáneamente a los objetivos socioeconómicos y ambientales en conflicto, desafían el diseño de los agroecosistemas y el proceso de decisión relacionado (Rapidel et al., 2015).

Generalmente los agroecosistemas se pueden dividir en tres sistemas que interactúan: el sistema de decisión, el sistema operativo y el sistema biofísico (Clouaire & Rellier, 2009). El sistema biofísico lo conforman los recursos naturales, la interacción de factores y procesos del recurso natural con el desarrollo de las actividades, como el relieve, los cultivos, el ganado. El sistema operativo son las entradas de material para la ejecución de los procesos de producción como fertilizantes, complementos alimenticios, maquinaria. El sistema de decisión es el individuo o conjunto de individuos que proporciona las instrucciones de la ejecución de las tareas y las observaciones para alcanzar el objetivo general del sistema de producción. Estos sistemas modelan la dinámica de los elementos que constituyen el agroecosistema, desde los modelos de cultivo, las estrategias de gestión y la ejecución de las acciones para llevar a cabo las actividades.

De manera análoga, los sistemas socio-ecológicos se componen de múltiples subsistemas y variables internas en múltiples escalas espacio-temporales (Ostrom, 2009). En ocasiones, el cambio en los ecosistemas y la sociedad es gradual, los periodos de proceso son constantes, las cosas avanzan de manera bastante continua y predecible. Otras veces el cambio es abrupto, desorganizado y/o turbulento; durante estos periodos las consecuencias de las acciones son ambiguas, el futuro de la dinámica del sistema es poco claro e incierto, lo que dificulta la comprensión y predicción del comportamiento del mismo (Folke et al., 2005). Sin una adecuada comprensión de los agroecosistemas como sistemas socio-ecológicos y los factores que determinan los sistemas de decisión y operativo dificulta el diseño de estrategias que permitan el desarrollo de la producción de alimentos teniendo en cuenta las características del sistema natural. Lo anterior evidencia la necesidad de estudiar los componentes de los agroecosistemas, entendidos como sistemas socio-ecológicos, sus interacciones y los factores que determinan las decisiones de uso del uso y de las técnicas de producción. Lo anterior permite comprender la trayectoria del sistema a medida que pasa por cambios, facilitando el fortalecimiento de la resiliencia de estos sistemas socio-ecológicos ante perturbaciones de diversa índole (Cumming et al., 2005)

Los agroecosistemas se enfrentan a cambios complejos, dinámicos e interrelacionados asociados (entre otras cosas) con el cambio climático, el aumento de la demanda de alimentos, la escasez de recursos naturales, los precios volátiles de insumos y productos, el aumento de los costos de energía y la regulación administrativa (Cros et al., 2001). El ritmo, la escala e incluso la dirección de tales cambios son difícilmente predecibles (Thompson & Scoones, 2009). En consecuencia, es importante conocer la estructura y relaciones al interior y entre los agroecosistemas con el fin de entender y conocer el comportamiento de estos sistemas así como predecir el efecto potencial de la gestión y/o las decisiones individuales o colectivas, sobre cambios en el funcionamiento del sistema natural, intervenciones políticas y el manejo de las actividades agropecuarias, que asimismo, son determinantes del desempeño económico de los sistemas de producción y del atractivo de la agricultura como proveedor alimentos y de empleo.

Los agroecosistemas al ser dinámicos y diversos requieren políticas y acciones que no solo contribuyan a los objetivos sociales, como la reducción de la pobreza, sino que también logren una evolución continua de las cambiantes condiciones ecológicas, económicas, sociales y políticas y brinden flexibilidad para adaptarse a las sorpresas (Thompson & Scoones, 2009). Para estudiar el funcionamiento de los agroecosistemas, es necesario entender el proceso de decisión individual y/o colectiva y sus interacciones con los procesos biofísicos, la progresión de las acciones resultantes de tomar la decisión y los factores importantes que provienen del entorno externo (los agroecosistemas se encuentran expuestos a muchos factores exógenos en donde la decisión del agricultor no tiene influencia, un ejemplo de factor exógeno es el clima) (Quesnel et al., 2015).

Finalmente, estudiar las dinámicas y el comportamiento de los agroecosistemas permite detectar ciclos que es necesario romper, ya que los sistemas pueden quedar atrapados en ciclos de pobreza o degradación ecológica que son resistentes a los cambios y a la transformación (Cabel & Oelofse, 2012), o ciclos que es necesario reforzar como el cuidado del capital natural, y prever los efectos sobre los componentes ambientales y socioeconómicos. De esta forma, el estudio de las dinámicas de los agroecosistemas ayuda a comprender mejor las condiciones de su viabilidad, mejorar su eficiencia y su resistencia a los peligros, o encontrar formas innovadoras de operarlos en presencia de nuevas condiciones económicas, sociales y/o regulatorias.

La presente investigación se toma como unidad de análisis el predio el cual se relaciona como agroecosistema debido a que en el predio se da la interacción entre factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción para la obtención de alimento y servicios en beneficio del hombre (Ruiz, 1995). Como se mencionó anteriormente esto es lo que define un agroecosistema por lo tanto para efectos de la presente investigación asimilamos cada predio como un agroecosistema, bajo el enfoque de sistemas socio-ecológicos. El objetivo de la presente investigación es caracterizar los sistemas de decisión, operativo y biofísico y sus interacciones, en agroecosistemas (predios) de una cuenca hidrográfica estratégica para la provisión de servicios ecosistémicos e identificar cuáles son los factores endógenos y exógenos que determinan las decisiones de producción (¿qué producir, dónde producir, cómo producir y cuánto producir?)

El caso de estudio de investigación es la Cuenca Hidrográfica Río Grande, debido a su ubicación estratégica ya que no sólo provee servicios ecosistémicos vitales para la población asentada en ella, sino también para áreas urbanas localizadas cerca de las misma.

Los objetivos aprobados por el Consejo de Facultad de Minas para la presente tesis son:

Objetivos General

Caracterizar, bajo el enfoque de sistemas socio-ecológicos, los sistemas de decisión, operativo y biofísico y sus interacciones, a nivel de predio, en agroecosistemas de una cuenca hidrográfica estratégica para la provisión de servicios ecosistémicos. Caso de estudio, Cuenca Hidrográfica Río Grande (Antioquia, Colombia)

Objetivos Específicos:

- Identificar las variables que hacen parte de los sistemas de decisión, operativo y biofísico y sus interrelaciones en agroecosistemas, a nivel de predio, en cuencas hidrográficas

estratégicas para la provisión de servicios ecosistémicos (construcción de diagrama causal para cada sistema).

- Desarrollar un modelo conceptual de interrelación entre los sistemas de decisión, operativo y biofísico en agroecosistemas, a nivel de predio, en cuencas hidrográficas estratégicas para la provisión de servicios ecosistémicos (construcción de diagrama causal completo).
- Validar el modelo conceptual desarrollado para el caso de estudio.
- Identificar el posible efecto de cambios en factores exógenos sobre la dinámica de los agroecosistemas.

Capítulo 1

1. Marco Teórico

En este capítulo se presenta el marco teórico sobre el cual se fundamenta la presente investigación. El marco teórico está conformado por dos pilares fundamentales: marco teórico en sistemas socio-ecológicos (SSE) (la definición de SSE, su funcionamiento y la interacción de sus componentes) y el marco teórico referente a agroecosistemas (definición, porqué se relacionan como SSE y sus componentes interactivos). Posteriormente este capítulo presenta una propuesta de marco conceptual para el análisis de las dinámicas de los agroecosistemas, que integra los dos pilares del marco teórico anteriormente mencionados, y por último se presenta una revisión de algunas investigaciones sobre SSE y Agroecosistemas haciendo énfasis en los modelos de Dinámica de Sistemas (DS).

1.1 Sistemas Socio-ecológicos

Se entiende por sistema socio-ecológico (SSE) aquel sistema formado por un componente social (humano) en interacción con un componente ecológico (biofísico), donde el sistema como un todo es la existencia de importantes relaciones que la sociedad establece entorno a la naturaleza (Gallopín, Gutman, & Maletta, 1989). Este tipo de sistemas pueden ser urbanos o rurales y definirse a diferentes escalas (espacio- temporales) que se consideran desde lo local a lo global (Gallopín Gilverto, 2013).

Los SSE son sistemas adaptativos con múltiples interrelaciones, compuestos por componentes biofísicos y sociales, donde los individuos invierten tiempo y esfuerzo en el desarrollo de organizaciones para el acceso físico e institucional que transforman el funcionamiento del sistema, para hacer frente a diversas perturbaciones externas y problemas internos, que se introducen en una red de relaciones entre los elementos que lo conforman a distintas escalas (Janssen & Ostrom, 2006).

Teniendo en cuenta los componentes biofísicos y sociales, las dinámicas entre las interacciones culturales que establecen los seres humanos y con los sistemas naturales, permite comprender los conflictos de acceso, uso y distribución de los recursos que los sistemas naturales proporcionan para el desarrollo (Chapin et al., 2009). Cuando una comunidad lleva a cabo la apropiación de los diferentes bienes y servicios ecosistémicos, dicha apropiación presenta diversas formas de interacción con el ecosistema, cada una de las cuales impacta de manera distinta, generando una expresión territorial y espacial única que determina la configuración del paisaje (Sordá, 2012) Un sistema socio-ecológico puede ser intervenido en dos maneras por perturbaciones externas; y por las fluctuaciones en las entidades internas y los vínculos entre ellas (Anderies et al., 2004).

En la **Figura 1** se observa el marco general propuesto por Ostrom (2009) el cual permite entender el comportamiento de un sistema socio-ecológico y el análisis de sus dinámicas. Un sistema socio-ecológico está compuesto de subsistemas cada uno con variables internas de diferentes niveles. Los subsistemas son (i) Unidades de recurso (por ejemplo, árboles, arbustos y plantas contenidas en el parque), (ii) Sistema de recurso (plantas contenidas en el parque, tipos de vida silvestre, cantidad y flujo de agua), (iii) Sistema de gobernanza (el gobierno y otras organizaciones que manejan el parque, las reglas específicas relacionadas con el uso del parque) y (iv) Usuarios (individuos que usan el parque de diversas maneras para sustento, recreación o propósitos comerciales). Las interacciones entre dichos sistemas generan unas respuestas que afectan a su vez a los subsistemas. Los subsistemas se pueden estudiar por separado con el fin de entender de forma detallada sus comportamientos, sin embargo, se debe entender que interactúan entre sí para poder generar resultados en todo el SSE. Además, estos subsistemas se componen de múltiples variables de segundo nivel que están compuestos además de variables más profundas (Ostrom, 2009).

Figura 1. Los subsistemas centrales en un marco para analizar los sistemas socio-ecológicos.



Fuente: (Ostrom, 2009)

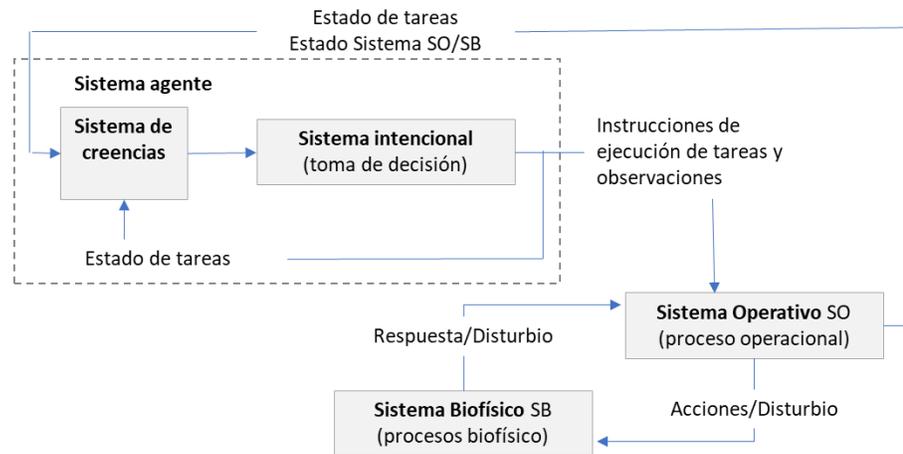
1.2 Dinámica de los Agroecosistemas bajo el enfoque de Sistemas Socio-ecológicos

Los agroecosistemas (AES) son ecosistemas sometidos por el hombre a continuas modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos para la producción de alimentos y fibras; se trata de entes físicos identificables y localizables; representan totalidades espacialmente limitadas e interconectadas de componentes bióticos y abióticos caracterizados por un relativo funcionamiento sostenido en el tiempo (Altieri, Hecht, Matt Magdoff, & Richard Sikor, 1999). Se trata de sistemas en donde sus componentes biológicos, que han sido distribuidos en el tiempo y en el espacio, interactúan con componentes socioculturales como los objetivos, las racionalidades, los conocimientos y la cultura de los productores. Dicho de otra forma, son el resultado de la coevolución entre los procesos sociales y naturales, de las interacciones entre los productores con sus conocimientos y su entorno biofísico y socio económico (Sarandón & Flores, 2014).

El concepto base de los AES permite ofrecer un marco de referencia para analizar las relaciones de los subsistemas en función del número de componentes, teniendo en cuenta el conjunto de entradas, salidas y las interacciones entre sus partes (Gliessman, 2002)(Fischer et al., 2010). De acuerdo con Clouaire & Rellier, 2009, un agroecosistema (ver **Figura 2**) se puede dividir en tres subsistemas interactivos, donde las actividades agrícolas, los procesos biofísicos y procesos de decisión individuales y/o colectivas, están constantemente interrelacionados:

- El sistema biofísico: lo componen la interacción de los recursos naturales y el ambiente, tales como, las fuentes de agua, el suelo, el relieve, los cultivos, el ganado, entre otros.
- El sistema operativo: lo componen las entradas de material para la ejecución de los procesos de producción como fertilizantes, complementos alimenticios, maquinaria.
- El sistema de decisión: es el individuo (agricultor) o conjunto de individuos que proporciona las instrucciones de la ejecución de las tareas y las observaciones para alcanzar el objetivo general del sistema de producción.

De esta forma los agroecosistemas implican el aporte de recursos (semillas, fertilizantes, pesticidas, tiempo, mano de obra, etc.) a los sistemas naturales dirigidos a la recolección de productos para la venta (biomasa, granos, ganado, etc.). La interacción entre los procesos naturales y los controlados por el ser humano está en el núcleo del agroecosistema. Como agente, el agricultor toma decisiones sobre el momento influenciado por lo elementos socioculturales (León, 2014), la combinación y la implementación de las operaciones técnicas (labranza, siembra, fertilización, riego, fumigación, cosecha, alimentación del ganado, etc.) son indispensables para lograr sus objetivos.

Figura 2. Modelo de interacción de elementos de un sistema de un agroecosistema.

Fuente: Adaptación de (Quesnel et al., 2015) a partir de los Subsistemas de producción de (Clouaire & Rellier, 2009)

Por lo tanto, es importante reconocer cada subsistema de los agroecosistemas como sistemas dinámicos vinculados. Cada uno de estos sistemas consta de procesos internos que modelan la dinámica de los elementos que constituyen el agroecosistema. Esta diferenciación permite separar el proceso de toma de decisiones del individuo o conjunto de individuos de los procesos biofísicos que controla. Además, permite identificar los procesos operativos que resultan de la implementación de la ejecución de tareas o las instrucciones de observación del agente quien toma la decisión (Quesnel et al., 2015).

Para una adecuada lectura de la estructura de los agroecosistemas bajo el enfoque de un sistema socio-ecológicos; se utilizan siglas como SSE haciendo referencia al sistema socio-ecológico; P que hace referencia del predio que se relaciona como agroecosistema como unidad de análisis. En la **Figura 3** se observa la estructura dicha estructura en donde se evidencia los componentes conceptuales y las interrelaciones entre estos.

Un sistema socio-ecológico es una estructura que puede ser analizada considerando el subsistema social y el subsistema ecológico. El primero conformado de comportamientos e ideas, donde los primeros incluyen a las instituciones políticas, económicas y sociales, y a la tecnología; y las ideas incluyen los valores, conocimiento, ideología, espiritualidad, artes y cultura. Mientras tanto, el subsistema ecológico incluye todos los ecosistemas, minerales, hidrología, clima, procesos físicos, químicos y biológicos de la biósfera (Raskin, 2006). Los sistemas socio-ecológicos se integra de redes de sistemas socio-ecológicos a diferentes escalas tales como la escala regional como son las cuencas hidrográficas y éstos, a su vez, de sistemas socio-ecológicos locales como agroecosistemas, lo que conforma una estructura anidada de subsistemas socio-ecológicos (SSE1, SS2, SSE3) (Ostrom, 2009; Velázquez-torres, 2015). Debido a esta interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico, los modos de apropiación y las instituciones, las cuencas hidrográficas reúnen todas las condiciones necesarias para ser consideradas como unidades planificadoras por las cuales regir y establecer programas de planificación de forma integrada y

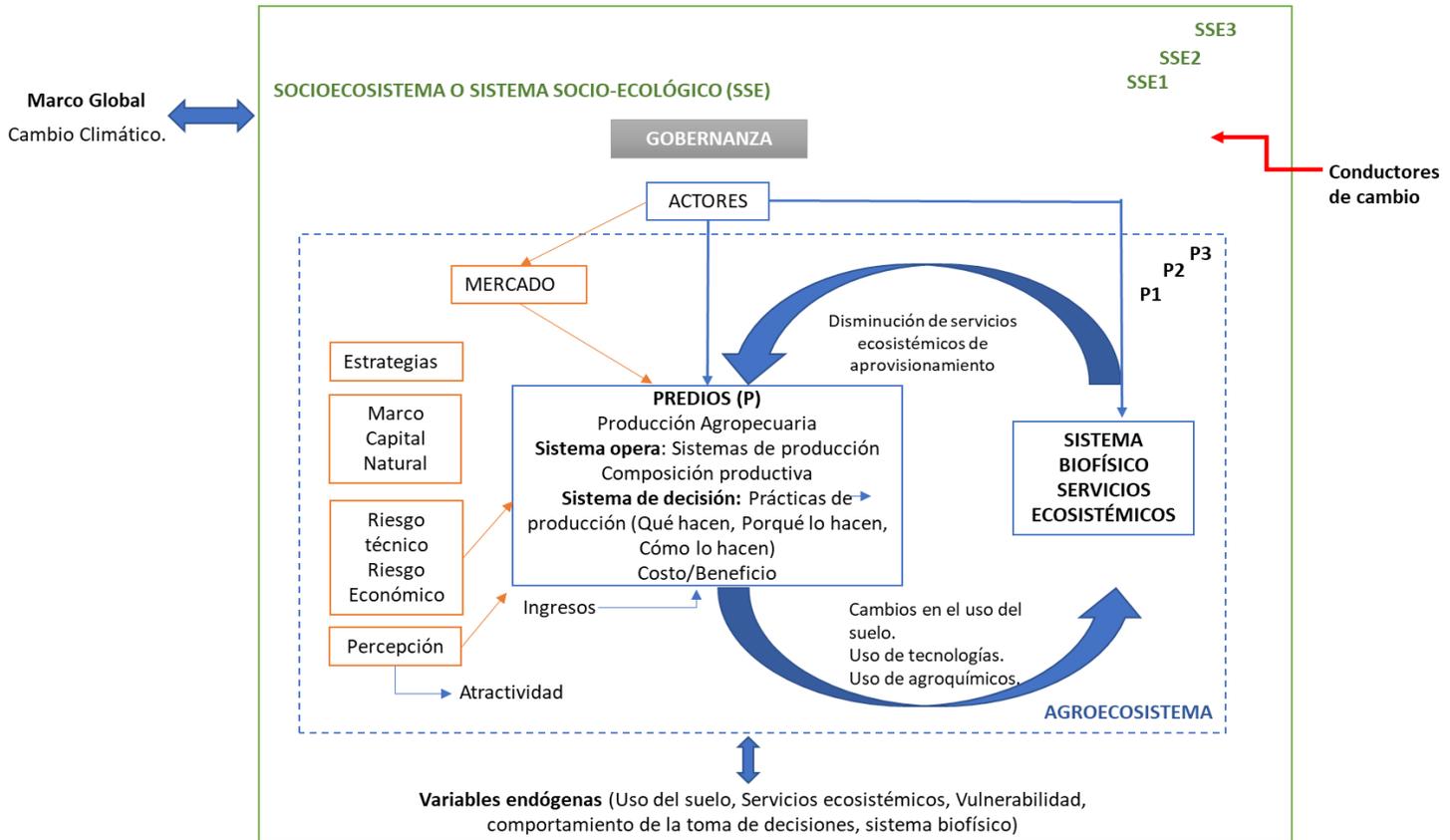
eficiente que consideren el sistema como un todo (Secretaría Jurídica de Bogotá, 2002), siendo la gobernanza el sistema que se refiere a las normas y procesos que influyen el comportamiento de los diferentes actores (Adger et al., 2004; Ostrom, 2009), ya sean públicos, privados y sin ánimo de lucro que se deben coordinar para plantear políticas, proyectos y tomar decisiones (Pahl-wostl, 2002).

Los agroecosistemas (corresponden a predios P1, P2, P3 en la **Figura 3**) son los sistemas de unidades en donde el sistema de decisión individual y/o colectiva que orienta la esfera agraria mediante un plan de manejo preconcebido para el logro de sus propósitos, entre los que se encuentran la producción, distribución y consumo de alimentos, combustibles y fibras (Bulatkin, 2012; Francis, 2010). El sistema de decisión interactúa con el sistema operativo, el cual corresponde a los flujos de energía antropogénica que reciben insumos del exterior (Bulatkin, 2012) y con el sistema biofísico que lo conforman los recursos naturales, con la provisión de servicios ecosistémicos fundamentales para llevar a cabo las actividades de producción de alimentos. Las dinámicas entre las interacciones culturales que establecen los seres humanos y los sistemas naturales permiten comprender los conflictos de acceso, uso y distribución de los recursos que los sistemas naturales proporcionan para el desarrollo (Chapin et al., 2009).

Entre los sistemas naturales las plantas cultivadas se incluyen como componentes por ser la variable central de los AES y aunque la matriz de vegetación natural circundante y las características de los demás elementos biofísicos influyen en la dinámica de los AES. Por otro lado, las señales de los mercados, la disponibilidad de tecnologías, disponibilidad de capital financiero, los apoyos de infraestructura y las políticas nacionales agropecuarias, entre otros factores, también determinan lo que se producirá, cuando, con qué tecnología, cómo, a qué ritmo, para qué clase de consumidores y con qué calidad e impactos ambientales (León, 2012). El hecho de la existencia y disponibilidad de recursos naturales renovables y no renovables como material de suelos, climas, plantas y organismos (capital natural) en espacios geográficos precisos facilita su delimitación biofísica; aunque su límite cultural (social, económico, político o tecnológico) es difuso, puesto que está mediado por intereses de distinta índole y procesos decisionales intangibles que provienen tanto del ámbito del productor como de otros actores individuales e institucionales (León, 2015).

Los agroecosistemas enfrentan constantes cambios y perturbaciones que pueden ser explicados por las respuestas de los productores a las variaciones en el ambiente físico, precios de los insumos, productos, innovación tecnológica y crecimiento poblacional (Altieri, Hecht, Matt Magdoff, & Richard Sikor, 1999; León, 2012). Como respuesta, los agricultores establecen estrategias para lograr los objetivos de la funcionalidad del agroecosistema o el sostenimiento de los servicios ecosistémicos ya sea a corto o largo plazo y asimismo adaptarse a dichas variaciones, estrategias como la diversificación de las actividades productivas, optimización del uso de insumos externos, conservación de la biodiversidad haciendo uso del potencial genético y biológicos de las especies locales, entre otros (M. Altieri, 2015). En el estudio de los AES se pueden incluir los niveles de organización regional, nacional y global, lo cual involucraría aspectos de mercado, políticas agrícolas, incluso cambio climático global (Gliessman, 2002). Cada región tiene una configuración única de AES que son el resultado de las dinámicas en las variaciones locales en el clima, el suelo, las relaciones económicas, la estructura social y la historia, que van determinando la atraktividad para continuar o cambiar las características del agroecosistema.

Figura 3. Estructura de los Agroecosistemas bajo el enfoque de un Sistema Socio-ecológico.



Fuente: Formulado los días 14 y 15 de junio de 2018 por los investigadores del proyecto TRASSE (Trajectories of Social-Ecological Systems in Latin American Watersheds: Facing Complexity and Vulnerability in the context of Climate Change) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y la Universidad de Antioquia en sinergia con el CIRAD, COLMEX

Las interacciones entre los componentes biofísicos, socioeconómicos, políticos, las decisiones individuales y/o colectivas de los agroecosistemas, requieren entender su comportamiento y las dinámicas de estos componentes a diferentes escalas geográficas y periodos de tiempo. La dinámica de sistemas es un método de modelación que permite crear simulaciones computacionales de sistemas compuesto por diferentes componentes que puede o no aumentar o influir en la variabilidad (Sterman, 2000), estos se utilizan para comprender la estructura y el comportamiento de sistemas que emerge de la interacción de sus componentes (Forrester, 1971). Adicionalmente el comportamiento del análisis de estos sistemas se refuerza porque los efectos usualmente no son proporcionales a su causa, las acciones pasadas son irreversibles, el sistema se adapta y la respuesta de este a las acciones en el corto plazo usualmente son diferentes a las generadas en el largo plazo (Sterman, 2000).

Esta metodología requiere herramientas que permitan representar los modelos mentales y la comprensión que tienen los participantes de la investigación de la situación problema. Para lo anterior se hace uso de diagramas explicativos conocidos como Diagramas de Ciclos Causales, los

cuales “representan de forma cualitativa interacciones entre variables y los ciclos de realimentación que caracterizan la complejidad del sistema (Otero, 2008;Sterman, 2000).

Algunas investigaciones analizan factores que afectan la toma de decisión en agroecosistemas mediante el uso de dinámica de sistemas y modelos de simulación. Cros et al. (2001), presentan un sistema de apoyo a la toma de decisiones de los agricultores en Francia basado en un sistema de simulación llamada SEPATOU; dicho modelo aborda el problema específico del manejo rotatorio del pastoreo en una granja lechera y modela la dinámica interactiva del comportamiento de decisión del agricultor y el sistema biofísico con el fin de proporcionar los medios para evaluar y comparar diferentes estrategias de gestión durante todo el proceso de producción bajo diferentes condiciones climáticas hipotéticas, de esta forma es posible analizar los efectos y cambios de las estrategias sobre el sistema biofísico.

La investigación desarrollada por (Andrade, García, Barragán, & Gómez, 2003) respecto a modelos de simulación en ganadería, fue realizada por un grupo de investigadores adscritos a la Universidad Industrial de Santander (UIS) en trabajo conjunto con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), desarrolló un software llamado SIPROB 1.0 bajo el enfoque de dinámica de sistemas dirigido hacia el manejo de fincas ganaderas que tiene como propósito representar los sistemas de producción bovina, permitiendo su comprensión y la prueba de diferentes tecnologías para facilitar a los ganaderos la toma de decisiones y el aprendizaje sobre sus sistemas de producción. El software contempla distintos tipos de variables: demográficas y productivas (tasas poblacionales y ciclos de entrada y salida del sistema), biofísicas (área, pastos, capacidad de carga) y socio-económicas (autoconsumo, impuestos, servicios públicos entre otras). En conjunto con especialistas en producción bovina, se concluyó que la dinámica de sistemas además de permitir la simulación de distintos escenarios, es una herramienta que facilita el aprendizaje e investigación en el sector ganadero.

Otro trabajo que utilizó dinámica de sistemas en la representación de agroecosistemas de pastoreo fue el desarrollado por (Dougill et al., 2010) quienes plantearon un modelo dinámico que permitiera entender cómo distintos tipos de presión externa afectaban la vulnerabilidad de los sistemas de pastoreo en el desierto de Kalahari (África). El estudio se enfocó principalmente en tres dinámicas: la habilidad del agroecosistema para tolerar la sequía, las habilidades de la comunidad rural para adaptarse a la sequía según su acceso a recursos y finalmente la habilidad de las instituciones de jugar un rol importante mediante la formulación de políticas frente a épocas de sequía. Resultado de la construcción del modelo y la simulación de escenarios, Dougill et al. (2010) afirman que una vía importante que puede disminuir la vulnerabilidad de los agroecosistemas de pastoreo a la sequía es el empoderamiento de la población a través de sindicatos y cooperativas. Adicionalmente concluyeron que el intercambio de saberes respecto a prácticas de administración y ganaderas y un mejor acceso al mercado de los productos ofrecidos resulta en un mayor cuidado de los agroecosistemas de pastoreo y tiene resultados más efectivos que cualquier política de manejo de tierras.

Por otro lado, Shi & Gill (2005) utilizaron el enfoque de dinámica de sistemas y economía ecológica para conocer cómo se lleva a cabo la implantación de agricultura ecológica en el distrito de Jinshan en China. Argumentando la dificultad de articular los intereses de distintos sectores de la población,

el marco de la economía ecológica se utiliza como una perspectiva transdisciplinar para la consideración, análisis y articulación de distintos puntos de vista. De esta forma, la dinámica de sistemas es útil para la comprensión de los sistemas estudiados, además para la proposición y evaluación de distintos tipos de políticas. La modelación desarrollada se estructuró a partir de cuatro subsistemas: institucional, social, ecológico y económico. Las variables a partir de las cuales se procuraba conocer la dinámica del sistema fueron: uso de la tierra, población rural y producción agrícola. Bajo esa estructuración se plantearon tres escenarios de simulación: diversificación de la producción agrícola, incremento de la credibilidad en la agricultura ecológica, desarrollo extendido del aprovechamiento de biogás.

Mediante la simulación Shi & Gill (2005) identificaron que la diversificación en los patrones de uso de la tierra, los créditos estatales de bajo interés y el apoyo del gobierno en la formación de personal son medidas que favorecen el desarrollo de la agricultura ecológica. Sin embargo, existen factores barrera para la implantación local de ese tipo de producción como la limitada información, la aversión al riesgo y los altos costos de transacción. Concluyeron que la conjunción entre economía ecológica y dinámica de sistemas permite establecer que el desarrollo de la agricultura ecológica se relaciona directamente con la participación ciudadana en la formulación de políticas locales incluyentes.

En la Tabla 1 se presenta el enfoque, propósito y área de estudio de algunas investigaciones sobre agroecosistemas y sistemas socio-ecológicos desarrollados y analizados bajo el enfoque de dinámica de sistemas. Estos enfoques respaldan los estudios de los agroecosistemas y sistemas socio-ecológicos de forma general con dinámica de sistemas.

Tabla 1. Algunas investigaciones de modelos de simulación de Agroecosistemas y Sistemas Socio-ecológicos bajo el enfoque de dinámica de sistemas

FUENTE	ENFOQUE	PROPÓSITO	REGIÓN
(Pomar et al., 1991)	Modelo de simulación de rebaño dinámico	Simular el crecimiento y el ciclo de vida general de los animales individuales, por medio de un modelo de simulación de rebaño dinámico para una unidad de producción porcina. El modelo que definieron fue discreto y estocástico, las distribuciones aleatorias se seleccionaron a partir de la literatura o estimadas empíricamente.	Canadá
(Pannell, 1995)	Modelo de simulación en un sistema de cría de ovinos	Evaluación de factores socioeconómicos y de producción, usando modelos de simulación	Sur de Australia
(Denisov, 2001)	Modelo de simulación de un cultivo	Mostrar diferentes modelos que pueden ser usados conjuntamente para integrar modelamientos de sistemas de cultivos	Lituania

FUENTE	ENFOQUE	PROPÓSITO	REGIÓN
(Franko & Wilfried, 2001)	Modelo de simulación de agroecosistema	Simular la productividad de un agroecosistema, mediante la interacción de un modelo de crecimiento de cultivos con un modelo para procesos basados en el uso del suelo agrícola.	Alemania
(Bergez et al., 2001)	Modelo de simulación de cultivo	Usar un modelo de simulación para un sistema de cultivo para determinar la cantidad limitada de agua para desarrollar las actividades de riego, tiene en cuenta el sistema planta-suelo como un modelo biofísico dinámicos y la variabilidad que resulta del riesgo secuencial en las parcelas	Francia
(Cros et al., 2001)	Modelo de simulación para sistemas pecuarios	Desarrollar un sistema de soporte de decisiones basado en la simulación, el modelo de simulación a partir de eventos discretos reproduce la dinámica cotidiana del proceso de decisión del agricultor y la respuesta del sistema biofísico controlado para los que se utilizan modelos de crecimiento de pasto, consumo animal y producción de leche, bajo diferentes condiciones climáticas hipotéticas	Francia
(Holmann & Rica, 2002)	Modelo de simulación para el análisis de escenarios	Usar un modelo de simulación para cuantificar el impacto de nuevas alternativas forrajeras sobre el costo de producción de leche y sus implicaciones para la adopción tecnológica y la sostenibilidad del uso de la tierra para ambas regiones.	Costa Rica Perú
(Y. Zhang et al., 2002)	Modelo de simulación de agroecosistemas	Desarrollo de un modelo de agroecosistema mediante la integración de algoritmos detallados de crecimiento de cultivos con un modelo biogeoquímico de suelos, para simular los ciclos de carbono, nitrógeno y agua en los agroecosistemas; el modelo se validó contra las mediciones de campo y los resultados modelados coincidieron con las observaciones sobre la dinámica del carbono de suelo y las emisiones de gases traza	China
(Kucharik, 2003)	Modelo de simulación para cultivos	Simular el rendimiento de un cultivo de maíz en trece (13) regiones en una escala temporal desde 1958 hasta 1994, a través de un modelo de ecosistema terrestre basado en procesos.	USA
(Gormley & Sinclair, 2003)	Modelo de simulación en sistemas agropecuarios	Usar un modelo de simulación para los cambios de cobertura arbórea junto con un análisis espacial de biodiversidad a través del paisaje, con el objetivo de asistir a los productores de los sistemas agropecuarios y demás personas involucradas en la toma de decisiones y otros actores en la planificación y manejo de árboles en el paisaje, de manera que haya un balance entre los objetivos productivos y los de conservación.	Costa Rica Nicaragua

FUENTE	ENFOQUE	PROPÓSITO	REGIÓN
(Andrade, García, Barragán, & Gómez, 2003)	Modelo de simulación de agroecosistemas	Formulación de un software bajo el enfoque de dinámica de sistemas dirigido hacia el manejo de fincas ganaderas llamado SIPROB 1.0, el cual tiene como propósito representar los sistemas de producción bovina, permitiendo su comprensión y la prueba de diferentes tecnologías para facilitar a los ganaderos la toma de decisiones y el aprendizaje sobre sus sistemas de producción	Colombia
(Belcher et al., 2004)	Modelos de simulación de agroecosistemas	Evaluar los cambios en el agroecosistema utilizando una serie de indicadores, a través del desarrollo de un modelo de simulación. Luego se evaluó la sostenibilidad del agroecosistema utilizando los resultados de la simulación para una serie de sistemas de producción agrícola.	Canadá
(Belcher et al., 2004)	Modelos de simulación de un sistema agrícola	Desarrollo de un modelo para entender cómo la tecnología agrícola, la dinámica del mercado, el cambio ambiental y la intervención de políticas que afectan a una población heterogénea de hogares agrícolas y los recursos agroecológicos que estos hogares controlan	Chile Alemania Ghana Tailandia Uganda Vietnam
(Rotz et al., 2005)	Modelo de simulación para un sistema agropecuario dinámico y complejo	Crear un submodelo para un sistema agropecuario con la integración de otros componentes de la granja para formar un modelo de granja completa capaz de simular una amplia gama de sistemas de producción de carne de res. Con este modelo determinaron el mejor alimento disponible o la combinación de alimentos para cumplir con los requisitos de fibra, energía y proteínas para cada uno de los grupos de animales que conforman el sistema	USA
(Shi & Gill, 2005)	Modelo de simulación de sistema agrícola	Uso de dinámica de sistemas y economía ecológica para conocer cómo se lleva a cabo la implantación de agricultura ecológica en el distrito de Jinshan en China. A partir de cuatro subsistemas: institucional, social, ecológico y económico. Las variables a partir de las cuales se procuraba conocer la dinámica del sistema fueron: uso de la tierra, población rural y producción agrícola.	China
(Chatelin et al., 2005)	Modelo de simulación de un sistema agrícola	Simular las consecuencias para las operaciones técnicas y la producción de cultivos de un conjunto de reglas de decisión en una gama de contextos, como la región, la variación del clima por periodos, entre otros. En la simulación interactúan dos modelos: el modelo de decisión que representa las reglas de decisión a través de una formalización	Francia

FUENTE	ENFOQUE	PROPÓSITO	REGIÓN
(Pérez-Maqueo et al., 2005)	Modelo de simulación a prestación de servicios ambientales	específica y el modelo de cultivo que es el conjunto de características para determinar las funciones de pérdida y las estimaciones de riesgo Formulación de un modelo teórico de los procesos subyacentes a la prestación de los servicios ambientales hidrológicos por medio de un enfoque sistémico. Se puede utilizar para desarrollar políticas de manejo del agua a nivel de cuenca, relacionados a los diferentes usos del recurso, especialmente por el sector agrícola.	México
(Giorgio Castellaro et al., 2007)	Modelo de simulación de sistemas de producción de carne	Evaluar diferentes alternativas de pasturas bajo distintas modalidades de manejo de bovinos, densidad de carga, estrategias de suplementación y precios de insumos, la dinámica del sistema fue estructurada a partir de las subrutinas orientadas a resolver ecuaciones que simulan los procesos biológicos.	Chile
(J. Martínez & Esteve, 2007)	Modelo de simulación para evaluar la exportación de nutrientes de una laguna	Elaborar un modelo de simulación dinámico para evaluar los factores ambientales y socioeconómicos esenciales que controlan la explotación de nutrientes a la laguna del Mar Menor en el Sudeste de España, debido a los cambios que ha presentado por las actividades agrícolas y urbanas.	Sudeste de España
(Lacitignola et al., 2007)	Modelo de simulación en sistemas socio-ecológicos	Desarrollar un modelo de simulación de un sistema socio-ecológico basado en el turismo, se desarrolló el modelo centrado en la interacción entre la calidad de los servicios ecosistémicos, el capital destinado a las instalaciones de alojamiento y entretenimiento.	Italia
(Acevedo et al., 2007)	Modelo de simulación en sistemas socio-ecológicos	Usaron los modelos multi-agentes, que capturan las características esenciales de los cambios respectivos de la utilización del territorio, y de las reacciones naturales y decisiones humanas, actúan sobre los modelos de paisaje forestal, y perciben la respuesta de los efectos de estas acciones en forma de cambios de hábitat ecológicos y dinámica hidrológica.	USA Venezuela
(De Aranzabal et al., 2008)	Modelo de simulación en sistemas socio-ecológicos	Modelo de simulación para cambios en la cobertura derivado de las dinámicas de los sistemas socio-ecológicos, realizan análisis numérico para asociar la estructura territorial con la estructura socio-cultural y económico, prediciendo nuevos tipos de uso de suelo por escenarios de cambios socioeconómicos	Península ibérica
(Clouaire & Rellier, 2009)	Modelo de simulación de las prácticas agrícolas	Estudiar los problemas de organización del trabajo en los sistemas de producción agrícola debido a que las capacidades de gestión y las prácticas de trabajo de los agricultores desempeñan un papel importante en la explicación de las diferencias en los resultados	Francia

FUENTE	ENFOQUE	PROPÓSITO	REGIÓN
		económicos y ambientales, mediante un marco de simulación por computadora que se centra en las actividades de producción, planes flexibles y recursos de materiales.	
(Barton et al., 2010)	Modelo de simulación de sistemas socio-ecológicos	Desarrollo de modelo de simulación para realizar experimentos sobre los impactos a largo plazo del uso de la tierra para actividades agropecuarias y cuyos resultados pueden compararse con el registro arqueológico, de esta forma se proporciona conocimientos sobre las consecuencias socio ecológicas de las decisiones humanas en diferentes escalas temporales y espaciales	Jordania
(Dougill et al., 2010)	Modelo de simulación de agroecosistemas	Desarrollo un modelo dinámico que permitiera entender cómo distintos tipos de presión externa que afectan la vulnerabilidad de los sistemas de pastoreo en el desierto de Kalahari (África).	África
(Martin et al., 2011)	Modelo de simulación para sistemas agropecuarios	Construir varios modelos de simulación dinámica de granjas de ganado bovino en pastizales para fines de evaluación y diseño empírico, por medio de un marco de simulación de eventos discretos, para la representación explícita de estrategias de manejo de actividades en el tiempo y el espacio dirigidas por el agricultor y la biodiversidad de plantas.	Francia
(L. Zhang et al., 2015)	Modelo de simulación en sistemas socio-ecológicos	Desarrollar modelos de simulación para analizar varios escenarios ante los cambios del uso del suelo y las repuestas de la regulación hidrográfica ante el cambio climático	China
(Elsawah et al., 2015)	Modelo de simulación en sistemas socio-ecológicos	Desarrollar modelos de simulación para analizar los cambios en los niveles de almacenamiento de agua y el uso del agua en diferentes escenarios climáticos y políticos	Australia
(Fondevilla et al., 2016)	Modelo de simulación en cambios del uso del suelo	Se emplea modelos de dinámica de sistemas para predecir y analizar la evolución de la tierra y la cobertura del suelo, por medio de modelos computacional de Dinámica de Población (PDP) que incorpora los principales procesos de cambio como son la producción vegetal, pastoreo, abandono y reforestación	Australia

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 2

2. Metodología

Debido a que el análisis de la dinámica de los agroecosistemas se ubica en sistemas estrechamente vinculados por los sistemas sociales y sistemas biofísicos que interactúan en múltiples dimensiones espacio-temporales, es importante seleccionar una metodología que cumpla con las siguientes características:

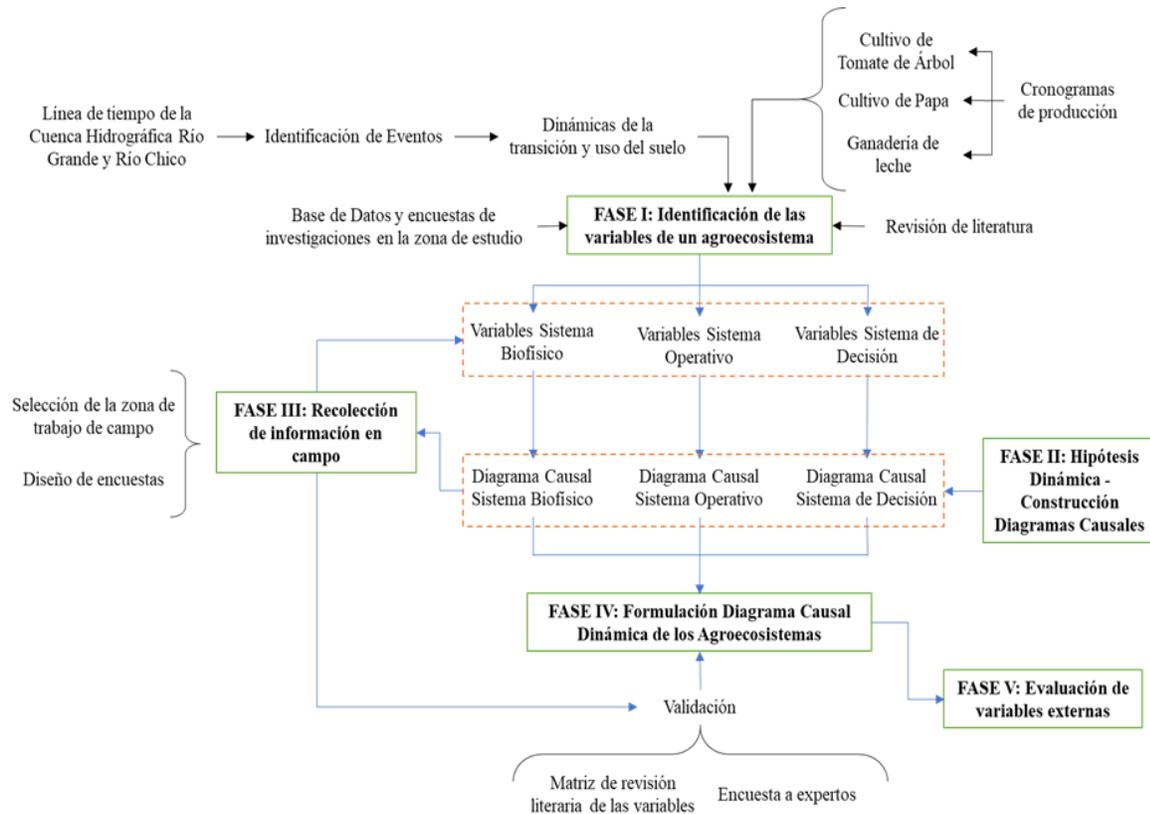
- Permita comprender mejor las interacciones entre los componentes físicos, biológicos y antropogénicos de los agroecosistemas;
- Analice las interacciones entre variables, y explicar el comportamiento de la trayectoria del sistema a partir de estas;
- Permita separar el proceso de toma de decisiones del agente de los procesos biofísicos que agroecosistema controla.

En dinámica de sistemas, se hace uso de varias herramientas de diagramación para capturar la estructura y el comportamiento de los sistemas, incluidos los diagramas causales.

En este capítulo se presenta la ruta metodológica para caracterizar, bajo el enfoque de sistemas socio-ecológicos, los sistemas de decisión, operativo y biofísico y sus interacciones, a nivel de predio, en agroecosistemas de una cuenca hidrográfica estratégica para la provisión de servicios ecosistémicos. Caso de estudio, Cuenca Hidrográfica Río Grande.

En la **Figura 4** se observa la ruta metodológica de esta investigación, la cual consta de 5 fases. : Fase I; el planteamiento de la hipótesis dinámica de la zona de estudio mediante la construcción de los Diagramas Causales de los sistemas biofísico, operativo y de decisión, Fase II; la recolección de información en campo, Fase III; la formulación del Diagrama Causal de la Dinámica de los Agroecosistemas, Fase IV y; la evaluación del efecto de variables externas en la Dinámica de los Agroecosistemas, Fase V.

Figura 4. Ruta metodológica



Fuente: Elaboración propia.

2.1. Caso de estudio: Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico.

Una cuenca hidrográfica es un área que abastece de agua por la superficie o flujo subsuperficial a un sistema de drenaje dado o cuerpo de agua, ya sea un arroyo, río, humedal, lago o mar (Hirji & Davis, 2009). Las características del flujo del agua y su relación con la cuenca son un producto de las interacciones entre la tierra y el agua (geología, pendiente, régimen de lluvias, los suelos y biota), su uso y gestión. Una cuenca hidrográfica es la unidad básica de suministro de agua y el bloque de construcción básico para planificación integrada del uso de la tierra y el agua (Darghouth et al., 2008). En su conjunto la cuenca posee condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que le confieren características que son particulares a cada una (Tapia, 1994), es considerada como un recurso de uso común definido por los vínculos hidrológicos donde la gestión óptima requiere la utilización coordinada de los recursos naturales por parte de todos los usuarios (Dourojeanni et al., 2002).

De acuerdo con el POMCA de Río Grande y Río Chico, la cuenca se localiza en la subregión del Norte de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de Belmira, Santa Rosa de Osos, Entreríos, San Pedro de Los Milagros, Donmatías y Yarumal. Los ríos Grande y Chico, y sus afluentes, conforman una densa e importante red de drenaje que surte los embalses Riogrande I y Riogrande II. El río Grande, la corriente más importante, nace en el municipio de Santa Rosa de Osos, a 3.000 msnm, aproximadamente, en un ramal de la cordillera Central, y desemboca en el río Porce, a 1.100 msnm; y el río Chico, principal afluente del río Grande, nace en el municipio de Belmira, en el alto de Zulia, a unos 3.200 msnm. La precipitación promedio anual en la zona varía entre los 2.000 mm y 2.500 mm, sin embargo, en la parte baja de la cuenca la precipitación media puede superar los 3.200 mm al año. En general, el régimen de precipitación en la zona se caracteriza por presentar dos periodos lluviosos intercalados por dos periodos con menor precipitación, el primero ocurre entre los meses de diciembre a marzo y el segundo entre los meses de julio a agosto. La subregión a la que pertenece la mayor proporción del área de la cuenca (partes alta y media) posee una temperatura promedio de 14°C (que oscila entre los 12°C y 17°C); presenta los pisos térmicos medio y frío, además de los climas cálidos y de páramo.

La cuenca hidrográfica Río Grande y Río Chico cuenta con una gran oferta de servicios ambientales que la constituyen en una zona estratégica para la conservación de los ecosistemas. En la parte alta de la cuenca se encuentra parte del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño, donde se localiza el páramo de Santa Inés también conocido como el páramo de Belmira, en donde nacen las principales fuentes de agua que surten la zona y alberga importantes formaciones vegetales asociadas a páramos con un inmenso valor genético y biológico (CORANTIOQUIA, 2015a; Universidad Nacional de Colombia, 2012). Se considera una cuenca estratégica por la provisión de servicios ecosistémicos no solo a los municipios de su jurisdicción sino también al Área Metropolitana de Vale de Aburrá (AMVA) y a la ciudad de Medellín, especialmente por los servicios asociados con el aprovisionamiento de agua potable para consumo humano y energía eléctrica (Berrouet et al., 2018; Ram & Orrego, 2015; Universidad Nacional de Colombia, 2012).

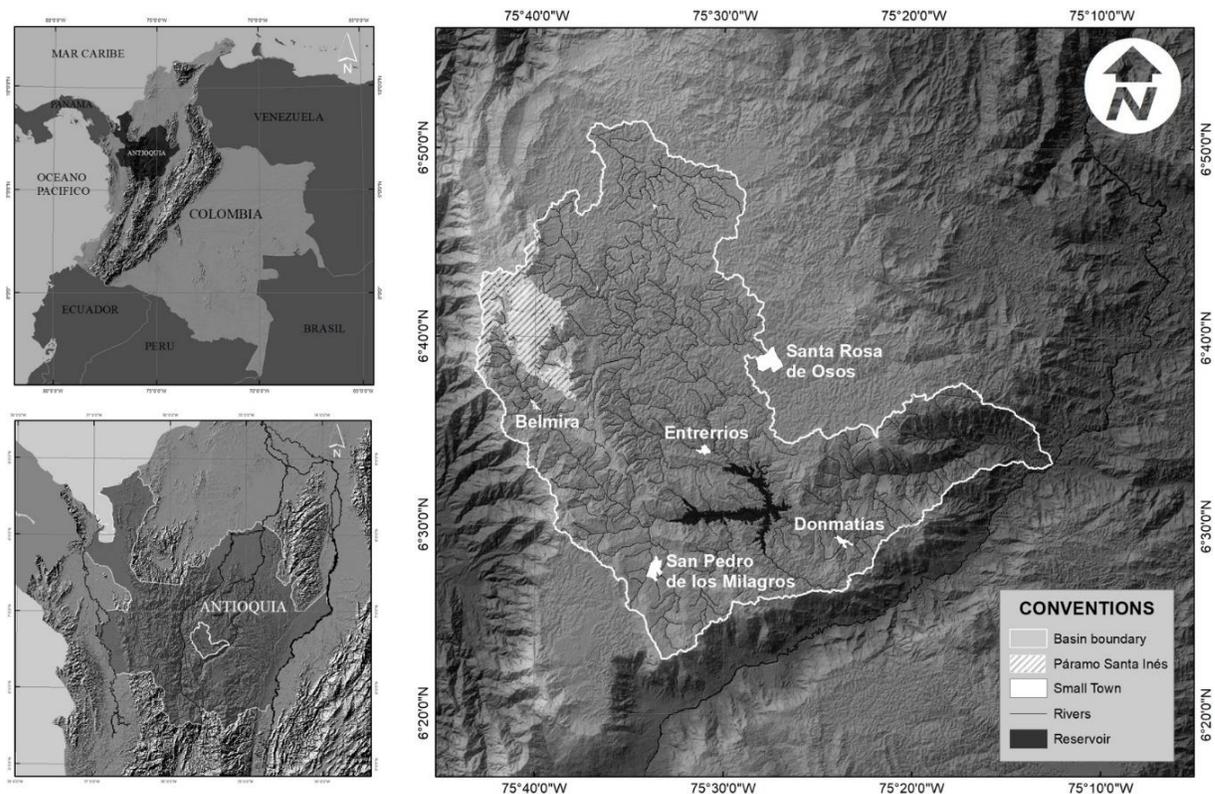
Por otro lado, en relación con lo físico-espacial, se cuenta con vínculos sólidos a través de la red vial nacional con la troncal occidental y a nivel departamental, por la conexión con los municipios de Barbosa y Puerto Berrío. En lo local, se presenta amarre entre los municipios de San Pedro de los Milagros y Belmira, Entreríos y Donmatías, Entreríos y Santa Rosa de Osos y San José de la Montaña y Santa Rosa de Osos, a través de la troncal occidental. La cuenca se caracteriza por actividades económicas orientadas principalmente a la ganadería de leche (desde pequeños a grandes productores), cultivos comerciales como el de tomate de árbol y papa (escala comercial), y en menor proporción la agricultura de subsistencia, turismo, porcicultura y actividades piscícolas (CORANTIOQUIA, 2015b; Villegas-palacio et al., 2016).

En general, los suelos son pobres en nutrientes, además de profundos y moderadamente evolucionados; presentan poca fertilidad, con grados importantes de acidez (Universidad Nacional de Colombia, 2012). En la cuenca se observan prácticas de manejo de pasturas como la fertilización tanto química u orgánica y el establecimiento de barreras vivas, sin embargo, se presentan fenómenos de sobrepastoreo en potreros mal conservados y de poca aptitud en pendientes muy abruptas, causando problemas de erosión y degradación de los ecosistemas y se identifican algunos problemas

asociados al recurso edáfico, como la compactación de los suelos por sobrepastoreo, alto grado de deterioro de los suelos donde existieron actividades mineras, tala de vegetación ribereña, entre otras. Asimismo, en la región se cuenta con técnicas de monocultivo sin ningún tipo de rotación, lo cual ha contribuido con la degradación del suelo y alterar la biodiversidad de fauna y flora existente en la zona, debido a la fuerte presión en la parte alta y media de la cuenca sobre el bosque, por la extracción poco selectiva de tutores para los cultivos de tomate de árbol y la expansión de la frontera agropecuaria (CORANTIOQUIA, 2015a, 2015b).

En la cuenca se ha observado que el cultivo de papa es un cultivo rotativo de máximo dos o tres cosechas, que se usa como medio para “mejorar los terrenos” para ganadería debido a la remoción de la capa superficial del suelo para obtener materia orgánica y al uso de grandes concentraciones de fertilizantes para adecuar el suelo; bajo este enfoque los propietarios (normalmente dedicados a la actividad lechera), alquilan porciones (en vegetación arbustiva u otro tipo de cobertura) de sus propiedades a los cultivadores de papa (dos o tres productores, procedentes generalmente de la Unión), para que establezcan el cultivo por uno o dos años. Las actividades de adecuación del terreno (moldeo, fertilización, arado, etc.) corren por cuenta del arrendatario, posteriormente el arrendador siembra los pastos que requiere para empezar su actividad ganadera (Universidad Nacional de Colombia, 2012).

Figura 5. Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico



Fuente: (Machado et al., 2019)

2.2 FASE I: Identificación con base en fuentes secundarias de posibles variables que determinan las dinámicas de los agroecosistemas

Para identificar las variables endógenas y exógenas que intervienen en los sistemas de decisión, operativo y biofísico y sus interrelaciones en los agroecosistemas, se construyó una línea de tiempo a partir de una revisión sobre la historia y eventos importantes en los municipios en jurisdicción de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico con el fin de identificar y analizar hitos que marcaron y determinaron las dinámicas del uso del suelo y de los agricultores en cuánto a qué producir y cómo producir, asimismo, analizar la transición de las coberturas debido a esos hitos. Adicionalmente se llevó a cabo una revisión exhaustiva de literatura académica sobre el tema mencionado.

La línea de tiempo se realizó con un programa del sitio web <http://www.frisechronos.fr/> que permite construir un eje cronológico, el cual es un procedimiento para ordenar los acontecimientos y los hechos históricos en una secuencia temporal que consiste en situar los hechos históricos sobre una línea en la que se representa el tiempo absoluto o cronológico (C. Blanco & Carlos, 1982). Con la revisión de la literatura sobre la trayectoria de los usos del suelo y eventos que marcaron las dinámicas de producción en la Cuenca fue posible escribir sobre el eje los hechos y determinar la aproximación de los periodos, de esta forma se identificaron los hechos en diferentes periodos de tiempo que fueron determinantes en el qué y cómo producir en la zona de estudio.

Por otro lado, se construyeron los cronogramas de producción asociados con la ganadería de leche, el cultivo de tomate de árbol y el cultivo de papa, siendo los sistemas de producción más representativos de la cuenca (en la actualidad el 61,62% del área de la cuenca es pasto dedicado producción lechera y la agroindustria de productos lácteos, con usos productivos y de protección, el 1,54% se dedica a la agricultura de cultivos transitorios como la papa, tomate de árbol, entre otros; y el 28,99% corresponde a áreas como bosques, páramos, plantaciones forestales y arbustos en diferentes etapas de sucesión) (CORANTIOQUIA & Universidad Nacional de Colombia, 2015). Los cronogramas de producción se realizaron a partir de la identificación de cada una de las actividades desde la planificación, manejo y gestión en los sistemas de producción y los factores y variables involucradas.

Paralelo a la revisión de literatura, se realizó la revisión y estudio de la Base de Datos construida y consolidada para las investigaciones de L. Berrouet, 2018 sobre la vulnerabilidad de sistemas sociales frente a la modificación de servicios ecosistémicos, Machado et al., 2019 sobre la vulnerabilidad del capital natural del suelo al cambio ambiental, Marsiglia Rivera, 2017 sobre la capacidad adaptativa de los sistemas sociales ante la pérdida o deterioro de los servicios ecosistémicos y Bolaños Valencia, 2017 sobre la percepción social del riesgo por pérdida de servicios ecosistémicos; todas estas investigaciones desarrolladas en la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico. Esta revisión permitió conocer las características de los productores y de los agroecosistemas, tales como los sistemas de producción, el uso y manejo de los recursos naturales y relaciones entre agricultores e instituciones u organizaciones presentes en la cuenca; de esta forma fue posible contar con un acercamiento y analizar posibles variables biofísicas, de producción,

económicas, sociales y culturales que intervienen en la toma de decisión de los productores. A continuación, se menciona el tipo de información consolidada en la Base de Datos:

- Información base del productor: Nombre, edad, género, localización del predio, perfil socioeconómico del productor como las características socioeconómicas, infraestructura, acceso a servicios, entre otros
- Información del Sistema de Producción: tamaño del predio, distribución de actividades productivas, costos de producción, nivel de producción, entre otros.
- Información de la relación institucional y participación en estas: conocimiento de la existencia y/o presencia de instituciones u organizaciones, la percepción sobre ellas, programas y proyectos relacionados, entre otras.
- Información del uso de servicios ecosistémicos: uso del agua, del suelo, del bosque, conservación y protección ambiental, entre otros.
- El formato y las encuestas diligenciadas de cada una de las investigaciones realizadas en talleres grupales y semiestructuradas con productores de la zona de estudio, en donde recolectan gran diversidad de información.

2.2. FASE II: Planteamiento de la hipótesis dinámica de los agroecosistemas en la zona de estudio

La formulación de la hipótesis dinámica requiere comprender la estructura causal y los ciclos de realimentación entre las variables de los subsistemas de los agroecosistemas; esta hipótesis se consolida y se visualiza a través de la formulación de un modelo conceptual representado a través del conjunto de diagramas causales. Una vez identificadas las variables en la Fase I, se procede a agruparlas de acuerdo con su propósito y descripción en cada uno de los sistemas biofísico, operativo y de decisión que integran a un agroecosistema; y se establecen las relaciones causales y las interacciones entre las mismas

A continuación, se presenta el concepto, pasos a seguir y recomendaciones para la construcción de Diagramas Causales de sistemas dinámicos y complejos:

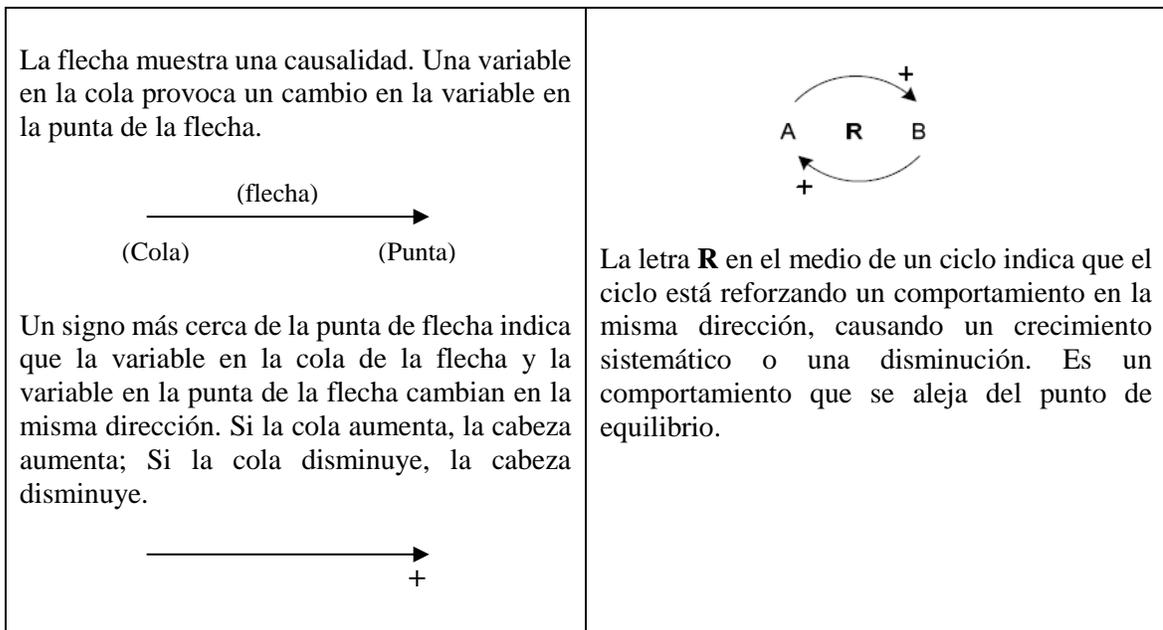
El concepto de Diagramas Causales (DC) fue discutido por primera vez en los años sesenta por (Forrester, 1961) y elaborado por investigadores como (Rosnay, 1979), (Richardson & Pugh III, 1981), (Senge, 1990) y (Booth & Sterman, 2000). La función de DC es mapear la estructura y los comentarios de un sistema para comprender sus mecanismos de retroalimentación, se usan para comprender cómo un comportamiento se ha estado manifestando en un sistema que permita desarrollar estrategias para trabajar o contrarrestar el comportamiento y entender en qué medida y cómo se conecta el problema con otros "sistemas" (Hörður V. Haraldsson, 2004).

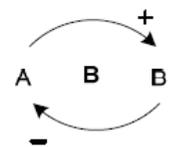
Los diagramas causales pueden considerarse como oraciones que se construyen identificando las variables clave en un sistema e indicando las relaciones causales entre ellos a través de enlaces. Al vincular varios ciclos de retroalimentación, es posible crear una historia concisa sobre un problema o problema en particular. Esta herramienta de diagramación consta de cuatro elementos básicos: las variables, los enlaces entre ellos, los signos en los enlaces (que muestran cómo están interconectadas las variables) y el signo del ciclo de retroalimentación (que muestra qué tipo de comportamiento producirá el sistema) (Colleen, 2020). El propósito de estos diagramas es identificar las variables e interacciones que se consideran claves para la comprensión del problema a estudiar. Estos diagramas también permiten identificar ciclos de retroalimentación a partir de las interacciones diseñadas.

De acuerdo con (Sterman, 2000), en el proceso de construcción de DC las variables identificadas son conectadas por flechas que denotan las influencias causales entre las variables y los ciclos de retroalimentación importantes también se identifican en el diagrama. Las variables están relacionadas por enlaces causales, que se muestran mediante flechas. A cada enlace causal se le asigna una polaridad, ya sea positiva (+) o negativa (-) para indicar cómo cambia la variable dependiente cuando cambia la variable independiente. Un vínculo positivo entre las variables significa que, si la causa aumenta, el efecto aumenta por encima de lo que de otro modo hubiera sido, y si la causa disminuye, el efecto disminuye por debajo de lo que de otro modo hubiera sido. Un enlace negativo significa que, si la causa aumenta, el efecto disminuye por debajo de lo que de otro modo hubiera sido, y si la causa disminuye, el efecto aumenta por encima de lo que de otro modo hubiera sido. Se debe tener en cuenta que, las polaridades de enlace describen la estructura del sistema. No describen el comportamiento de las variables. Es decir, describen lo que sucedería si hubiera un cambio. No describen lo que realmente sucede.

Los ciclos importantes se resaltan mediante un identificador de ciclo que muestra si es una retroalimentación positiva **R** (de refuerzo) o negativa **B** (de equilibrio).

Figura 6. Explicación del concepto de ciclos de retroalimentación en un Diagrama Causal.



<p>Un signo menos cerca de la punta de flecha indica que la variable en la cola de la flecha y la variable en la punta de la flecha cambian en la dirección opuesta. Si la cola aumenta, la cabeza disminuye; Si la cola disminuye, la cabeza aumenta.</p> 	 <p>La letra B en el medio de un ciclo indica que el ciclo se está equilibrando y mueve el sistema en la dirección hacia el equilibrio o una fluctuación alrededor del punto de equilibrio.</p>
--	--

Fuente: (Hörður V. Haraldsson, 2004)

Entender el diagrama de ciclos causales exige tener en cuenta que la interacción entre dos variables posee una polaridad¹ (positiva o negativa) que caracteriza la relación entre los elementos conectados. Adicionalmente los ciclos de realimentación se identifican según su naturaleza ya sea esta de refuerzo² o de balance³. De esta forma se mencionan a continuación algunas directrices establecidas por (Sterman, 2000) con el fin de identificar y entender los ciclos de retroalimentación que se presentan en los Diagramas Causales:

➤ **Nombrar las variables y con sentido claro de dirección**

Los nombres de las variables en los diagramas y modelos causales deben ser sustantivos o frases nominales. Elegir nombres para los cuales el significado de un aumento o disminución sea claro, variables que pueden ser más grandes o más pequeñas.

➤ **Determinar la Causalidad**

Cada enlace en su diagrama debe representar (lo que usted cree que es) relaciones causales entre las variables. Un modelo de dinámica del sistema debe imitar la estructura del sistema real lo suficientemente bien como para que el modelo se comporte de la misma manera que lo haría el sistema real. El comportamiento incluye no solo replicar la experiencia histórica sino también responder a circunstancias y políticas que son completamente novedosas.

➤ **Etiquetar el enlace de polaridad**

Asegurarse de etiquetar la polaridad de cada enlace de los diagramas. Los ciclos de retroalimentación positiva (+) también se denominan ciclos de refuerzo y se denotan con **R**,

¹ La polaridad permite conocer el tipo de interacción entre variables. Una polaridad positiva (+) indica una relación *directa* de incremento o de disminución entre las *dos* variables relacionadas. Una polaridad negativa (-) indica una relación *inversa* (incremento-disminución) ó (disminución-incremento) entre las *dos* variables conectadas.

² Los ciclos de refuerzo tienden a amplificar el efecto del mismo en sus variables constituyentes.

³ Los ciclos de balance realizan un contrapeso que compensa o equilibra el efecto de la retroalimentación en cada ciclo consecutivo.

mientras que los ciclos negativos (-) a veces se denominan ciclos de equilibrio y se denotan con **B**.

➤ **Determinación de la polaridad del ciclo de retroalimentación**

La forma correcta de determinar la polaridad de un ciclo es rastrear el efecto de un pequeño cambio en una de las variables a medida que se propaga por el ciclo. Si el efecto de retroalimentación refuerza el cambio original, es un ciclo positivo (R); si se opone al cambio original, es un ciclo negativo (B) y se puede comenzar con cualquier variable en el diagrama.

➤ **Nombrar los ciclos de retroalimentación.**

Ya sea que use diagramas causales para comunicar la estructura de retroalimentación de un modelo, a menudo se encontrará tratando de realizar un seguimiento de más ciclos de los que puede manejar. De esta forma es posible navegar por la red de ciclos, al otorgar a cada comentario importante un número y un nombre. Numerar los ciclos R1, R2, B1, B2, etc. ayuda a identificar y comprender la función de cada ciclo mientras lo discute.

➤ **Indicar retrasos importantes en los enlaces causales**

Un retraso es cuando una acción entre dos componentes en un sistema es mucho más lenta que el resto del sistema, que puede variar de segundos a días, siglos o millones de años. Los retrasos son los que hacen que los sistemas fluctúen.

➤ **Evitar los ciclos de retroalimentación en un diagrama causal grande**

Construir el modelo en etapas, con una serie de diagramas de ciclos causales más pequeños, desarrollar un diagrama separado para cada ciclo importante. Cada diagrama debe corresponder a una parte de la historia dinámica que se cuenta, estos diagramas pueden tener suficientes detalles para mostrar cómo funciona realmente el proceso y dividirlos permite una descripción general más simple y de alto nivel para mostrar cómo interactúan entre sí.

2.3. FASE III: Recolección de información en campo

Una vez definidas las variables y construidos los Diagramas Causales del sistema biofísico, sistema operativo y sistema de decisión, se procedió a recolectar información en campo a un grupo focal de productores en los agroecosistemas con el fin de validar las variables que se identificaron tanto en su descripción como en sus relaciones causales, también frente al comportamiento de los diagramas causales; asimismo, en obtener información de conceptos y variables que no son relevantes y/o que no se tuvieron en cuenta inicialmente y son importantes en el proceso de toma de decisiones de los productores en el qué y cómo producir en la Cuenca.

Debido al tamaño Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico la cual tiene una extensión de 127.986,29 ha; en su jurisdicción los municipios de San Pedro de los Milagros, Belmira, Entreríos, Donmatías, Santa Rosa de Osos y Yarumal y aproximadamente 60 veredas (CORANTIOQUIA & Universidad Nacional de Colombia, 2015); se estableció realizar el trabajo de campo apoyado en las investigaciones de L. M. Berrouet et al., 2018; Bolaños Valencia, 2017; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017 llevadas a cabo en la zona de estudio en el año 2016, en donde hicieron la

recolección de la información en campo de acuerdo a núcleos de trabajo, en donde inicialmente se seleccionaron predios por medio de un criterio aplicado en el ordenamiento catastral, definido como zona homogénea física (ZHF), el cual junto a la zonificación homogénea económica (ZHE) permite asignar la valoración económica del predio. Una ZHF agrupa predios con características similares en unas categorías dadas, de acuerdo con un conjunto de características del entorno físico, como son: el clima, topografía, vías, valor potencial del predio, grado de erosión del predio, uso predominante y cantidad de aguas. Una ZHE agrupa características como el área del predio, los sistemas de producción, entre otras. Posteriormente, se seleccionaron las veredas que tienen mayor representación de área en las ZHF dominantes dentro del área de estudio, con el fin de definir zonas o núcleos de trabajo en las veredas.

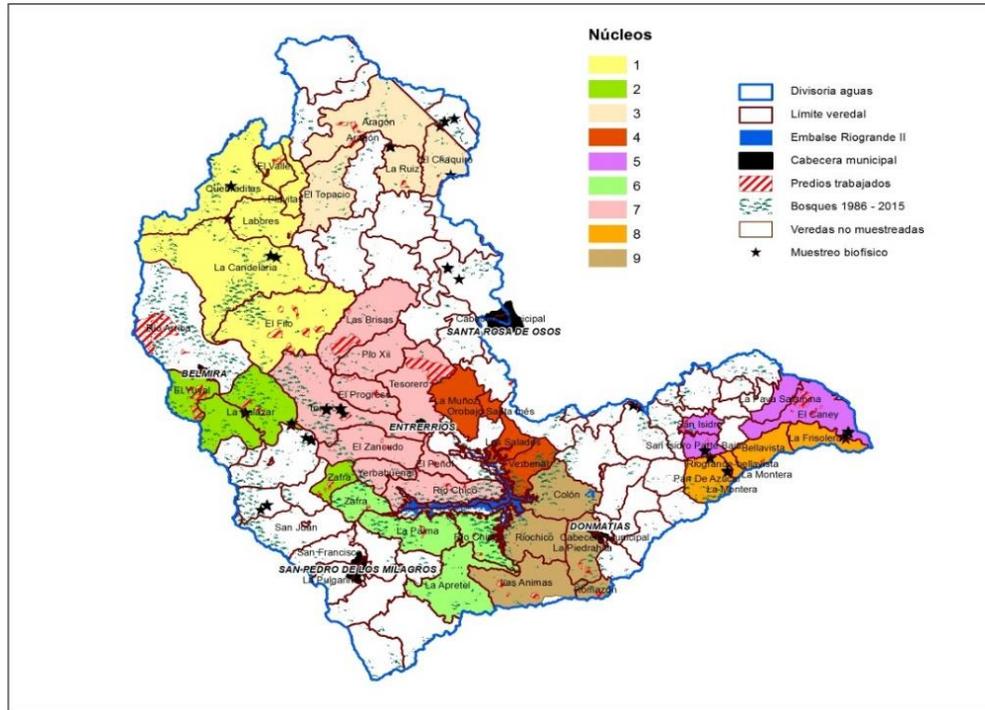
En la **Figura 7** se muestra el mapa con los municipios y las veredas seleccionadas en cada núcleo de trabajo. Las zonas coloreadas en la figura corresponden a los núcleos y veredas presentadas en la **Tabla 2**, mientras que las zonas en blanco corresponden a las veredas no muestreadas.

Tabla 2. Municipios y veredas por núcleos de trabajo.

Municipio	Núcleo	Veredas.
Belmira	Núcleo 1	Labores, Quebraditas, Playitas, El valle, La Candelaria, El Filo
	Núcleo 2	Rioarriba, El yuyal, La Salazar, Zafra
Santa Rosa de Osos	Núcleo 3	Aragón, Topacio, La Ruiz, El Chaquiro
	Núcleo 4	Los Salados, Santa Inés, Verbenal, Riogrande, la Muñoz, Colon
	Núcleo 5	San Isidro, San Isidro parte baja, el Caney, la Pava Salamina
San Pedro de los Milagros	Núcleo 6	Zafra, la Palma, Riochico, la Pretel
Entrerriós	Núcleo 7	Las Brisas, Toruro, Tesorero, El Zancudo, El Peñol, Río Grande, Yerbabuenal
Donmatías	Núcleo 9	Colon, las Animas, Río chico
	Núcleo 8	Bellavista, Pan de azúcar, La frisolera, la Montera
	Núcleo 9	Colon, las Animas, Río chico, Romazón, La Piedrahita

Fuente: (Lina María Berrouet et al., 2018; Bolaños Valencia, 2017; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017)

Figura 7. Mapa de los Municipios y veredas por núcleos de trabajo.



Fuente: (Lina María Berrouet et al., 2018; Bolaños Valencia, 2017; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017)

La recolección de la información por parte de L. M. Berrouet et al., 2018; Bolaños Valencia, 2017; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017 se desarrolló por medio de diferentes técnicas participativas como entrevistas semiestructuradas, los grupos de discusión, el mapeo participativo de los recursos naturales y el uso de la tierra, el mapeo gráfico e histórico de los recursos naturales y el mapeo del acceso a los recursos y el análisis de una matriz de conflicto que pueden adaptarse y usarse (Geilfus, 2005; Villegas-palacio et al., 2016). L. M. Berrouet et al., 2018; Bolaños Valencia, 2017; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017; recolectaron información de un total de 172 agroecosistemas de la zona de estudio se evidencia información acerca de los beneficiarios (identificación, localización del predio y georreferenciación), información del perfil socioeconómico del beneficiario (características socioeconómicas, infraestructura, acceso a servicios, entre otros), información del perfil productivo (tamaño del predio, distribución de actividades productivas, costos de producción, nivel de producción, entre otros) información de la relación institucional y participación de los actores con las instituciones y redes, información del uso de servicios ecosistémicos (uso del agua, del suelo y del bosque) y por último información de la capacidad de sustitución del servicio ecosistémico (escenarios de reducción de los servicios ecosistémicos, capacidad adaptativa, barreras tecnológicas, percepción). Estos resultados permitieron a esta investigación acceder a información consolidada en una Base de Datos, relacionadas a las formas de producción y a las características socioeconómicas, ambientales, productivas, institucionales de los productores de la Cuenca.

De esta forma el trabajo de campo de esta investigación se articuló con las investigaciones de L. M. Berrouet et al., 2018; Bolaños Valencia, 2017; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017 y se llevó a cabo en el año 2019 en el municipio de Santa Rosa de Osos en las veredas Aragón, El Topacio, El Chaquiro y La Ruíz pertenecientes al núcleo 3. La selección se basó principalmente en la presencia de instrumentos planificación de conservación importantes en la zona, como el Sistema Local de Áreas Protegidas (SILAP) en el municipio de Santa Rosa de Osos, en donde las veredas del núcleo 3 hace parte de la estrategia de corredor de conectividad la cual es fundamental para conectar áreas protegidas y para la vinculación del sector productivo agrícola y ganadero en pro de la conservación (Corantioquia & Alcaldía de Santa Rosa de Osos, 2015), por lo tanto los productores pueden tener establecidos sistemas silvopastoriles o destinación de áreas para la restauración y conservación de los ecosistemas y hacen parte del proceso de decisión de los agricultores en la destinación de áreas y en motivaciones de protección en sus sistemas de producción. Asimismo, en el núcleo 3 existen datos consolidados en la Base de Datos de predios y productores que fueron parte de los talleres y entrevistas en las investigaciones de Lina María Berrouet et al., 2018; Bolaños Valencia, 2017; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017.

En la **Tabla 3** se observa el municipio y veredas del núcleo 3 y que fue seleccionada para el trabajo de campo, la columna “Datos existentes” corresponde al número de predios y productores que se cuenta con gran diversidad de información gracias a las investigaciones mencionadas anteriormente.

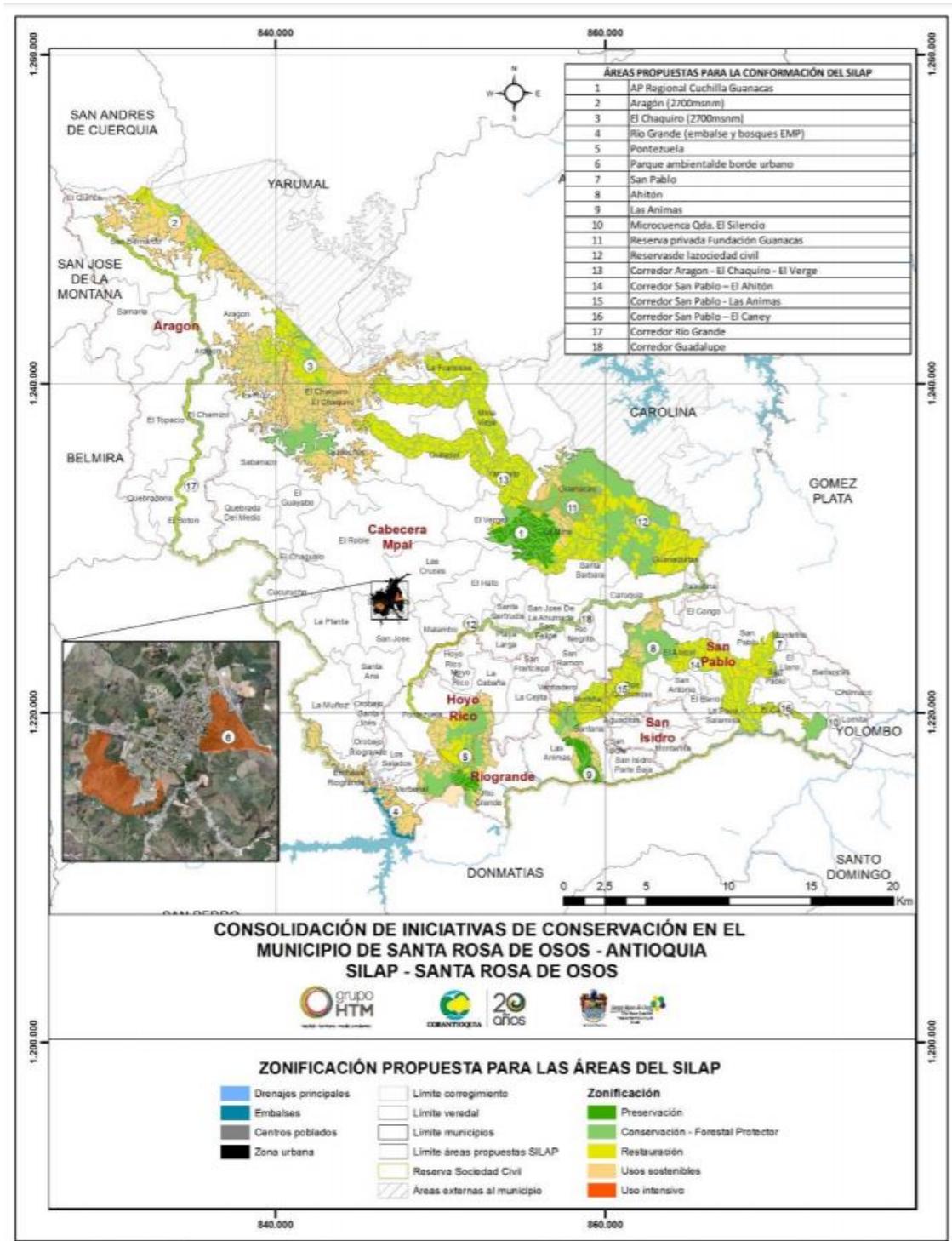
Tabla 3. Numero de datos existentes del Núcleo 3 como zona para el trabajo de campo.

Municipio	Vereda	Área (ha)*	Número de predios*	Datos existentes
Santa Rosa de Osos	Aragón	13.292.88	929.00	5
	El Chaquiro	4.348.51	173.00	2
	La Ruíz	2.017.69	104.00	3

* La información se obtuvo de la oficina de Catastro de la Gobernación de Antioquia y ha sido desarrollada desde el año 2010, con actualizaciones de algunos municipios en los años 2012 a 2014.

En la **Figura 8** se observa el mapa de zonificación del SILAP de Santa Rosa de Osos, en donde las veredas Aragón, El Chaquiro y La Ruíz hacen parte del corredor de conectividad y a su vez entran en las categorías de conservación, restauración de ecosistemas y uso sostenible para los sistemas de producción presentes en la zona.

Figura 8. Zonificación de las áreas del SILAP Santa Rosa de Osos.



Fuente: (Corantioquia & Alcaldía de Santa Rosa de Osos, 2015)

La recolección de la información se obtuvo en los agroecosistemas de los productores, mediante entrevistas individuales y encuestas semiestructuradas donde inicialmente se construyó un formato de encuesta (ver Anexo A), la cual sirvió como guía en la conversación con el productor. Antes de empezar con la entrevista, se informaba al productor el objeto de la misma y de la investigación y se aclaraba que la información que proporcionaba era completamente para fines de investigación y sería con confidencialidad y privacidad. La encuesta cuenta con preguntas de tipo binomial y abiertas agrupadas de acuerdo los sistemas que integran un agroecosistemas, el sistema biofísico preguntas orientadas al uso de recursos naturales y asimismo en estrategias que ha implementado para su protección y conservación; el sistema operativo preguntas orientadas al manejo de los sistemas de producción como el uso de fertilizantes, tipo de ordeño, forma de almacenamiento de la leche, cómo realiza el manejo de plagas y enfermedades, cómo decide la rotación de los potreros en su predio, maquinaria, entre otros; el sistema de decisión orientadas a las características socioeconómicas y culturales que influyen en la toma de decisiones en la producción como años de experiencia en los sistemas de producción que ha desarrollado, tiempo en la que ha residido en la zona, la organización que le compra su producto y que tipo de beneficios le trae, acceso a créditos, si ha recibido capacitaciones para el manejo de su sistema de producción, entre otras. Asimismo, de la información básica como localización del predio, coordenadas, tamaño del predio, forma de tenencia del predio, entre otras.

Cabe resaltar que, aunque la encuesta está compuesta por preguntas específicas, en las entrevistas con cada uno de los productores fue posible recoger información más amplia debido al curso de la conversación en donde el encuestado tenía la oportunidad de contar más detalladamente ciertos aspectos importantes en su vida de productor y en la forma de producción y permitía realizar más preguntas acorde a la conversación, todo esto se registró en la sección de observaciones en el formato de encuesta.

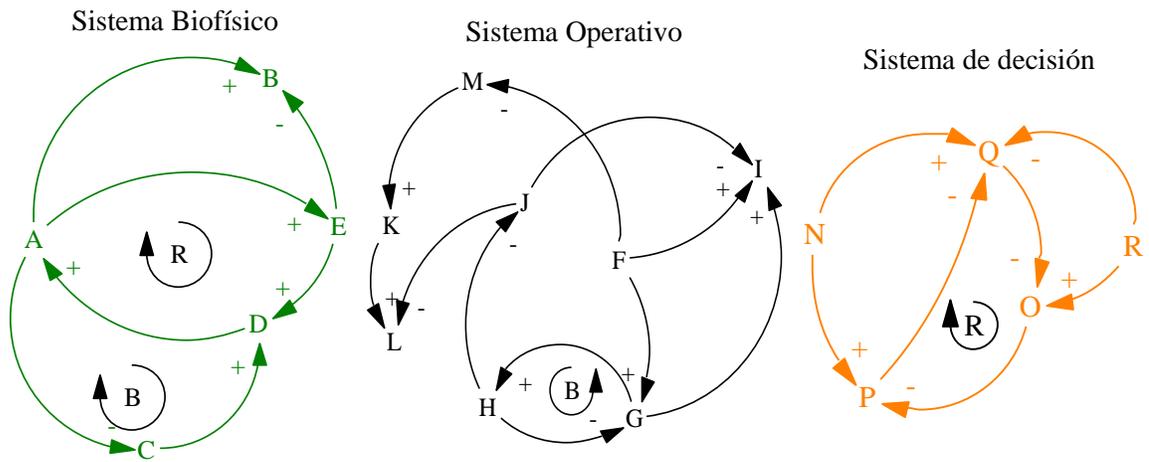
2.4. FASE IV: Formulación del Diagrama Causal de la Dinámica de un agroecosistema

A partir de la recolección de la información en campo descrita en la Fase III, se procede a complementar y/o corregir la información de las variables que corresponden a cada uno de los sistemas que integran un agroecosistema, con el fin de realizar la formulación final del Diagrama Causal consolidado.

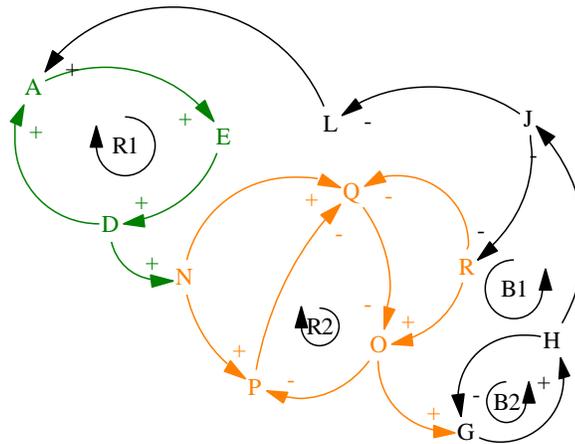
Para ello, se toman los diagramas causales del sistema biofísico, sistema operativo y sistema de decisión con sus respectivas correcciones; los cuales permiten realizar la consolidación de un Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico mediante variables claves que se interrelacionan en los sistemas; el propósito es simplificar el diagrama y que permita una lectura clara tanto para la persona que lo realiza como para las personas que se encuentren interesadas en la investigación, de esta forma es posible estudiar y analizar el comportamiento de la toma de decisión de los agricultores en la Cuenca frente a qué y cómo producir y los ciclos que refuerzan o equilibran ese comportamiento.

A continuación, se presenta un ejemplo de Diagramas Causales de cada sistema biofísico, operativo y de decisión, con sus respectivas variables que a modo de explicación en esta sección se presentan como letras del abecedario, sin embargo, en la sección de resultados se presentan cada una de las variables identificadas y su descripción. En la se observa en modo de ejemplo los Diagramas Causales de cada sistema con las relaciones de sus variables y ciclos de realimentación, de esta forma es posible realizar la consolidación de un Diagrama Causal de un agroecosistema mediante variables claves (letras del abecedario) de cada uno de los sistemas que se interrelacionan y que pueden formar nuevos ciclos de realimentación.

Figura 9. Ejemplo consolidación del Diagrama Causal a partir de los sistemas que integran un agroecosistema.



Dinámica de un agroecosistema en la Cuenca Río Grande y Río Chico



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en esta Fase se valida la estructura y el comportamiento del Diagrama Causal consolidado de acuerdo con lo siguiente:

- Validación mediante los resultados de la recolección de información en campo, la cual permitió complementar y/o corregir las variables del sistema biofísico, sistema operativo y sistema de decisión que integran un agroecosistema en la Cuenca;
- Validación a partir de una revisión de cada una de las variables de los sistemas, que justifica sus interrelaciones y la polaridad de la relación; las cuales fueron registradas en una tabla como se muestra a continuación:

Tabla 4. Formato registro de validación por revisión literaria de las variables.

Sistema	Variable	Relación →	Variable relación	Revisión Literaria
Biofísico	A	(+)	B	
...	

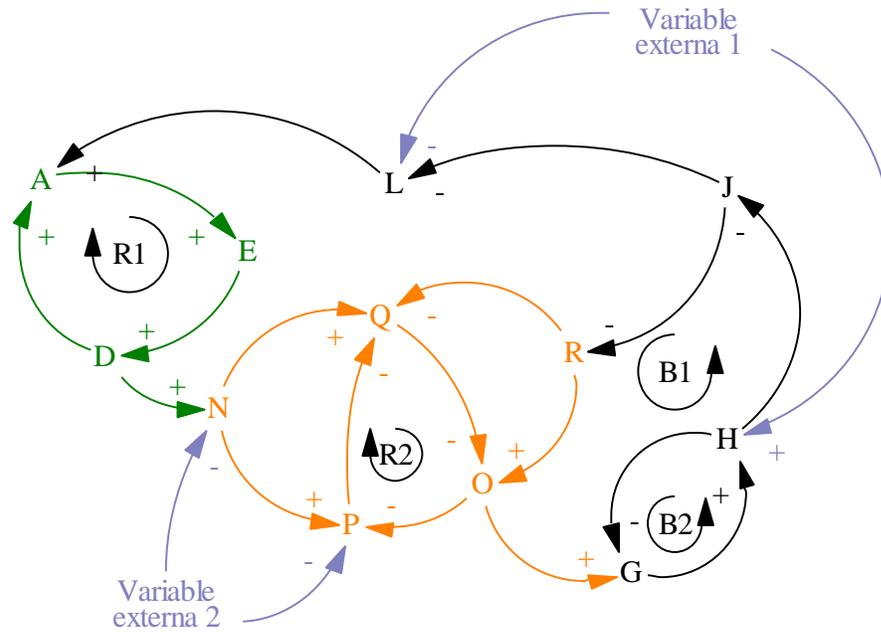
Fuente: Elaboración propia.

2.5. FASE V: Evaluación del efecto de variables externas de acuerdo con el Diagrama Causal de Dinámicas Agroecosistemas

Una vez formulado el Diagrama Causal de la Dinámica de los Agroecosistemas con la identificación de las interrelaciones entre las variables y los ciclos de realimentación que se formaron a partir de la construcción permitiendo entender el comportamiento de la toma de decisión de los productores frente a qué producir y cómo producir en la Cuenca, es posible observar y entender el posible cambio en el comportamiento de la dinámica frente a variables externas y las relaciones con las variables del Diagrama Causal.

Para esta fase, se evaluaron variables que presentan fluctuaciones y que los productores están constantemente expuestos y no tienen control sobre las mismas, como también variables de tipo institucional que afecta la dinámica de los agroecosistemas. En la **Figura 10** se presenta el ejemplo de la inclusión de variables externas en el Diagrama Causal consolidado y las relaciones y efectos que se generan entre las variables.

Figura 10. Ejemplo evaluación del efecto de variables externas en el Diagrama Causal.



Fuente: Elaboración propia.

Con la formulación del Diagrama Causal de la **Figura 10** es posible observar las interrelaciones que se generan entre las variables, evaluar y analizar el efecto de variables externas en la dinámica de los agroecosistemas y cómo afecta a los agricultores en el proceso de decisión de qué y cómo producir.

Capítulo 3

3. Resultados

Los resultados mostrados a continuación están orientados al cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados en esta investigación. Para ello se identifican y describen inicialmente las variables que determinan la dinámica de los agroecosistemas en el caso de estudio mediante el análisis de la línea de tiempo que permite entender la trayectoria de las coberturas vegetales y las formas de producción y los cronogramas de producción; luego se construyen los Diagramas Causales para cada sistema y mediante variables claves que se interrelacionan entre ellos se desarrolla la formulación del Diagrama Causal de las dinámicas de los agroecosistemas en la Cuenca, el cual se valida a partir de la información recolectada en campo y por revisión de literatura; por último, se evalúa los efectos de cambio de variables externas en la dinámica de los agroecosistemas.

3.1. Variables que hacen parte en la dinámica de los agroecosistemas

A continuación, se presenta la línea de tiempo, los cronogramas de producción del cultivo de tomate de árbol, cultivo de papa y ganadería de leche; que dan paso a la identificación y descripción de cada una de las variables de los sistemas biofísico, operativo y de decisión que hacen parte en la dinámica de los agroecosistemas en la Cuenca del Río Grande y del Río Chico.

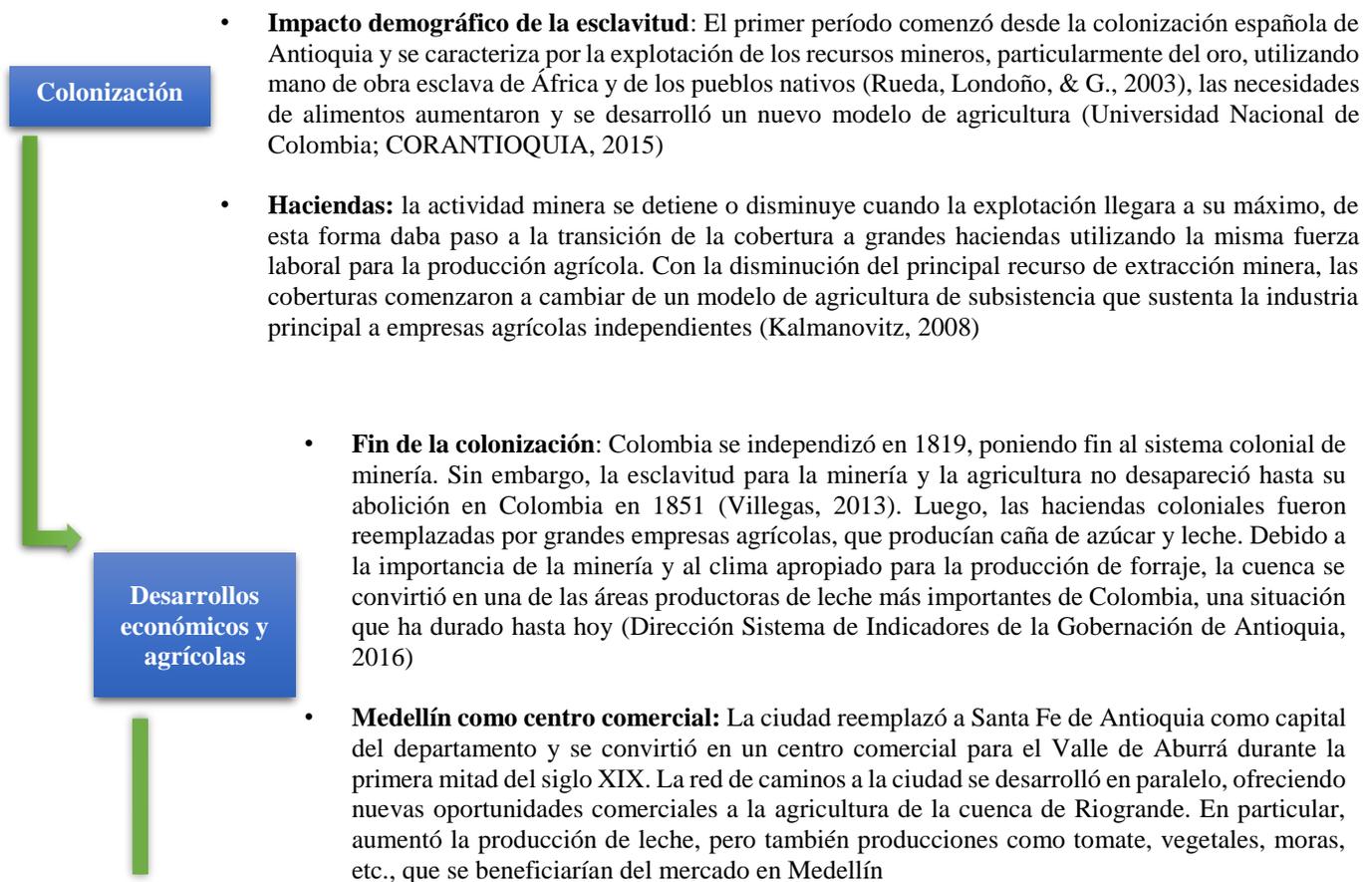
3.1.1. Línea de tiempo con hitos importantes de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico

La construcción de la línea de tiempo y la identificación de eventos importantes en la evolución histórica de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico, se realizó en conjunto con la estudiante de intercambio de maestría Anouk Tran Thanh, quien en su proyecto de tesis presenta cuatro periodos identificados así como las dinámicas de la agricultura y de la región (Tran Thanh, 2018).

En la **Figura 11** se presenta la consolidación de la identificación de eventos importantes en cuatro grandes periodos en la historia de la cuenca, el periodo de la colonización que fue marcada por el impacto demográfico de la esclavitud y el establecimiento de grandes haciendas para el sostenimiento de la clase trabajadora; el periodo de desarrollos económicos y agrícolas donde el fin de la colonización permitió que las haciendas coloniales fueran remplazadas por grandes empresas agrícolas y el establecimiento de Medellín como centro comercial que mediante la red de caminos

fue posible la comercialización de productos; el periodo de la especialización de la agricultura en donde se aumenta la producción de leche y demás productos característicos de la zona gracias a la industrialización de los sistemas de producción, los movimientos cooperativos entre los productores para la compra y procesamiento de la leche y; el periodo de protección ambiental que mediante programas y proyectos de diferentes organizaciones y la autoridad ambiental competente, enseñan a los agricultores mejores prácticas de producción y ejecutan proyectos para la conservación de áreas estratégicas de ecosistemas. La **Figura 12** presenta la línea de tiempo con la información los hechos y periodos específicos que marcaron la dinámica de los agroecosistemas.

Figura 11. Periodos e hitos importantes en la historia de la Cuenca del Río Grande y Río Chico.

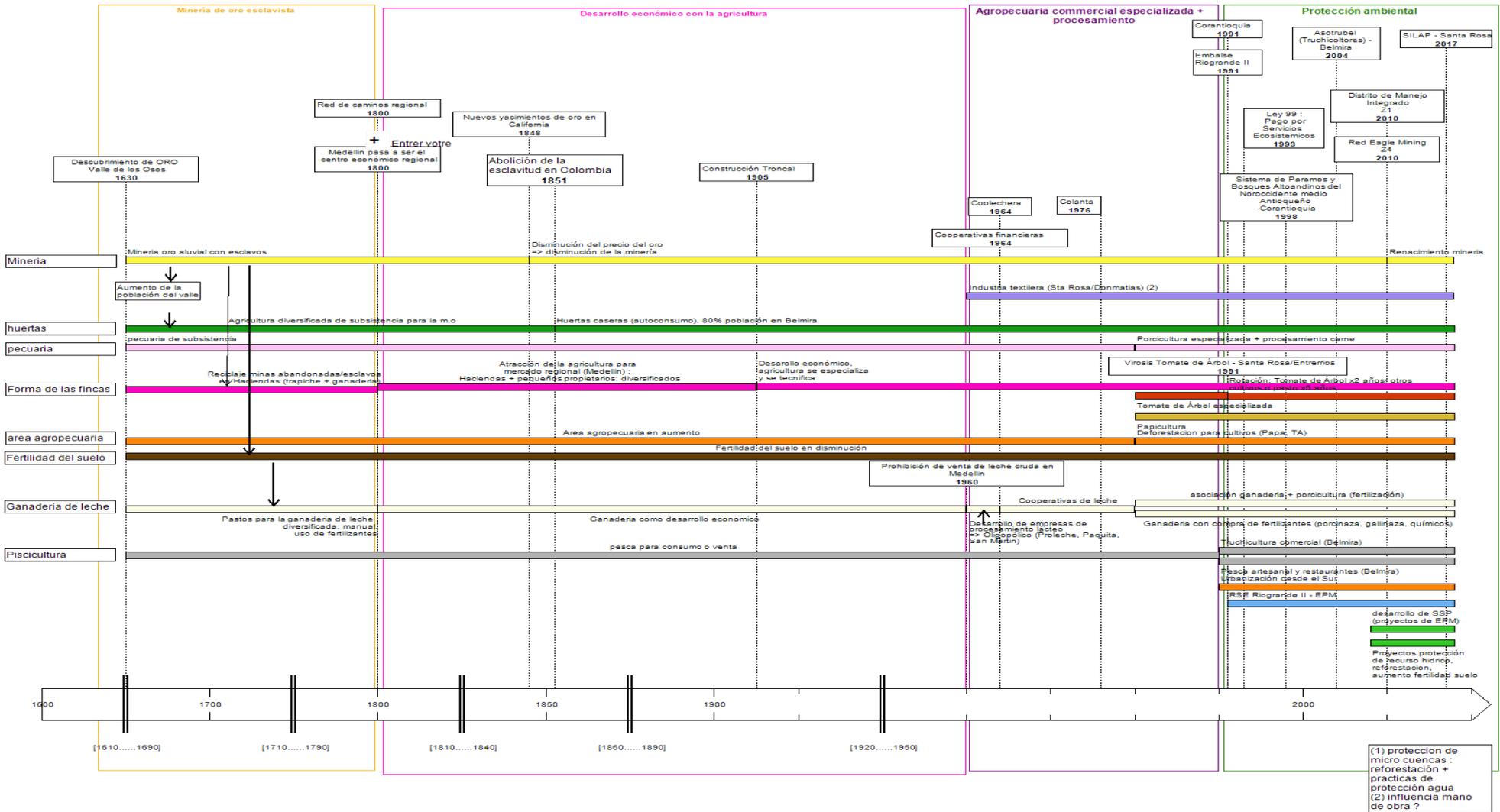




- **Impacto de la industrialización:** Con la pérdida de fertilidad causada por la minería durante el período de colonización, la producción de forraje siempre había necesitado fertilizantes. En este período de intensificación de la agricultura, la alta producción fue posible gracias al uso de estiércol de ganado vacuno y porcino (participando así en el desarrollo de la cría de cerdos en asociación con ganado o especialistas) y fertilizantes químicos. Las plantas de procesamiento de leche también se asentaron y utilizaron la importante producción de la cuenca. Tres empresas principales surgieron en Antioquia en 1954: Proleche, San Martín y Paquita (Universidad EAFIT, 2015)
- **Movimientos cooperativos:** en respuesta al oligopolio de las compañías de leche, un grupo de productores creó Coolechera, la primera cooperativa de leche en Antioquia, que se convertiría en la ahora famosa Colanta en 1976, comenzó como una unidad de pasteurización y homogeneización en Donmatías y compró la producción a los agricultores a un mejor precio y con más regularidad que las otras compañías, estableciéndose así como uno de los principales actores en la agricultura de la cuenca (cotización de los agricultores). Extendió rápidamente sus actividades a servicios como crédito y asistencia técnica que permitieron que la cría específica de ganado se extendiera en el área. En la década de 1960 se fundaron varias cooperativas financieras en Antioquia (Zabala Salazar, 2017).
- **Desarrollo de otros sistemas de producción:** con la disponibilidad de fertilizantes para la producción y la creciente demanda, el tomate de árbol se convirtió en un producto como complemento del sistema de producción de leche o como un sistema productivo en sí. Asimismo, se instaló la papa que se ha utilizado para reducir la compactación del suelo del ganado o para preparar tierras recién deforestadas para el pastoreo. El estiércol de los animales se ha utilizado para fertilizar el suelo, por lo que la cría de cerdos se desarrolló en asociación con el ganado o solo y se inició toda una industria porcina, principalmente en los municipios de Santa Rosa de Osos y Donmatías.
- **Hacia mejores prácticas ambientales:** la creación del embalse Riogrande II para abastecer a una parte de la población de Medellín y la industria trajo consigo la protección de más de 5000 ha y programas de protección del agua que tiene como objetivo enseñar a los agricultores mejores prácticas de producción y protección de los recursos naturales. CORANTIOQUIA, siendo la autoridad ambiental competente de la región, establece políticas como pagos por servicios ecosistémicos, establece áreas de importancia ambiental y vigila la producción para la protección y conservación ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Línea de tiempo de hitos importantes específicos en la historia de la Cuenca del Río Grande y Río Chico.



Fuente: (Tran Thanh, 2018)

Las trayectorias de cambios en coberturas terrestres responden a diversas dinámicas de uso del suelo en regiones específicas y reflejan la estrecha relación entre sistemas humanos y ambientales que pueden afectar la provisión de bienes y servicios ecosistémicos a través del espacio y tiempo (Ram & Orrego, 2015; Verburg et al, 2010). De esta forma en la **Figura 12** se observa que la ocupación del territorio en la cuenca está vinculada al aprovechamiento de los recursos naturales. El poblamiento de la región respondió a la explotación de minería, convirtiéndose en un modelo económico sustentado fundamentalmente en la minería con mano de obra esclava, en donde surgían transformaciones del espacio geográfico ya sea por las actividades de explotación como también por la producción agrícola y ganadera para el sustento de la mano de obra. Sin embargo, a finales del siglo XVII este modelo se fue modificando a medida que las explotaciones se hacían menos rentables y los centros mineros ubicados exigían mayor producción de alimentos básicos, dando paso a otros modelos que no solo se enfocaban las metas en la minería, pues ya habían otros intereses económicos en torno la actividad agrícola y ganadera, haciendo uso de la red de caminos que se había configurado de sur a norte y con la costa atlántica y de occidente a oriente posibilitando toda una red de comercialización de alimentos y manufacturas, y que se consolidara un territorio con base en pequeños propietarios, producción ganadera y agrícolas en la cuenca. Asimismo, estos sistemas de producción se reforzaron al convertirse Medellín en la capital del departamento y el centro de operaciones comerciantes junto con la construcción de la troncal en 1905 que permitió la interconexión de la ciudad y el sur de Antioquia (CORANTIOQUIA, 2015b).

Lo anterior, favoreció la intensificación de la agricultura y ganadería, la alta producción fue posible gracias al uso de estiércol de ganado vacuno y porcino (participando así en el desarrollo de la cría de cerdos en asociación con ganado o especialistas) y fertilizantes químicos. Las plantas de procesamiento de leche también se asentaron y utilizaron la importante producción de la cuenca, sin embargo, la creación de Cooperativa COOLECHERA en el año de 1964, que pasó a ser Lechera de Antioquia (COLANTA) en 1976 en el municipio de Donmatias, marcó un hito histórico en la consolidación de la ganadería de leche semi-intensiva como la actividad predominante en la cuenca. Asimismo, se establecieron cultivos como tomate de árbol y papa gracias a la disponibilidad de fertilizantes y como alternativas de producción o formas de adecuación del suelo para ganadería de leche (CORANTIOQUIA, 2015b; Universidad Nacional de Colombia, 2012).

Por otro lado, la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico cuenta con un importante recurso hídrico, el cual ha sido aprovechado por proyectos como el embalse Riogrande para la generación de energía eléctrica y a su vez para la provisión de servicios ecosistémicos a la zona y al Valle de Aburrá. Instituciones u organizaciones junto con la presencia de CORANTIOQUIA como autoridad ambiental, se establecen y ejecutan estrategias, programas y proyectos para la conservación y protección ambiental y de ecosistemas estratégicos, a su vez de controlar las formas de producción que puedan alterar los ecosistemas.

3.1.2. Cronogramas de producción

A continuación, se presentan los cronogramas generales de producción del cultivo de tomate de árbol (ver **Figura 13**), cultivo de papa (ver **Figura 14**) y ganadería de leche (ver **Figura 15**); que hacen parte de las características individuales de los agroecosistemas, con su elaboración es posible identificar actividades tanto de adecuación del suelo, posibles enfermedades a las que están expuestas y como es su manejo y control, como otro tipo de factores que deben tener en cuenta los productores para su establecimiento y desarrollo.

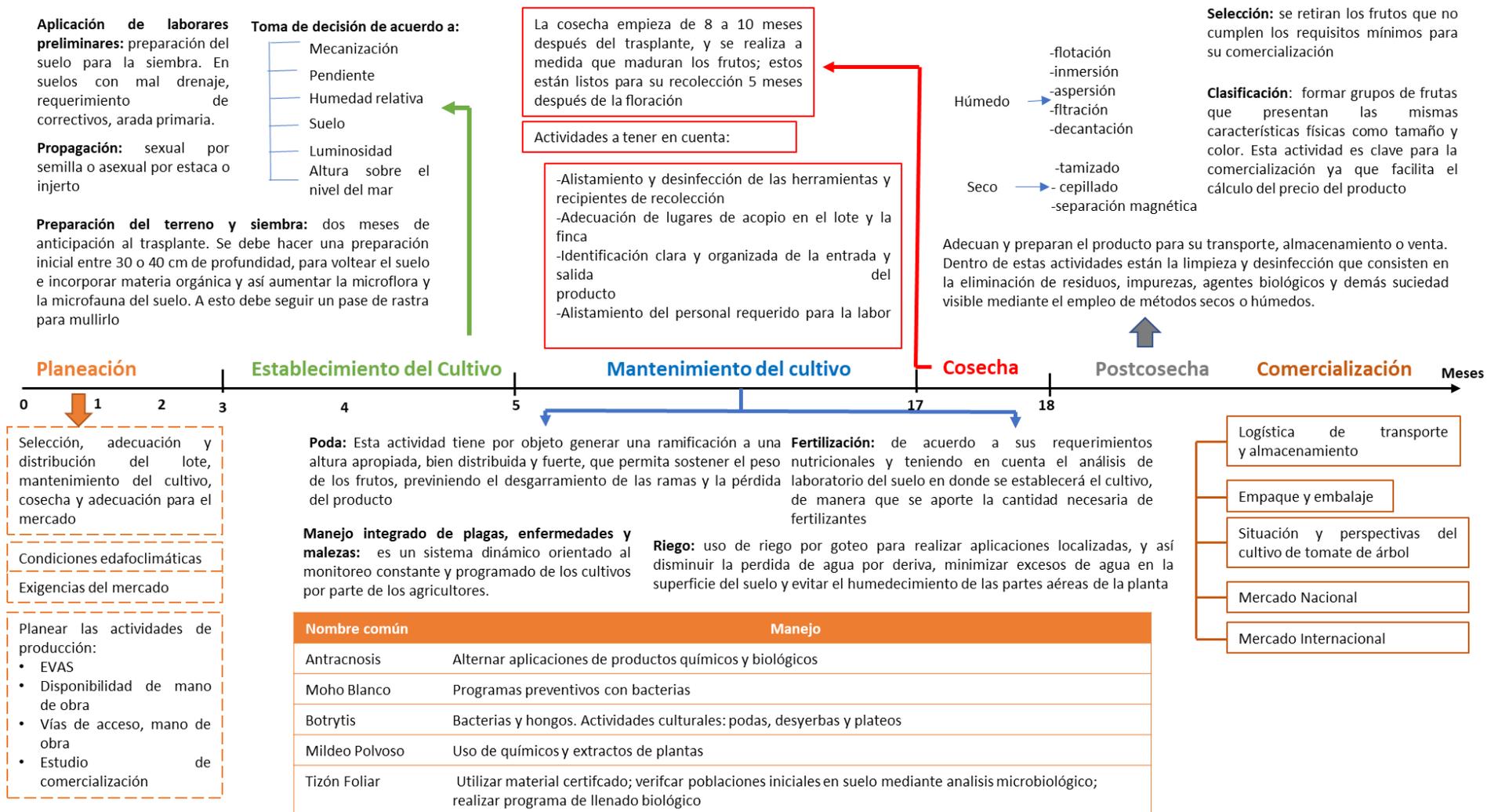
- **Cronograma de producción del cultivo de tomate de árbol**

El cultivo de tomate de árbol se desarrolla más eficientemente en clima frío moderado, con temperaturas que oscilan entre los 13°C a 20 °C; temperaturas superiores a los 25° C, e inferiores a los 10° C durante el período de floración generan caída de la flor y afectan el cuajado del fruto. De forma silvestre, crece entre los 1.200 a 3.000 msnm; sin embargo, entre los 1.800 a 2.600 msnm se desarrolla de forma óptima. La precipitación promedio anual debe ser entre 1.500 a 2.000 mm distribuidos uniformemente a lo largo del año, teniendo en cuenta que la planta no es tolerante al déficit del agua que pueden generar bajos rendimientos y perjudicar la calidad del fruto, el cultivo no tolera suelos compactados y sin oxigenación. El drenaje debe ser adecuado considerando que la presencia de encharcamientos puede matar la planta en pocos días (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Los árboles propagadores de semilla comienzan su producción a los 14 meses, estabilizándose a los 20, con una duración en producción de tres años. Es un cultivo bastante exigente en elementos nutricionales y con alta susceptibilidad a las plagas, enfermedades y adversidades climáticas, requiriendo por tanto mano de obra especializada y asistencia técnica permanente. La mano de obra utilizada por hectárea varía de acuerdo con la etapa del cultivo, así: para el establecimiento se emplean 146 jornales en 14 meses; para el sostenimiento, 240 jornales en 36 meses (CORANTIOQUIA, 2015b).

Años anteriores al 2008, el cultivo de tomate de árbol se consideraba como alternativa de producción de los productores de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico, sin embargo, estos cultivos se hicieron cada vez más vulnerables al ataque de plagas y virus, lo cual implicaba para el dueño del cultivo la aplicación de más fungicidas, herbicidas y abonos químicos con el fin de mantener el rendimiento (Universidad Nacional de Colombia, 2012). A su vez, el establecimiento y mantenimiento de los cultivos se vieron influenciados ante la aparición un problema viral denominado virosis del tomate de árbol, el cual se detectó en el año 1991 en el municipio de Santa Rosa de Osos, cuyo efecto motivó la erradicación de un alto número de plantas en los municipios de Entreríos y Santa Rosa de Osos, afectando por completo el fruto y por tanto la producción (Ríos, 2010; Tamayo M. et al., 1999).

Figura 13. Cronograma de producción del Cultivo de Tomate de Árbol.



Fuente: Realización propia a partir del Manual de Tomate de árbol(Cámara de Comercio de Bogotá, 2015b)

- **Cronograma de producción cultivo de papa**

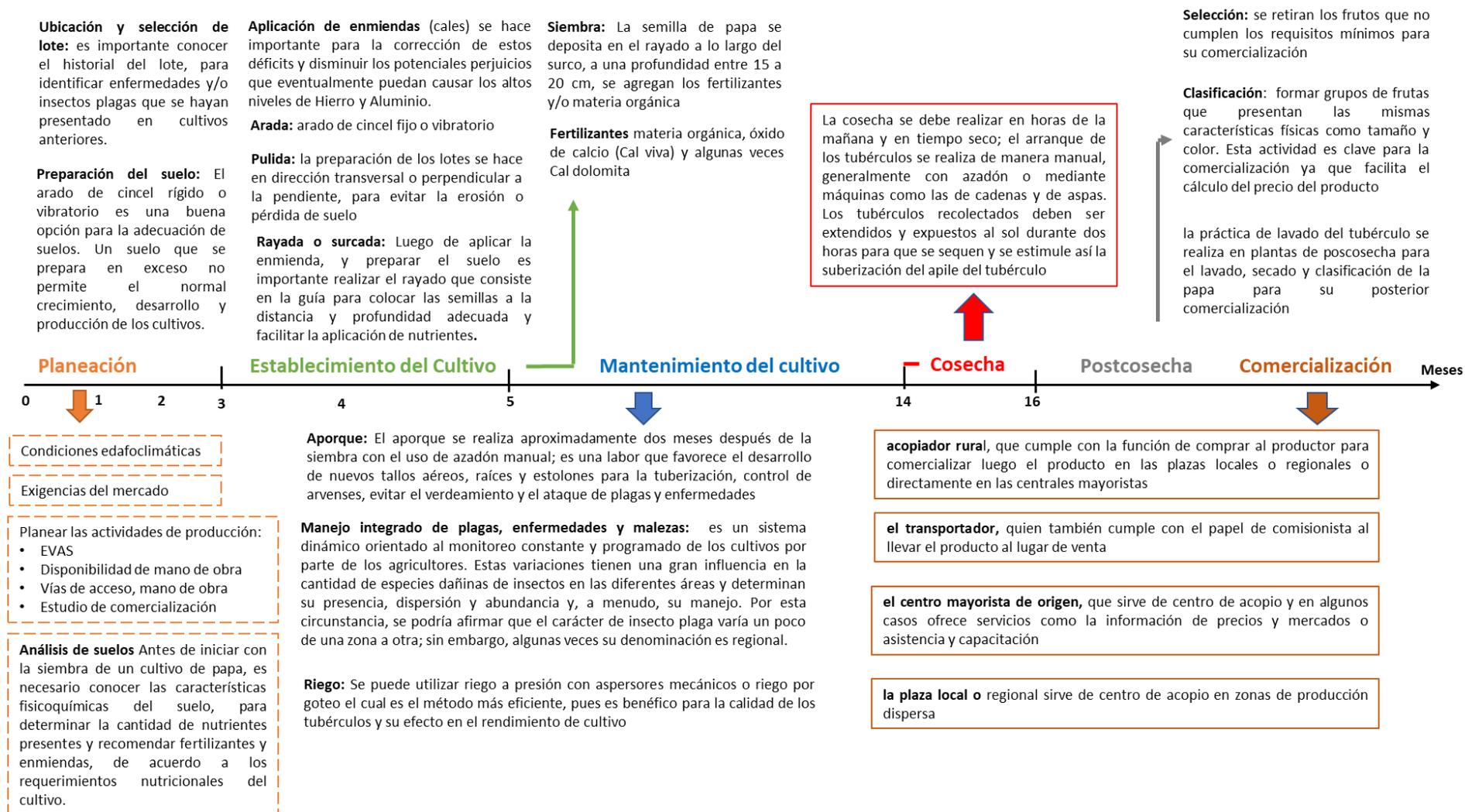
En Colombia se cultiva papa en latitudes que van desde los 2.000 hasta los 3.500 m.s.n.m. La altura del cultivo es determinante en la temperatura ambiente, y sus efectos en el cultivo van desde problemas en el desarrollo de la planta hasta efectos negativos en los rendimientos del cultivo. Las temperaturas óptimas se encuentran entre los 12 y los 14 °C. En lo referente al suministro de agua, el cultivo de papa requiere lluvias bien distribuidas de 600 a 800 mm en el año (Monómeros Colombo Venezolanos, 1980).

El cultivo de la papa fue hasta hace poco un cultivo tradicional de la región, realizado a pequeña escala, con mano de obra familiar, bajos insumos y poca tecnología, sin embargo, de acuerdo a la investigación de (Osorio Múnera et al., 2019) los productores afirman que en un terreno solo se pueden sacar dos o tres cosechas de papa de buena calidad, lo que hace que el cultivo resulte inviable económicamente de forma permanente. Es por esto que en la actualidad, la producción en su mayoría es realizada por productores provenientes del oriente antioqueño y se caracteriza, en términos generales, por un uso intensivo de fertilizantes, plaguicidas, maquinaria y de los factores productivos, en general dirigido a asegurar altos rendimientos (CORANTIOQUIA, 2015b), consiste en un cultivo transitorio rotativo de máximo dos o tres cosechas, que se usa como medio para “mejorar los terrenos” para ganadería, bajo este enfoque los propietarios (normalmente dedicados a la actividad lechera), alquilan porciones (en vegetación arbustiva u otro tipo de cobertura) de sus propiedades a los cultivadores de papa (dos o tres productores, procedentes generalmente de la Unión), para que establezcan el cultivo por uno o dos años. Las actividades de adecuación del terreno (moldeo, fertilización, arado, etc.) corren por cuenta del arrendatario, posteriormente el arrendador siembra los pastos que requiere para empezar su actividad ganadera (Universidad Nacional de Colombia, 2012).

La producción generalmente es comercializada en los municipios de Yarumal, Medellín y Santa Rosa de Osos; o se exporta a México por parte de particulares. También existen cultivadores de papa que trabajan explotaciones de tipo familiar con áreas cultivadas entre 0,5 y 2 hectáreas y la producción es destinada a mercados locales (CORANTIOQUIA, 2015b).

En la **Figura 14** se observa que en la fase del establecimiento del cultivo requiere de varias actividades para la preparación del suelo como voltear la capa superficial del suelo para obtener materia orgánica, aplicación de grandes cantidades de fertilizantes y cales con el fin de adecuar el suelo para el óptimo rendimiento del cultivo, y posterior establecimiento de pasto para ganadería de leche.

Figura 14. Cronograma de producción del Cultivo de Papa.



Fuente: Realización propia a partir del Manual de la Papa (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015a)

- **Cronograma de producción ganadería de leche**

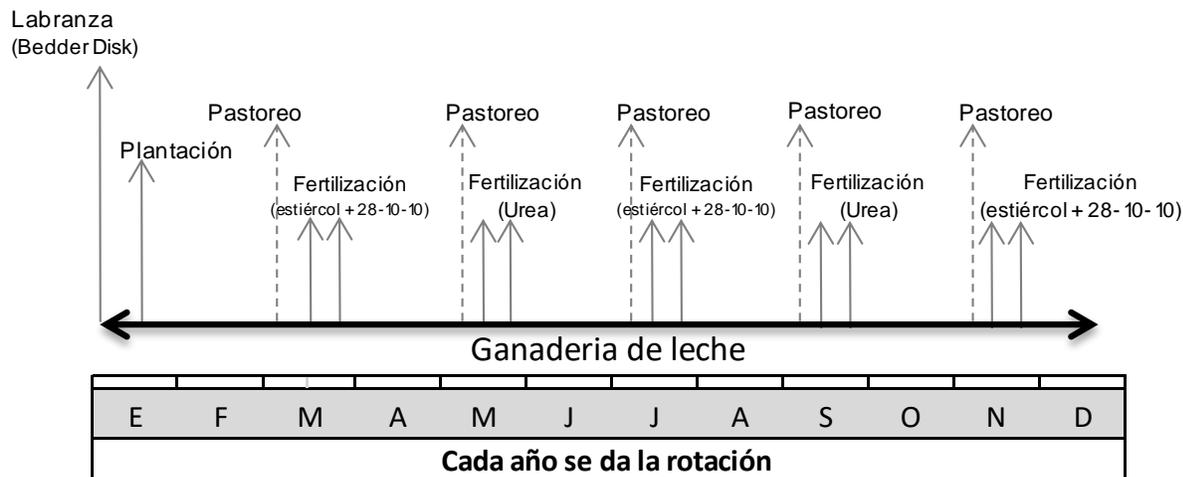
Históricamente la ganadería bovina para la producción de leche ha sido el principal uso de la tierra en estos cinco municipios y en la actualidad es una de las cuatro zonas con las mayores producciones del país, la producción se enfoca principalmente hacia la lechería especializada con razas aptas para la producción de leche, alimentado con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) mezclado con raygrass (*Lolium sp.*), suplementado con alimentos concentrados y uso de grandes cantidades de fertilizantes ya que sean químico u orgánicos (CORANTIOQUIA, 2015b; Dávila Betancurth, 2016).

La ganadería de leche en la región se produce en forma semi-intensiva, entendiéndose como el uso de complementos para el desarrollo, sostenimiento y manejo de los agroecosistemas, por medio de pequeños a medianos productores, quienes realizan en sus agroecosistemas el manejo y mantenimiento de los pastos. Para ello, los propietarios han implementado diferentes asociaciones porcicultura-pasto-lechería y papa-pasto-lechería. La primera se orienta a la utilización de la porquinaza como abono para los pastos, y la segunda a la utilización inicial del cultivo de papa como una forma de mejorar las condiciones para el crecimiento del pasto, sobre todo en las zonas donde previamente había vegetación arbustiva o pastos enmalezados (CORANTIOQUIA, 2015b; Universidad Nacional de Colombia, 2012). Sin embargo, para el año 2013 se registró una importante disminución de porcícolas en los municipios de San Pedro de los Milagros y Entreríos principalmente porque los productores han decidido concentrarse en la intensificación de sus lecherías (Dávila Betancurth, 2016).

El sistema especializado en la producción de leche involucra la presencia de reconocidas agroindustrias lácteas como la Cooperativa Lechera de Antioquia COLANTA principalmente, Lácteos La Fontana Ltda, Lácteos Betania S.A., La Procesadora de Leches Integrales S.A (Prolinco), Lácteos El Galán S.A., y la multinacional Alpina Productos Alimenticios S.A. La demanda del producto por parte de la agroindustria fomentó la ampliación de la frontera agrícola desde la década de los 60's lo que explica la extensa superficie con pastos como cobertura vegetal dominante en la región (CORANTIOQUIA, 2015b; Dávila Betancurth, 2016; Universidad Nacional de Colombia, 2012).

El proceso completo de siembra y rotación durante el año de un sistema de producción ganadera se presenta en la **Figura 15** de un agroecosistema, que muestra algunas de las características en alternancia entre fertilización química y fertilización orgánica con porcínaza para 1,5 y 2 meses por cada periodo de pastoreo (Osorio Múnera et al., 2019)

Figura 15. Calendario de manejo agrícola para la producción de leche



Fuente: (Osorio Múnera et al., 2019)

3.1.3. Identificación de las variables que determinan las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca del Río Grande y Río Chico

El concepto base de los Agroecosistemas permite ofrecer un marco de referencia para analizar las relaciones de de los subsistemas en función del número de componentes, teniendo en cuenta el conjunto de entradas, salidas y las interacciones entre sus partes (Gliessman, 2002)(Fischer et al., 2010), los agroecosistemas se pueden dividir en tres subsistemas interactivos (Clouaire & Rellier, 2009) esto proporciona una mejor comprensión de las variables que hacen parte de cada uno y sus relaciones. En la **Tabla 5** se presenta la descripción de los sistemas biofísico, operativo y de decisión en donde fueron agrupadas las variables identificadas.

Tabla 5. Descripción de los sistemas de un agroecosistema

	Subsistemas	Descripción
Agroecosistema	Sistema Biofísico	Conjunto de características relacionadas con los ecosistemas y la naturaleza, la interacción de factores y procesos del recurso natural con el desarrollo de las actividades como la lluvia, el suelo, el clima, el relieve, entre otros.
	Sistema Operativo	Conjunto de entradas de material para la ejecución de los procesos de producción, las acciones para gestionar y administrar los recursos de los que se dispone para el desarrollo de una actividad productiva y generar un beneficio monetario, es decir, tener en cuenta un grupo de variables que determinan qué tan rentable va a ser para el productor la actividad de producción que se desarrolle
	Sistema de decisión	Individuo (agricultor) o conjunto de individuos que proporciona las instrucciones de la ejecución de las

		tareas y las observaciones para alcanzar el objetivo general del sistema de producción. Ya que el productor es el agente tomador de decisión, hace parte de una comunidad en la que cumple una función específica que contribuye al sostenimiento del sistema, y se encuentra expuesto a las expresiones de una sociedad, tales como las tradiciones, las prácticas, las maneras de ser, las habilidades que posee cada persona, modos de vida, entre otros.
--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que la descripción se realizó a partir de las particularidades de las variables que tienen en cuenta los productores en el proceso de decisión frente a qué, cómo y dónde producir. En la **Tabla 6** se presenta la descripción de las variables que se identificaron en el sistema biofísico.

Tabla 6. Descripción de las variables del Sistema Biofísico.

Subsistema del agroecosistema	Variable	Descripción
Sistema Biofísico	Calidad del suelo	Capacidad del suelo para sostener la productividad de plantas y animales.
	Precipitación	Cantidad de lluvia en la zona en un período de tiempo.
	Oferta de agua superficial	Volumen disponible de agua superficial en la zona, para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre
	Temperatura	Grados de temperatura para el adecuado establecimiento y desarrollo de la producción.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 7** se presentan la descripción de las variables que se identificaron en el sistema operativo. Debido a que los sistemas de producción de ganadería de leche, cultivo de tomate de árbol y cultivo de papa son representativos en la Cuenca algunas variables son específicas para cada sistema.

Tabla 7. Descripción de las variables del Sistema Operativo.

Subsistema del agroecosistema	Variable	Descripción
Sistema Operativo	Fertilización química	Sustancia externa inorgánica de fabricación industrial que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, que mediante su aplicación mantiene o mejora los nutrientes del suelo con el fin de sostener y/o mejorar la producción.
	Fertilización orgánica	Sustancia orgánica (productos de origen animal y vegetal) que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, que mediante su aplicación mantiene o mejora los nutrientes del suelo con el fin de sostener y/o mejorar la producción.

Subsistema del agroecosistema	Variable	Descripción
	Costos de fertilización	Cantidad de dinero que cuestan los fertilizantes necesarios para la producción.
	Labranza	Se refiere a la remoción de la tierra para incorporar materiales de superficie y mejorar temporalmente las condiciones físicas del suelo para el desarrollo de la producción.
	Requerimiento Hídrico actividades productivas	Necesidad de agua para el sostenimiento de los sistemas de producción.
	Eficiencia sistema de riego	Mecanismo para ahorrar cantidad y costos asociados con el agua, y a su vez hacer uso y aplicar uniformemente el agua para su adecuado almacenamiento en el suelo y ser aprovechadas por las plantas para su óptimo desarrollo.
	Efectividad de manejo de plagas y enfermedades	Con el fin de prevenir pérdidas y entregar un buen producto es necesario realizar monitoreos constantes de plagas y enfermedades, con el fin de entender cómo afectan y en qué medida a cada cultivo y de esta forma saber cuándo y cómo controlarlas.
	Enfermedades	Los cultivos y animales están expuestos a alteraciones ocasionadas por agentes que causan enfermedades. Algunos cultivos y animales son más propensos a enfermedades dificultando su manejo y generando pérdidas parciales o totales en la producción.
	Alquiler de la tierra	Valor del arrendamiento del predio o área para el sistema de producción
	Mano de obra	Cantidad de personas requeridas para las operaciones agrícolas
	Productividad Tomate de árbol	Cantidad de producto obtenido a partir del sistema de producción por cada unidad de área dedicada a la producción de tomate de árbol (número de kilogramos de tomate de árbol por hectárea).
	Cosecha Tomate de árbol	Para entregar un buen producto es necesario realizar la recolección adecuada de los frutos del tomate de árbol con características similares y que se encuentren totalmente desarrollados
	Ingresos por tomate de árbol	Cantidad de dinero obtenida de los productos obtenidos a partir del sistema de producción, es decir, cantidad de dinero por kilogramo de tomate de árbol
	Costos de producción del tomate de árbol	Gastos necesarios para llevar a cabo la producción de cada kilogramo tomate de árbol
	Ganancias finales tomate de árbol	Es la cantidad de dinero que le queda al productor como ganancia final y resulta de

Subsistema del agroecosistema	Variable	Descripción
		restarle los costos de producción unitarios a los ingresos unitarios y multiplicar esos ingresos netos por cada kilogramo por la cantidad de kilogramos de tomate de árbol producidos.
	Productividad Papa	Cantidad de productos obtenidos a partir del sistema de producción en cada unidad de área dedicada a la producción de papa (kilogramo de papa por hectárea).
	Cosecha Papa	Para entregar un buen producto es necesario realizar la recolección adecuada de los tubérculos de la papa que se encuentren totalmente desarrollados.
	Ingresos Papa	Cantidad de dinero obtenida de los productos obtenidos a partir del sistema de producción de la papa, es decir, cantidad de dinero por kilogramo de papa.
	Costos Papa	Gastos necesarios para llevar a cabo la producción cada kilogramo de papa
	Ganancias Papa	Es la cantidad de dinero que le queda al productor como ganancia final y resulta de restarle los costos unitarios de producción a los ingresos unitarios y multiplicar esos ingresos netos por la cantidad de kilogramos de papa producidos.
	Requerimiento almacenamiento leche	Exigencia de un adecuado sistema de recolección, almacenamiento y enfriamiento de la leche
	Tecnificación en producción leche	Estándares determinados como el tipo de sistema de ordeño, lugar de ordeño, el almacenamiento de la leche, la reproducción del ganado y la dieta para mejorar la producción y calidad de la leche.
	Calidad de Leche	Características fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas de la leche cruda que cumplen con los requerimientos establecidos para el consumo humano y venta.
	Bonificación	Incentivos que proporcionan los compradores de leche a los productores como un reconocimiento a la calidad de la leche cruda, presentando mejores características fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas que las características mínimas requeridas. El tipo de incentivo es un acuerdo por parte del comprador y productor.
	Endeudamiento	Necesidad de dinero del productor para el establecimiento, sostenimiento y/o mejoramiento del sistema de producción, que se obtiene a partir de una deuda.

Subsistema del agroecosistema	Variable	Descripción
	Productividad Ganadería leche	Cantidad de productos obtenidos a partir del sistema de producción, es decir, litros de leche por vaca por día. Asimismo, se refiere a la cantidad de productos obtenidos por hectárea cuando se requiera, es decir, dividir la cantidad de litros de leche por vaca por día por la carga animal por hectárea, obteniendo la cantidad de leche por día por hectárea.
	Ingresos ganadería leche	Cantidad de dinero obtenida de los productos obtenidos a partir del sistema de producción, es decir, cantidad de dinero por litro de leche.
	Costos producción ganadería leche	Gastos necesarios para llevar a cabo la producción de un litro de leche
	Ganancias ganadería leche	Es la cantidad de dinero que le queda al productor como ganancia final y resulta de restarle los costos de producción unitarios a los ingresos unitarios multiplicado por la cantidad de litros de leche.
	Implementación sistemas silvopastoriles	Modalidad de sistema de producción que ayuda a restaurar la fertilidad y biodiversidad del suelo, aumentar el forraje, diversificar los ingresos, fomentar la conectividad ecológica y la conservación de los ecosistemas mediante el establecimiento y manejo de árboles y arbustos.
	Acceso a seguros agropecuarios	Posibilidad de adquirir seguros que cubra riesgos de origen climático, geológico y biológico que pueden generar pérdidas parciales o totales en la producción. De esta forma se incentiva a desarrollar y proteger la producción.
	Incentivos a la producción	Estímulo mediante beneficios económicos, ayudas en créditos financieros y demás para incrementar y/o mejorar la producción
	Acceso a certificado incentivo forestal	Aporte directo en dinero, como un reconocimiento del gobierno, en los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones de bosque con fines protectores-productores hasta el quinto año.
	Incentivos a la conservación	Estímulos de beneficios económicos y/o ser parte de proyectos para la protección y la conservación de los ecosistemas.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 8** se presenta la descripción de las variables identificadas en el sistema de decisión de un agroecosistema.

Tabla 8. Descripción de las variables del Sistema de Decisión

Subsistema del agroecosistema	Variable	Descripción
Sistema de decisión	Producción por tradición	Darle continuidad y desarrollar el sistema de producción que por años ha estado presente y que se ha vuelto representativo en la zona y que por generaciones (bisabuelos, abuelos, padres) han implementado y por ende se ha transmitido los conocimientos para su debido manejo y control.
	Habilidad en la producción	Capacidad de establecer, desarrollar y manejar la producción. Se obtiene a partir de los años de dedicación, resultados y conocimiento adquirido.
	Disfruta como productor	El estilo de vida como productor le genera gozo y alegría, esto motiva a implementar, continuar y realizar las actividades del sistema de producción.
	Experiencia en la producción	Resultados positivos o negativos que se obtienen a partir del desarrollo de sistemas de producción e influyen en la decisión de continuar o volver a implementar esos sistemas de producción.
	Experiencia de los vecinos en la producción	Transferencia de información de la facilidad o dificultad de manejo y resultados positivos o negativos que se obtienen a partir del desarrollo de sistemas de producción por parte de un productor en la zona (vecino) e influye en la decisión de implementar esos sistemas de producción.
	Aversión al riesgo	Necesidad del productor de evitar algunos sistemas de producción debido al desconocimiento en el manejo, inseguridad a los posibles resultados que le pueda generar.
	Presencia de organizaciones compradoras del producto	Presencia de organizaciones en la zona que compran el producto e incentivan la agricultura y ganadería.
	Líder en adopción de prácticas agropecuarias innovadoras	Capacidad de considerar, acoger e implementar nuevas prácticas que signifique un cambio en la forma de producción tradicional con el fin de aumentar la eficiencia, el mejoramiento y/o la sostenibilidad en el sistema de producción. Asimismo, la capacidad de motivar a la comunidad a la adopción mediante la transferencia de información y conocimiento.
	Organización de la comunidad	Lazos entre los productores y comunidad de la zona, mediante espacios que faciliten la discusión e intercambio de experiencias y conocimientos, cooperación y el acceso a

Subsistema del agroecosistema	Variable	Descripción
		oportunidades y recursos. Gracias a estos espacios el productor obtiene información que incide en el sistema y en la forma de producir.
	Participación en eventos institucionales	Hacer parte de eventos como capacitaciones, generación de conocimiento, consulta ciudadana y demás, que fortalecen la relación entre comunidad de productores e instituciones y la transferencia transparente de información y resultados que pueden afectar a los sistemas de producción.
	Confianza y credibilidad en las organizaciones	Surgen lazos de confianza y apoyo mediante la realización de reuniones y los espacios de discusión e intercambio de experiencias y conocimiento; fomentan a la cooperación y colaboración en prácticas y/o actividades entre los productores.
	Imagen positiva como productor	Percepción de respeto por parte de la comunidad de productores y de la zona debido al manejo del sistema de producción.
	Conciencia de protección y conservación.	Para llevar a cabo un sistema de producción es necesario el flujo de recursos sociales, económicos, culturales y ambientales que a su vez son afectados por la producción. Por lo tanto, es necesario entender la importancia de proteger y conservar los ecosistemas para su sostenimiento y provisión de servicios ecosistémicos.

Fuente: Elaboración propia.

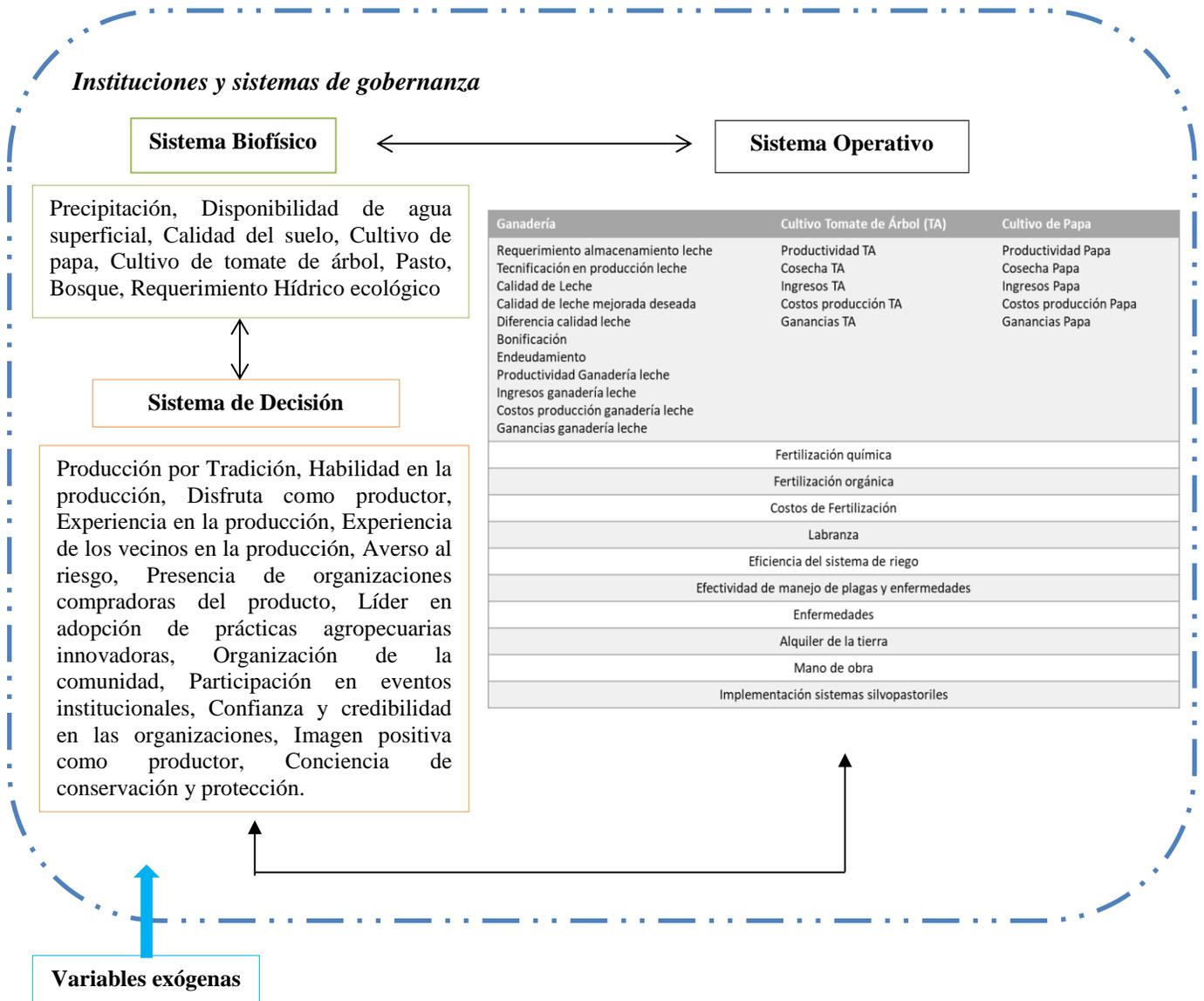
Con el fin de facilitar la comprensión de la interacción de las variables y de los sistemas biofísico, operativo y de decisión con sus respectivas relaciones, se pueden observar y analizar por medio de la descripción de marcos conceptuales planteados por el IPBES⁴. En el contexto de IPBES, podrían describirse como "un resumen conciso en palabras o imágenes de las relaciones entre las personas y la naturaleza", en otras palabras, los marcos conceptuales representan componentes sociales y ecológicos clave, y las relaciones entre estos componentes, proporcionan terminología y estructura comunes para las variables que son el foco de un análisis del sistema, y proponen suposiciones sobre las relaciones clave en el sistema. Los marcos conceptuales tienen la capacidad de proporcionar un

⁴ La Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios del Ecosistema (IPBES) se estableció en 2012 como un organismo intergubernamental independiente abierto a todos los países miembros de las Naciones Unidas, con el objetivo de 'fortalecer la interfaz ciencia-política para la biodiversidad y los servicios del ecosistema para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, bienestar humano a largo plazo y desarrollo sostenible' (<http://www.ipbes.net>).

lenguaje compartido y un conjunto común de relaciones y definiciones para hacer que los sistemas interrelacionados sean tan simples como deben ser para el propósito previsto (Mbizvo et al., 2014).

En la **Figura 16** se presenta el diagrama de bloques de acuerdo con el marco conceptual planteado por el IPBES, en donde se observa las interrelaciones del sistema biofísico, sistema operativo y sistema de decisión que a su vez se encuentran en un sistema entre un bloque definido como sistema de gobernanza y que están expuestos a alteraciones por variables externas.

Figura 16. Diagrama de bloques de un agroecosistema en la Cuenca



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la definición esbozada por el IPBES (Mbizvo et al., 2014), el sistema biofísico incluye categorías como la biodiversidad, los ecosistemas, la estructura y el funcionamiento del ecosistema, la biosfera y los recursos naturales vivos. Lo que se encuentra contenido en este sistema posee un valor intrínseco propio y contribuye a las sociedades a través de la provisión de beneficios de la naturaleza para las personas, se refieren a todos los beneficios que la humanidad - individuos, comunidades, sociedades, naciones o la humanidad en su conjunto - en entornos rurales y urbanos - obtiene de la naturaleza. Los bienes y servicios de los ecosistemas, incluidos los servicios de aprovisionamiento, regulación y culturales (Carpenter et al., 2009), en este sistema se incluyen el pasto, bosque y cultivos de tomate de árbol y papa como coberturas vegetales. Los sistemas operativo y cultural y social, son donde ocurre el uso, demanda y disfrute de los servicios por parte de la sociedad con el fin de alcanzar un nivel de bienestar, que se logra mediante una coproducción de beneficios entre la naturaleza y los diversos activos construidos por las personas (infraestructura, conocimientos, tecnología, activos financieros) (Reyers et al., 2013), el valor de muchos de los beneficios de la naturaleza para las personas varía según la disponibilidad y las preferencias de fuentes alternativas de esos beneficios. El nivel de bienestar es dependiente del contexto y de la percepción de los individuos (Mbizvo et al., 2014)

Los tres sistemas están contenidos en un sistema de gobernanza e instituciones que abarca el conjunto de reglas, normas y estrategias adoptadas por todas las interacciones formales e informales entre las partes interesadas y las estructuras sociales que determinan cómo se toman e implementan las decisiones, cómo se ejerce el poder y cómo se distribuyen las responsabilidades (Martín-López et al., 2009; Mbizvo et al., 2014).

Las variables exógenas son variables naturales y/o antropogénicas que pueden modificar la dinámica de un agroecosistema. Las variables naturales son aquellos que no son el resultado de actividades humanas y cuya ocurrencia está más allá del control humano y las variables antropogénicas son resultados de las decisiones y acciones humanas, como la contaminación, restauración de hábitats, introducción de especies, intensificación o abandono de coberturas (Collins et al., 2011; Mbizvo et al., 2014; Ostrom, 2009)

3.2. Formulación de la hipótesis dinámica: Diagramas Causales del sistema biofísico, sistema operativo y sistema de decisión

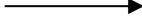
La formulación de la hipótesis dinámica se realiza usando diagramas de ciclos causales. El propósito de estos diagramas es identificar las variables e interacciones que se consideran claves para la comprensión del problema a estudiar. Estos diagramas también permiten identificar ciclos de retroalimentación a partir de las interacciones señaladas. Para la construcción de la hipótesis dinámica se parte de la identificación de las variables de cada uno de los sistemas que integran un agroecosistema, así como sus relaciones causales con el fin de analizar las interacciones entre ellas y comprender la dinámica de la toma de decisiones de un productor en la cuenca.

A continuación, se presenta las Diagramas Causales de los sistemas biofísico, operativo y de decisión; con sus respectivas relaciones causales y ciclos de realimentación.

3.2.1. Diagrama Causal Sistema Biofísico

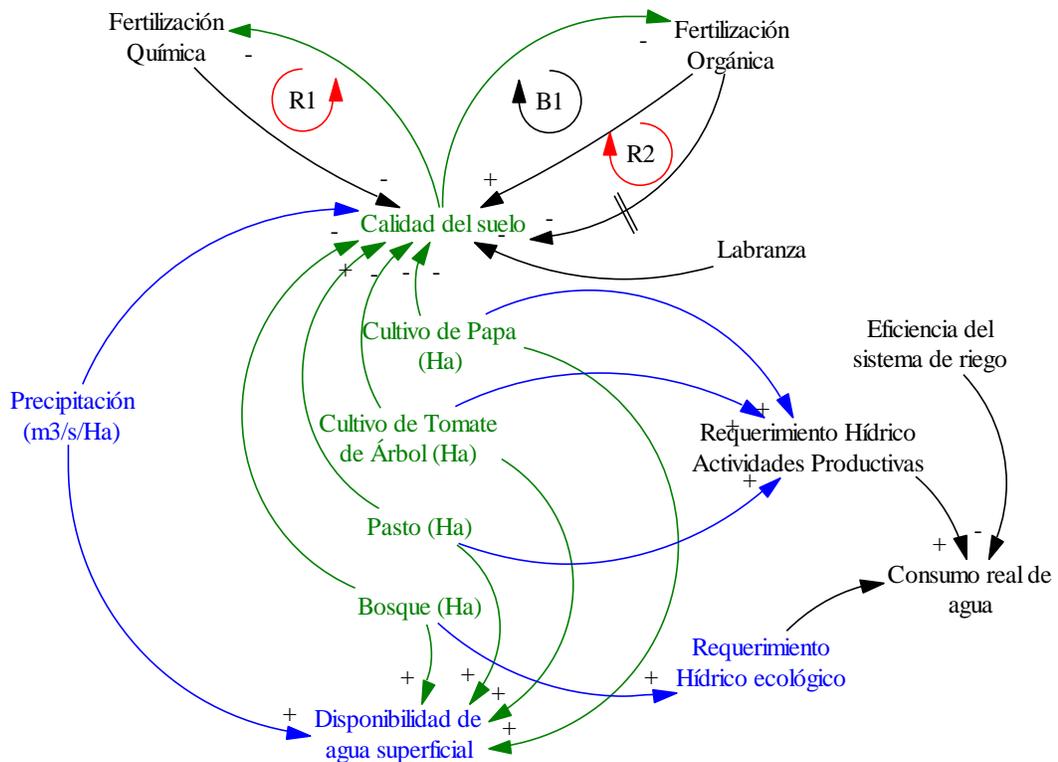
En la **Tabla 9** se presenta la leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron a partir de la construcción y análisis del Diagrama Causal del Sistema Biofísico de un agroecosistema en la cuenca (ver **Figura 17**). Al ser un sistema dinámico que actúan y se integran otras variables de los otros sistemas que componen un agroecosistema, es posible que en el Diagrama Causal del Sistema Biofísico (variables y flechas de color verde y azul) también interactúen variables y relaciones del Sistema Operativo (variables y flechas de color negro).

Tabla 9. Leyenda del Diagrama Causal del Sistema Biofísico

Leyenda			
	Relación y variables del sistema biofísico relacionadas con el suelo		Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización química
	Relación y variables del sistema biofísico relacionadas con el recurso hídrico		Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica
	Relación y variables del sistema operativo		Ciclo de balance relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica con retraso

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Diagrama Causal Sistema Biofísico



Fuente: Elaboración propia.

Para entender la relación del efecto de la precipitación a la calidad de suelo, se toma como referencia diversos autores quienes definen la erosión del suelo como la remoción del material superficial por acción del viento o del agua, o como el desprendimiento y transporte y depositación de partículas de la superficie debido a la acción hídrica y eólica (Duque & Escobar, 2012; Merritt et al., 2003; Ramírez León, 2009). Según lo anterior, se considera entonces la erosión hídrica del suelo como la remoción, transporte y depositación del material superficial por acción del agua, la cual se produce cuando dichos procesos de remoción de la superficie se dan a una tasa mayor que de la formación (Sepúlveda López, 2013). Cuando se presenta erosión hídrica, las gotas de lluvia compactan la superficie del suelo, y las salpicaduras y el flujo del agua desprenden las partículas. Estos procesos suelen sellar la superficie del terreno, disminuyendo la capacidad de infiltración del agua en el suelo y aumentando la escorrentía (Kirbky, Morgan, & R., 1984). Asimismo, se genera un esfuerzo cortante en la superficie del suelo con el flujo superficial del agua, el cual, al exceder la fuerza de cohesión, desprende los sedimentos (Merritt et al., 2003). Lo anterior, contribuye a generar una degradación de los suelos al deteriorar su estructura y productividad, proceso que se agudiza cuando además de los factores físicos propios del medio natural, intervienen las actividades antrópicas poco sostenibles y realizadas sin medidas de conservación (Sepúlveda López, 2013). En el capítulo 4 de la tesis doctoral de Berrío Linda (2018) se evidencia la modelación causal de la erosión hídrica basada en la investigación de (Sepúlveda López, 2013) donde hace uso y valida el modelo de la Ecuación Universal de la Perdida del Suelo para la Cuenca del Río Grande y Chico, asimismo, presenta la modelación de la relación causal de la precipitación con la oferta superficial de agua mediante el Modelo distribuido de Tanques o el Modelo de Simulación Hidrológica Abierta propuesto por Velez, (2001), en donde en cada nivel o tanque el agua sigue su trayectoria en la dirección de la ladera hasta que encuentre un cauce.

Adicional a esto, las relaciones de las variables pasto, el cultivo de tomate de árbol, el cultivo de papa y el bosque son tipos de cobertura vegetal, los cuales cumplen una importante función en la conservación de los suelos, tanto para mitigar la degradación del suelo como para mantener la calidad del mismo, al cubrirlo con su follaje protegiéndolo de las gotas de lluvia, permitir el aumento de contenido de materia orgánica, disminuir la evaporación del agua en la superficie del suelo y amarrar el suelo con sus raíces contrarrestando el desprendimiento y arrastre de material (Pérez Gallardo, 2001; Serrato et al., 1999). Sin embargo, para López (2002), "la degradación del suelo puede ser explicada por la competencia entre diferentes formas de utilización o aprovechamientos, de manera que el excesivo uso o varias de las funciones asociadas al suelo serán a costa o riesgo de las otras". Es así que cuando se establece competencia entre diferentes usos de la tierra, que privilegian una función sobre otra, pueden desarrollarse desequilibrios que explican los factores y causas de la degradación del suelo (Sepúlveda López, 2013). Como en el caso de la Cuenca del Río Grande y Chico, el establecimiento de monocultivos, la extensión de la franja agropecuaria que genera presión sobre los bosques nativos y el uso excesivo de insumos, como los fertilizantes, para aumentar la productividad a corto plazo, generan alteraciones negativas en las propiedades del suelo.

Por otro lado, como se ha analizado en la línea de tiempo de los eventos importante de la Cuenca Río Grande y Río Chico presentada en el Fase I de la metodología, en la zona se presentaban en gran magnitud actividades mineras lo cual ha impactado la calidad del suelo disminuyendo su capacidad

de proporcionar servicios ecosistémicos, de esta forma la calidad del suelo no ha presentado óptimas condiciones para desarrollar los sistemas de producción industrializados. El ciclo R1 define el refuerzo de la calidad del suelo acompañado del uso y aplicación de grandes concentraciones de fertilizantes químicos para obtener un adecuado forraje y mejorar las condiciones del suelo para implementar las actividades de ganadería y/o cultivos, que a su vez generan cambios en el Carbono (C), el pH u otras propiedades del suelo (Fierer et al., 2009; Zeng et al., 2016). En la cuenca se ha observado la implementación de sistemas de pasto-porquinaza-pasto, en donde hace uso del estiércol de los cerdos como fertilizante orgánico y/o gallinaza, champiñonaza, entre otros fertilizantes orgánicos que generalmente aumentan la biomasa microbiana del suelo mejorando la calidad del suelo a corto plazo (ciclo de balance B1), sin embargo, con el tiempo genera un desequilibrio químico y microbiológico que modifica el pH natural del suelo con la tendencia de acidificarlo más (CORANTIOQUIA, 2015b) (ciclo de refuerzo R2)

Otra variable que afecta la calidad del suelo es la labranza, que se usa en los sistemas de producción agropecuarias para la remoción de la capa del suelo antes de la siembra, para facilitar la germinación de las semillas, el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas cultivadas. Sin embargo, esta actividad es perjudicial para las propiedades biológicas del suelo, ya que puede reducir el contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo (Kumar et al., 2017), aumenta las emisiones de dióxido de carbono (Melland et al., 2017) y disminuye tanto la capacidad del suelo para retener nutrientes como las condiciones físicas del suelo (Alhameid et al., 2017; I. Martínez et al., 2016).

En cuanto al consumo de agua, tanto el pasto como los cultivos requieren suministro de agua para el desarrollo eficiente de su producción, el establecimiento de sistemas de riego permite el uso del agua de forma que se aplique uniformemente para su adecuado almacenamiento en el suelo y ser aprovechadas por las plantas para su óptimo desarrollo, facilitando al agricultor compensar el déficit de lluvias, ahorro de agua y los suministros necesarios para el crecimiento de las plantas (López et al, 2011; Agronegocios, 2019).

3.2.2. Diagrama Causal Sistema Operativo

En la **Tabla 10** se presenta la leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron a partir de la construcción y análisis del Diagrama Causal del Sistema Operativo de un agroecosistema en la cuenca (ver **Figura 18**). Al ser un sistema dinámico que actúan y se integran otras variables de los otros sistemas que componen un agroecosistema, es posible que en el Diagrama Causal del Sistema Operativo (variables y flechas de color negro) también interactúen variables y relaciones del Sistema Biofísico (variables y flechas de color verde y azul) y variables exógenas antropogénicas que pueden modificar la dinámica del agroecosistema (variables y flechas azul claro).

Tabla 10. Leyenda del Diagrama Causal del Sistema Operativo

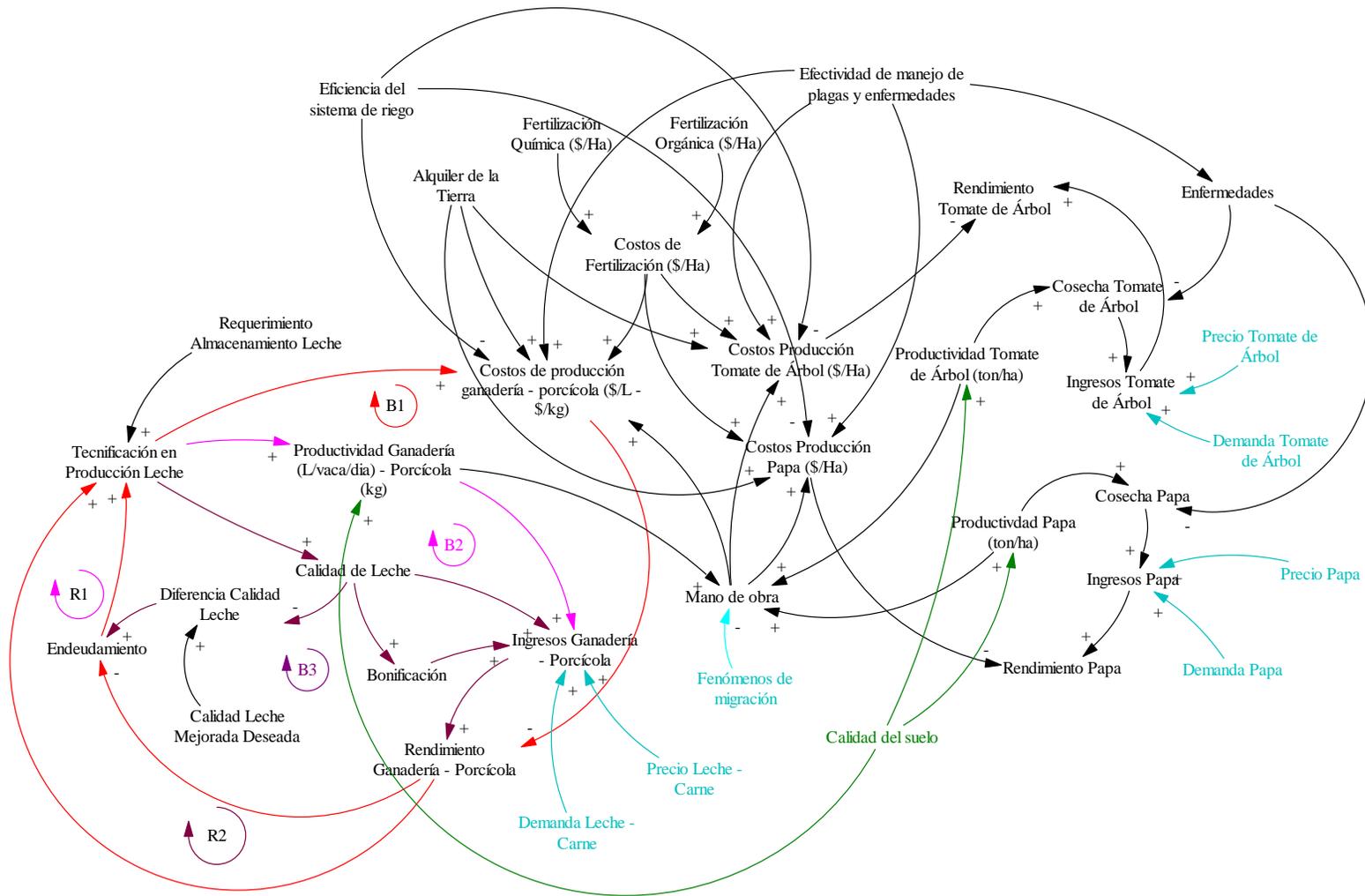
Leyenda			
	Relación y variables del sistema biofísico relacionadas al suelo		Relación y variables exógenas.
	Relación y variables del sistema operativo		

	Ciclo de balance relacionado a la tecnificación en la producción de leche, los costos asociados y los ingresos finales
	Ciclo de refuerzo relacionado a la tecnificación en la producción de leche, la productividad y los ingresos finales
	Ciclo de refuerzo relacionado a la tecnificación en la producción de leche, calidad de la leche e ingresos finales
	Ciclo de balance relacionado a la tecnificación en la producción de leche, la productividad, los ingresos y el endeudamiento relacionados a la producción.
	Ciclo de balance relacionado a la tecnificación en la producción de leche, la calidad de la leche, los ingresos y el endeudamiento relacionados a la producción.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 18** se observan algunas flechas de relaciones con otras variables de color rojo, magenta y morado que, aunque sean parte de la identificación de las relaciones causales de variables del sistema operativo, indican los ciclos de realimentación que se forman en el Diagrama Causal con el fin de facilitar al lector la identificación y dirección de los ciclos.

Figura 18. Diagrama Causal del Sistema Operativo



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la **Figura 18** las variables eficiencia del sistema de riego, alquiler de la tierra, costos de fertilización, efectividad de plagas y enfermedades y mano de obra tienen relación con los costos de producción de los diferentes sistemas de producción. La eficiencia de riego es un mecanismo para ahorrar cantidad y costos asociados con el agua al mejorar el uso beneficioso de los recursos hídricos necesarios para mejorar la producción de cultivos y alimentos de las tierras (Scanlon et al., 2010); en cuanto a la tenencia de la tierra según Machado Vargas et al. (2015), es una garantía de estabilidad, reduce los costos de producción y constituye un elemento esencial en la reproducción social de la familia campesina, es uno de los elementos básicos de la estructura agraria y es esencial para la supervivencia del campesinado, por lo tanto, el alquiler de la tierra o área para establecer los sistemas de producción significa para el productor costos adicionales.

Con respecto a la relación de los costos de fertilización con los costos en los diferentes sistemas de producción, se debe a que la calidad del suelo no está en las condiciones óptimas ya sea históricamente por las actividades de explotación de minería de oro que se realizaba en gran proporción en la cuenca y/o por la industrialización de la producción mediante el uso de grandes cantidades de fertilizantes para aumentar el forraje o los frutos en el menor tiempo posible, a su vez es una variable importante que afecta los beneficios económicos de los productores y orienta las decisiones productivas, ya que deben por precios de mercado acceder a tierras con menor calidad y mayores pendientes. Por otro lado, los cultivos y animales están expuestos a enfermedades y como se evidenció en el cronograma de producción de tomate de árbol que debido a un virus se presentaron pérdidas totales en la cosecha, asimismo, durante el desarrollo del cultivo de la papa es propenso a ser afectado por gran variedad de plagas desde gusanos a larvas como enfermedades que afectan las condiciones de la papa para su consumo (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015a); esto implica para el productor establecer un mecanismo de manejo de plagas y enfermedades mediante monitoreos, análisis y aplicación de más fungicidas, herbicidas y abonos químicos con el fin de mantener el rendimiento y que directamente aumentan los costos de producción (Universidad Nacional de Colombia, 2012).

Otra variable que afecta el costo de producción de todos los sistemas de producción es la mano de obra, la cual involucra los costos por actividades en el predio y su productividad se refiere al cociente promedio entre el número de operaciones agrícolas y la cantidad de mano de obra requerida para ese número de labores (Vélez & Gastó, 1999), el sistema de producción que requiere más mano con respecto a los otros sistemas es el cultivo de tomate de árbol, en donde la mano de obra utilizada por hectárea varía de acuerdo con la etapa del cultivo, para el establecimiento se emplean 146 jornales en 14 meses; para el sostenimiento, 240 jornales en 36 meses (CORANTIOQUIA, 2015b).

La variable tecnificación en la producción de leche se relaciona con los ciclos de refuerzo y balance que se presentan en el Diagrama Causal, en esta variable están implicados parámetros como el sistema de ordeño, lugar de ordeño, el almacenamiento de la leche, la reproducción del ganado y la dieta con el fin de mejorar la productividad, la calidad de la leche y los rendimientos de la producción. La tecnificación en la producción para cumplir con los estándares de calidad de leche se traduce en el aumento de los costos de producción, a su vez, las variables asociadas a los costos en la producción resultan un limitante para la obtención indefinida de ingresos en la producción de leche, ya que los

productores se encuentran expuestos a las fluctuaciones tanto de los precios como de las cantidades de insumos externos para el sostenimiento de la producción (B1).

El ciclo R1 define la relación de refuerzo entre la tecnificación, la productividad de la leche y los ingresos asociados, generalmente la producción de leche por vaca es de aproximadamente 17.5 L/día (Dávila Betancurth, 2016); sin embargo con los sistemas altamente tecnificados con uso de fertilizantes y de mucha suplementación alimenticia pueden alcanzar producciones promedio por vaca superiores a 27 L/d (Carulla Fornaguera & Ortega García, 2016); a su vez la práctica que más se difunde en la actualidad es la utilización de cruces con el fin de obtener mayores contenidos de grasa, proteína, lactosa y menor recuento de células somáticas (Dávila Betancurth, 2016), la estrategia genética es la más fácil de adelantar en la lechería especializada ya que aquí se tiene información sobre los toros y hay uso de inseminación artificial (Carulla Fornaguera & Ortega García, 2016). Sin embargo, en algunos casos los agricultores deben recurrir a préstamos que se traducen en deudas con el fin de tecnificar el sistema de producción para sostener o aumentar la productividad y asegurar la venta de su producto, esto es un limitante para la obtención de ingresos estables para los productores (B2).

En cuanto al ciclo R2 se refiere a la tecnificación en la producción con la calidad de la leche y los ingresos asociados; se define por calidad de la leche a las características nutricionales como el porcentaje de los diferentes constituyentes químicos como: proteínas, grasa, lactosa, minerales, vitaminas, sólidos no grasos y sólidos totales entre otros; y las características microbiológicas a la concentración de las bacterias de la leche, presencia de microorganismos patógenos, de residuos de antibióticos y medicamentos (inhibidores); que pueden afectar la salud humana y los procesos de transformación de la leche (Calderón et al., 2006), para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendi, importe o exporte en el país el Decreto 616 de 2006 establece los requerimientos sobre las características de los parámetros para la calidad de la leche que deben cumplir tanto los productores como los procesadores. De acuerdo con diferentes autores (Gaviria, 2007; Ruiz-Cortés et al., 2012) el sistema de ordeño mecánico, un adecuado enfriamiento y almacenamiento de la leche mantiene la estabilidad o mejora la calidad de la leche ya que se disminuye las fuentes de contaminación al momento de ordeño y las condiciones adecuadas de tiempo y temperatura del almacenamiento. Con respecto a la calidad de la leche en relación con los ingresos en la producción la variable bonificación juega un papel importante, la bonificación se encuentra establecida en la resolución 000017 de 2012 la cual reglamenta el pago de la calidad de la leche cruda al productor primario sobre la base de parámetros de calidad composicional, sanitaria e higiénica de la leche, y permite bonificación por la calidad de la leche realizada por la empresa acopiadora quienes la definen, el arreglo y tipo de bonificación es un acuerdo entre el comprador y productor. De acuerdo con el Manual para producir leche de calidad COLANTA (COLANTA, 2012), un adecuado enfriamiento y almacenamiento que asegura la estabilidad en la calidad de la leche y consecuentemente, precios de la leche más altos y estables, la calidad del producto (leche) en su origen es tenido en cuenta, por lo tanto, cuando la leche que procesa tiene un adecuado nivel higiénico sanitario desde el predio. Asimismo, bonifica al productor de acuerdo con la calidad de su producto. Para disfrutar de estas bonificaciones especiales por calidad higiénica y sanitaria, es indispensable contar con un tanque de enfriamiento en la finca y se recomienda la implementación de ordeños mecánicos que faciliten las labores y eliminen el contacto del producto con el medio

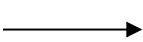
ambiente. Las tendencias a mejorar la composición de la leche sugieren que las políticas de pago por calidad son efectivas para estimular la mejora (Carulla Fornaguera & Ortega García, 2016), los productores se ven presionados a implementar y/o mejorar la tecnificación en sus sistemas de producción agropecuaria para mantener la calidad de leche o mejorarla con el fin de ser beneficiarios de dichas bonificaciones y aumentar la rentabilidad del producto. Sin embargo, en algunos casos los agricultores deben recurrir a préstamos que se traducen en deudas con el fin de tecnificar el sistema de producción para cumplir con los estándares de calidad y asegurar la venta de su producto, esto es un limitante para la obtención de ingresos estables para los productores (B3).

Las variables exógenas que se observan en la **Figura 18**, corresponden a la demanda y el precio de los productos que, aunque afectan los ingresos en la producción los agricultores no tienen control sobre estas variables por lo tanto están expuestos a sus fluctuaciones. A su vez, los fenómenos de migración es una variable exógena que afecta la mano de obra, donde la población rural opta por otro estilo de vida y migran hacia el área urbana del municipio o ciudades aledañas como Medellín.

3.2.3. Diagrama Causal Sistema de Decisión

En la **Tabla 11** se presenta la leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron a partir de la construcción y análisis del Diagrama Causal del Sistema de Decisión de un agroecosistema en la cuenca (ver **Figura 19**). Al ser un sistema dinámico en el que actúan y se integran otras variables de los otros sistemas que componen un agroecosistema, es posible que en el Diagrama Causal del Sistema de Decisión (variables y flechas de color naranja) también interactúen variables y relaciones del Sistema Biofísico (variables y flechas de color verde y azul), variables y relaciones del Sistema Operativo (variables y flechas de color negro) y variables exógenas antropogénicas que pueden modificar la dinámica del agroecosistema (variables y flechas azul claro).

Tabla 11. Leyenda del Diagrama Causal del Sistema de Decisión

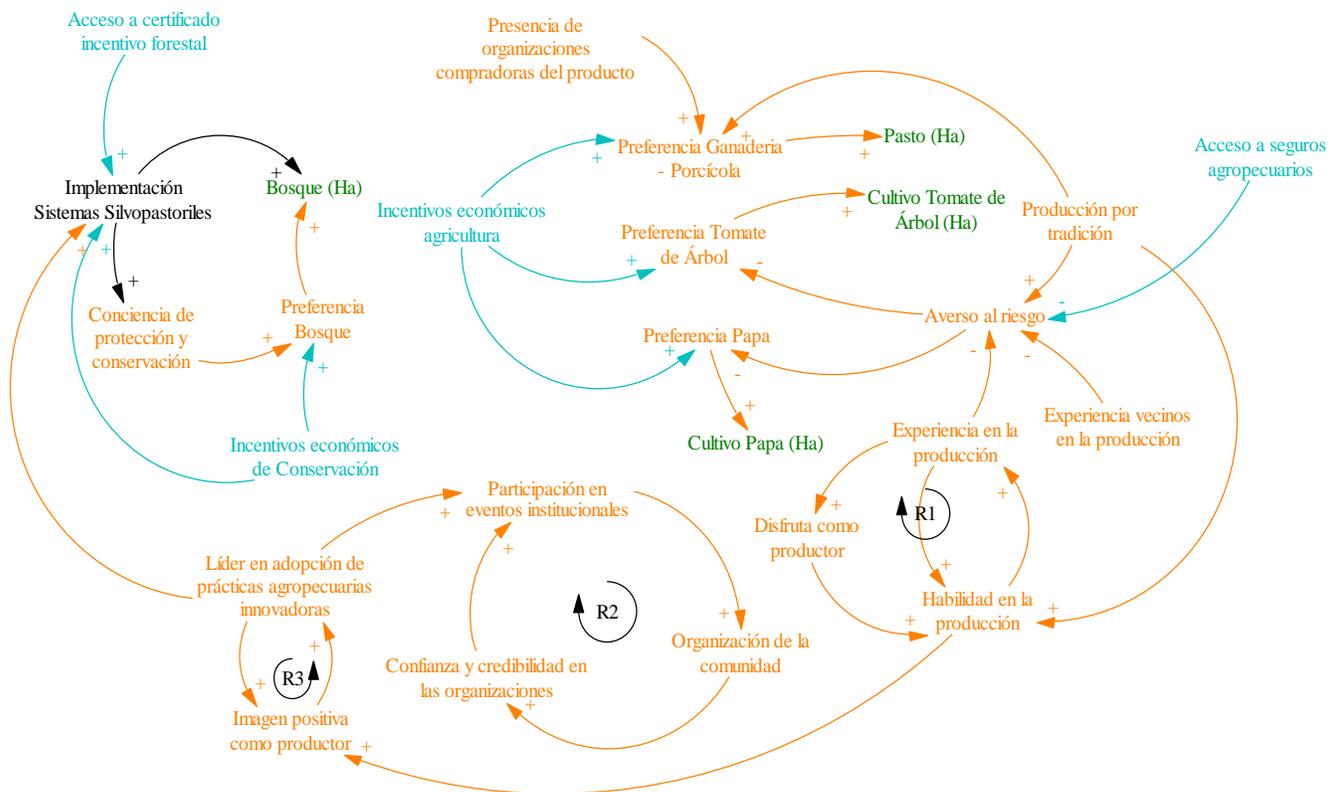
Leyenda			
	Relación y variables del sistema de decisión		Ciclo de refuerzo relacionado con la experiencia y la habilidad en la producción
	Relación y variables del sistema biofísico		Ciclo de refuerzo relacionado con participación en eventos que fomenta la confianza y credibilidad entre la comunidad
	Relación y variables del sistema operativo		Ciclo de refuerzo relacionado con el liderazgo en implementación de nuevas tecnologías y la imagen positiva como productor
	Relación y variables exógenas		

El sistema de decisión de un agroecosistema para esta investigación es inherente al individuo (agricultor) o conjunto de individuos que proporciona las instrucciones de la ejecución de las tareas y las observaciones para alcanzar el objetivo general del sistema de producción. Ya que el productor es el agente tomador de decisión, hace parte de una comunidad en la que cumple una función específica que contribuye al sostenimiento del sistema, y se encuentra expuesto a las expresiones de

una sociedad, tales como las tradiciones, las prácticas, las maneras de ser, las habilidades que posee cada persona, modos de vida, entre otros. Y en concordancia con el concepto según Altieri & Nicholls (2013, se debe tener en cuenta que el agroecosistema no existe en “...un vacío social, sino que más bien ha sido el producto de un proceso co-evolutivo entre grupos étnicos interactuando con la naturaleza...”, es por esto que se debe tener en cuenta las relaciones sociales entre los miembros de la comunidad.

Es por esto que debe considerarse que un agroecosistema se mantiene gracias a que existen condiciones ecológicas, climáticas y económicas aptas, también lo hace gracias a las relaciones de confianza, organización y liderazgo de las personas.

Figura 19. Diagrama Causal Sistema de Decisión



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis de los eventos e hitos importantes en la historia de la cuenca que determinaron las dinámicas relacionadas al uso del suelo, la creación de Cooperativa Lechera de Antioquia (COLANTA) en el año de 1964 (bajo la razón social de COOLECHERA) en el municipio de Donmatías, marcó un hito histórico en la consolidación de la ganadería de leche como la actividad predominante en la cuenca (CORANTIOQUIA, 2015b; Universidad Nacional de Colombia, 2012), es por esto que en la **Figura 19** se observa la variable presencia de organizaciones compradoras del producto y su relación con el sistema de producción de ganadería de leche, ya que no sólo se encuentra Colanta sino también otras organizaciones como ALPINA, Lácteos La Fontana Ltda, Lácteos Betánia S.A., La Procesadora de Leches Integrales S.A

(Prolinco), Lácteos El Galán S.A., entre otras (Cardona & Estefany, 2018). La demanda del producto por parte de la agroindustria fomentó la ampliación de la frontera agrícola desde la década de los 60's lo que explica la extensa superficie con pastos como cobertura vegetal dominante en la región (Dávila Betancurth, 2016). Las plantas de ALPINA y COLANTA, se configuran en la zona como las principales transformadoras de lácteos, y capturan un gran porcentaje de la producción, incidiendo de forma muy significativa no sólo en los valores de mercado del producto (para el productor), sino en las adopciones tecnológicas que realizan los propietarios para poder vender el producido a estas empresas (Universidad Nacional de Colombia, 2012).

Por otro lado, la cuenca tiene dinámicas muy marcadas debido a la tradición de la zona en los agroecosistemas, la variable producción por tradición involucra todos los factores culturales y/o valores intrínsecos que existen en torno a cada cobertura vegetal y que se transmiten de generación en generación dentro de una comunidad (Berrio Giraldo et al., 2019), en la cuenca de Río Grande, algunas investigaciones han encontrado que en algunos casos los pequeños productores se dedican a la actividad ganadera porque se identifican culturalmente con dicha actividad o porque sus ancestros se dedicaron a esta (Universidad Nacional de Colombia, 2012); en la investigación de Tran Thanh, 2018 en donde hace una recolección de información en campo para caracterizar los sistemas de producción de la cuenca y las dinámicas relacionadas, expone que algunos predios de la cuenca son muy antiguos, que han pertenecido a las familias de los propietarios durante décadas, por lo tanto, las familias han estado en la cuenca por varias generaciones y han transmitido sus conocimientos con respecto a las formas de producción de generación en generación.

El proceso de toma de decisiones de un agricultor sobre el uso de la tierra comúnmente la relacionan con motivaciones económicas principalmente por lo precios en los productos, los costos y las ganancias; seguido por características como la edad del productor, niveles de educación, tamaño del predio, instrumentos para el desarrollo del sistema de producción, las características de índole ambiental que sea óptimas para el establecimiento y desarrollo de las actividades (Hynes & Garvey, 2009; Lastra-Bravo et al., 2015; Murphy et al., 2014; Siebert et al., 2006; Uthes & Matzdorf, 2013); sin embargo, hay una creciente literatura (Barreiro-Hurlé et al., 2010; Burton & Wilson, 2006; Greiner, 2015; Sulemana & James, 2014) que reconoce la importancia de las influencias sociales y psicológicas en la toma de decisiones de los agricultores, referidas a motivaciones intrínsecas para la toma de decisiones (Ingram et al., 2013) en particular, su autodeterminación y actitudes hacia la agricultura, las capacidades personales, como el conocimiento, las habilidades, la imagen, entre otras. En concordancia con lo anterior, el Diagrama Causal del Sistema de Decisión muestra la presencia y relación de variables de actitudes y psicológicas que se encuentran en el proceso de decisión de los agricultores en la cuenca frente a qué producir y cómo producir, como son la aversión al riesgo, experiencias tanto propias como de vecinos en la producción, goce y habilidad en la producción.

La aversión al riesgo en esta investigación se refiere a la incertidumbre del productor frente a algunas características de sistemas de producción de agroecosistemas, debido al desconocimiento en el manejo, inseguridad sobre los posibles resultados y daños que le pueda generar. Se encontró que esta variable influye cuando se consideran características de los sistemas de producción de los

agroecosistemas como los cultivos de tomate de árbol y de papa debido a que son sistemas propensos a plagas y enfermedades, en donde requiere planificación, conocimiento en su manejo, asistencia técnica, y un productor que no tiene mucha experiencia en estos sistemas genera incertidumbres frente a sus resultados. Así mismo, se relaciona con las experiencias de vecinos y/o amigos, siendo esta una variable que se ha observado en la recolección de información en campo que tiene peso en la toma de decisión de qué y cómo producir, debido a que se basa en la observación y comentarios de quienes han diversificado o implementado diferentes sistemas de producción y comentan los altos costos del establecimiento y mantenimientos, así como de las pérdidas parciales o totales que son difíciles de recuperarse. Adicionalmente, la implementación de otros sistemas de producción genera temor e incertidumbre debido al poco o nulo conocimiento frente a otros sistemas de producción desde su planificación hasta su comercialización, las posibles pérdidas por la fluctuación de los precios en el mercado, entre otras; esto genera que los agricultores tengan actitudes de rechazo o aversos frente a estos riesgos. La sola maximización de las utilidades como marco conceptual para explicar la conducta del agricultor no es un criterio adecuado para predecir la toma de decisiones en los sistemas de producción y cambios de cobertura (Allub, 2001), una fuerza muy importante que orienta el proceso de toma de decisiones es, entonces, la aversión al riesgo o incertidumbre y no el principio de la maximización de las utilidades (Lipton, 1968). Es por eso que el apego a las “técnicas tradicionales” no son actitudes irracionales sino formas probadas de minimizar la incertidumbre para evitar la pérdida total y, en consecuencia, su desintegración como unidades productivas (Cáceres, 1994:2-3)

Teniendo en cuenta el DC, el ciclo de refuerzo R1 se refiere a la experiencia de los agricultores que se han dedicado a un mismo sistema de producción a lo largo de su vida y han adquirido el conocimiento debido a su manejo, sumado al traspaso de conocimiento de generaciones anteriores, así como también de la vereda y/o zona a la que hace parte y se caracteriza por los mismos sistemas de producción; esta experiencia el gozo que le genera el estilo de vida como productor fomenta la capacidad del manejo y conocimiento traducidos en la habilidad en la producción.

El ciclo de refuerzo R2 se refiere a la participación de eventos que favorece la confianza y credibilidad de la comunidad, es decir, asistir activamente a reuniones o eventos permite contar con nuevos conocimientos claros y efectivos al discutir problemáticas o temas relacionados con su sistema de producción, proporciona capacidad de toma de decisiones en las actividades productivas y facilita la acción colectiva necesaria para responder a las posibles perturbaciones y cambios que se puedan presentar, las capacitaciones brindadas acerca del ecosistema y las actividades productivas fomentan el aprendizaje continuo (Biggs et al., 2012; Cabel & Oelofse, 2012; Gunderson & Holling, 2002; Walters & Holling, 1990). La distribución de la información facilita la toma de decisiones por parte de los agricultores, en donde es posible aprender de las implicaciones de sus decisiones y de los de su comunidad, y compartir ese conocimiento, con el fin de resistir cambios o fomentar la confianza entre ellos, esto generan lazos que facilitan la cooperación y el acceso a oportunidades y recursos entre la comunidad (Cabel & Oelofse, 2012; Cleves, 2018; Marsiglia Rivera, 2017; Panpakdee & Limnirankul, 2017).

Otra variable dentro del DC es la habilidad en la producción esta se relaciona con la imagen positiva como productor, esto debe a que la capacidad que ha adquirido en los sistemas de producción se ven reflejado en los resultados como en mantener su productividad, realizar prácticas innovadoras en la

producción, pasar y distribuir su conocimiento frente a esas prácticas y frente a sus experiencias en la producción que puedan ayudar a los demás productores en la toma de decisión para el mejoramiento de sus sistemas de producción, generan una percepción de aceptación y respeto por parte de la comunidad de agricultores (ciclo de refuerzo R3).

Por otro lado, en el periodo de 1986 a 2012 los bosques se perdieron principalmente por la transición a coberturas de pasto, los remanentes de bosques se encuentran formando un paisaje muy fragmentado por la expansión de la frontera agrícola y pecuaria, la construcción de vías, la extracción comercial de madera, la demanda de maderas como recurso energético y factores regionales como minería, ataque de plagas y enfermedades, entre otros (Ram & Orrego, 2015). La situación general en la cuenca, el bosque que aún se conserva no es talado debido, principalmente, a su relación con el agua, considerada por la población local reducida, no solo por la cantidad sino por la calidad. No se extrae madera de modo considerable pues hay una percepción de la presencia de la autoridad ambiental para regular y vigilar esta actividad; la madera que se extrae proviene principalmente de especies plantadas como eucalipto, que se usa para hacer cercas en los predios, cocinar y otras necesidades de cada familia. En paralelo a la reducción del bosque se hace evidente la disminución de la conectividad ecológica por la fragmentación del ecosistema, aumento en la probabilidad de la erosión hídrica la reducción de la fauna silvestre. En general las personas afirman que “los bosques en su mayoría fueron reemplazados por potreros y la fauna silvestre por ganado y cerdos” (Universidad Nacional de Colombia, 2012); López-Gómez, 2012).

Es por esto por lo que se debe entender que en los agroecosistemas es necesario el flujo de recursos sociales, económicos, culturales y ambientales que a su vez la producción genera impacto en éstos. Por lo tanto, es necesario reconocer la importancia de proteger y conservar los ecosistemas para su sostenimiento y provisión de servicios ecosistémicos. En la actualidad, la percepción ambiental se enfoca en la toma de conciencia y comprensión del medio por parte del individuo, buscando conocer la forma en que las personas construyen su entorno desde su propia práctica productiva, reconociendo los elementos culturales, ambientales y su transformación; que a su vez comprende las posibilidades para mitigar las transformaciones (Lazos y Paré, 2006). Los sistemas silvopastoriles son un mecanismo para restaurar la fertilidad y biodiversidad del suelo, aumentar el forraje, diversificar los ingresos, fomentar la conectividad ecológica y la conservación de los ecosistemas; regulación hidrológica, captura de dióxido de carbono, entre otras; mediante el establecimiento y manejo de árboles y arbustos en conjunto (Mauricio et al., 2018; Murgueitio et al., 2014).

Las variables relacionadas con incentivos económicos de la agricultura se refieren al fortalecimiento de la producción por parte del ministerio de agricultura que ofrece apoyos directos de instrumentos de financiamiento a los agricultores como ayudas que se da a las producciones agrícolas de forma directa (por kg, superficie, cabezas de ganado) o por ayudas indirectas (rebaja de impuestos sobre productos o gastos necesarios para la actividad). Estos incentivos económicos para la producción aumentan la seguridad de los agricultores, la percepción que tienen los propietarios de la tierra acerca de la seguridad de la actividad económica asociada a cada cobertura.

Las variables relacionadas con incentivos económicos de Conservación están relacionadas con estrategias para la protección del recurso hídrico. Consiste a un mecanismo que gira en torno a un

típico mercado (oferta vs. demanda) en el cual los propietarios y poseedores regulares de predios, donde se encuentran ubicados los ecosistemas naturales que suministran servicios ecosistémicos, reciben voluntariamente y en forma periódica un reconocimiento (dinero, especie, mixto) por parte de algunos usuarios finales en razón al beneficio individual o colectivo que les causa contar con su permanente provisión en pro de la conservación y/o recuperación de los ecosistemas naturales (Departamento Nacional de Planeación, 2017). Estos incentivos ayudan a aumentar o mantener áreas de protección, las cuales se articulan con las áreas de conservación, protección o restauración expedidas por la zonificación ambiental de la cuenca del Río Grande.

3.3. Recolección de información en campo

Con la construcción inicial de los Diagramas Causales de los sistemas biofísico, operativo y de decisión que integran un agroecosistema, es posible realizar la recolección de información en campo a un grupo focal de productores en los agroecosistemas característicos de la cuenca y un agroecosistema contraste con dinámicas más sostenibles con el fin de aclarar y validar las variables identificadas de acuerdo con información secundaria y revisión bibliográfica y/o identificar nuevas variables características de cada uno de los sistemas; como también analizar sus respectivas interacciones y realizar la construcción y corrección de los diagramas causales de cada uno de los sistemas.

A continuación, se presenta la relatoría de los resultados de la recolección de la información en campo, en donde fue posible validar las variables identificadas para cada uno de los sistemas que integran un agroecosistema, asimismo, se logró identificar las variables que tienen mayor importancia en el proceso de toma de decisión de los agricultores en la Cuenca frente a qué y cómo producir, tales como la producción por tradición, la experiencia en la producción de los agricultores vecinos y la experiencia en la producción propia del productor, la aversión al riesgo frente al temor e incertidumbre frente a sistemas de producción de los cuales no tienen conocimientos suficientes para su establecimiento, los costos de producción, la ganancias relacionadas al sistema de producción y la presencia de organizaciones compradoras del producto. Inicialmente se presenta la entrevista realizada a un funcionario del departamento de agricultura de la Alcaldía de Santa Rosa de Osos, en donde expone una introducción de las características de producción de la zona; luego se presenta la relatoría de las entrevistas a los agricultores que se realizaron en sus respectivos predios en la zona de estudio, en donde se pueden observar las variables que intervienen en el proceso de decisión frente a qué y cómo producir.

La salida de campo se inició con una entrevista en las instalaciones de la Alcaldía de Santa Rosa de Osos con el señor Jhonny Sánchez profesional que hace parte de la Secretaría de Agricultura del municipio. Con el fin de contribuir en la proporción de la información adecuada del motivo de la visita, realizó una contextualización de las características del municipio y las dinámicas de los sistemas de producción.

De acuerdo con el señor Jhonny Sánchez, en el corregimiento de Aragón se origina la producción de leche de la zona y que se fue adaptando en casi la totalidad del municipio, gracias al establecimiento y presencia de empresas que compran la leche, los ganaderos aumentaron las áreas para cobertura

de pasto y cantidad de vacas teniendo la seguridad de que dichas empresas les compraban la leche. De igual manera, los requerimientos establecidos en el Decreto 616 de 2006 sobre las características de los parámetros de la leche para consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendi, importe o exporte en el país; obliga a los productores y procesadores de la leche cumplir con los parámetros para la calidad de la leche. La cooperativa COLANTA recomendaba (exigía) a los productores mejorar y tecnificar el sistema de producción de la leche para darle cumplimiento a la ley y facilitar la producción y recolección de la leche, los productores socios de la cooperativa obtenían beneficios en cuanto a la facilidad de obtención de préstamos y formas de pago y de esta forma compraban mejores insumos, mejoraban los sistemas de ordeño a mecánicos, salas de ordeño y tanques de enfriamiento que garantizaban la calidad de la leche, otro incentivo era la bonificación a los productores entre sea mejor la calidad de la leche.

También se presenta e incentiva a tanques de enfriamiento comunitarios a productores que no tengan la capacidad económica para instalar uno propio, sin embargo, existe un riesgo alto para cumplir con las condiciones de la calidad de la leche, debido a las diferentes prácticas de cada uno de los sistemas de producción de los predios.

En la zona existen dos tipos de compradores de leche, una es la Cooperativa COLANTA en donde los productores pueden ser socios recibiendo ciertos beneficios o ganaderos que sólo le vendan la leche cumplimiento con las características de la leche negociadas con la cooperativa; y dos son los Acopiadores que son empresas particulares quienes compran la leche para su procesamiento y productos derivados de la leche, entre ellos están Lácteos Betania con mayor presencia en la zona norte del municipio, Proleche, entre otros.

Asimismo, la zona se caracteriza por hacer uso de un sistema de Porcinaza-Pasto-Leche el cual consiste en el uso de los residuos de los cerdos o porcícolas como fertilizante orgánico para el pasto. No se realizan estudios de suelo con cierta periodicidad para determinar el estado de las características del suelo y de esta forma planear debidamente las concentraciones necesarias de fertilizantes para su mejoramiento para el sistema de producción.

Hace aproximadamente 30 años se empezaron a establecer los cultivos de tomate de árbol, ya que la zona cumple con las condiciones climáticas para su cosecha. De acuerdo con el señor Jhonny Sánchez, este cultivo se encuentra monopolizado por productores con grandes áreas para su producción y realizan a su vez la comercialización, se observa que compran las áreas que tienen cobertura de rastrojo o bosque ya que presenta mejor calidad de suelo, adecuan el terreno para la producción de tomate de árbol haciendo uso precisamente de la madera para tutorar el cultivo. Este tipo de cultivo utiliza grandes cantidades de fertilizantes químicos y pesticidas para el control de insectos y plagas que con el paso del tiempo han contaminado de manera significativa las fuentes hídricas y el suelo debido principalmente a su intensificación y el poco control por parte de la autoridad ambiental.

Los cultivos de tomate de árbol generalmente requieren poca mano de obra dependiendo de la tecnificación del sistema y contratan a los trabajadores por horas. Los productores con grandes áreas de producción y su debida comercialización cuentan con la capacidad técnica y económica para

afrontar riesgos frente a enfermedad, pérdidas parciales o totales. En ocasiones, los ganaderos siembran tomate de árbol en algunas hectáreas de sus predios con el fin de adecuar y mejorar el terreno para pasto y continuar con el sistema de producción de leche al cabo de 2 cosechas.

Otra alternativa para adecuar el suelo para pasto ha sido el establecimiento de cultivos de papa, que ha ido creciendo significativamente en la zona como actividad económica, en donde el ganadero presta las áreas que requiere adecuar para pasto a productores tercerizados de papa que cuentan con experiencia para su producción. En la actualidad, la producción en su mayoría es realizada por productores provenientes del oriente antioqueño y se caracteriza, en términos generales, por un uso intensivo de fertilizantes, plaguicidas, maquinaria y de los factores productivos, en general dirigido a asegurar altos rendimientos, sin considerar el uso racional de los recursos naturales y la sostenibilidad del medio ambiente. El sistema de siembra es el de monocultivo intensivo con prácticas de manejo que dejan el suelo desprovisto de cobertura vegetal incidiendo en el deterioro del potencial productivo del suelo en el mediano plazo. En otros casos, el cultivo de la papa se utiliza como cultivo precursor para el establecimiento posterior de pastos. Este modelo productivo de monocultivo de papa asociado a pastos y renovación de potreros después de 2 o 3 cosechas aproximadamente un año y medio de duración (CORANTIOQUIA, 2016).

Para controlar los impactos asociados a la producción de tomate de árbol y papa, el municipio a través de las UMATAS realiza un acompañamiento y seguimiento a los productores para la implementación de buenas prácticas de manejo, la tecnificación del sistema como establecer tutores de plástico en vez de madera y disminuir las áreas de deforestación, asimismo, reportan ante la autoridad ambiental las actividades encontradas que impactan al ecosistema.

La Secretaría de Agricultura a través de la UMATA, ejecuta los programas y actividades de acuerdo con las líneas estratégicas establecidas en el Plan Ambiental Municipal (PAM) y el Plan de Desarrollo que, de acuerdo con una de las necesidades del territorio de diversificar los sistemas de producción en el área rural, realizan acompañamiento técnico a los productores para la implementación de cultivos de Hortalizas y la siembra de frutales como la mora, gulupa, entre otras. Sin embargo, la respuesta no ha sido significativa debido al peso de la tradición de producción de leche en los productores; el miedo a la pérdida de los cultivos por falta de conocimiento, los costos de producción por no realizar los estudios de mercado necesarios, la fluctuación de los precios, la demanda y la experiencia de otros productores que han resultado negativas.

Otra dinámica que se ha ido presentado en la zona, es el envejecimiento de la población rural donde sus posteriores generaciones optan por otro estilo de vida y migran hacia el área urbana del municipio o ciudades aledañas como Medellín, como consecuencia es arrendar las tierras y su infraestructura aumentando los costos de producción de leche de los productores ya que de acuerdo a la zona y el estado de las vías de acceso los precios de la tierra aumentan, u optan por vender los predios que generalmente son comprados por los grandes productores de leche o tomate de árbol.

Por otro lado, las estrategias encaminadas a la protección y conservación de los ecosistemas del municipio acogen el POMCA de la Cuenca del Río Grande ya que es un instrumento de planificación determinante a los municipios. Entre la ejecución de programas y proyectos establecidos en la formulación esta la implementación de pozos sépticos, estufas y actividades de reforestación. En

articulación con el SILAP se priorizan las áreas para el fortalecimiento de corredores de conectividad, reservas de manejo de uso sostenible en donde se implementa sistemas agrosilvopastoriles y demás estrategias que se deben ejecutar de acuerdo con las categorías del SILAP. Sin embargo, un limitante importante es la financiación de acuerdo con la formulación de los programas y proyectos del POMCA, en donde el municipio no cuenta con los recursos y la autoridad ambiental tampoco da claridad sobre eso.

- **Predio El Líbano**

El Líbano se encuentra ubicado en la vereda La Ruíz en el municipio de Santa Rosa de Osos, cuenta con 7 ha aproximadamente. Se encuentra arrendado a la Fundación Grupo HTM la cual es una organización sin ánimo de lucro, conformada por un equipo interdisciplinario que busca contribuir al desarrollo territorial sostenible mediante el estudio, planificación y gestión de las dinámicas naturales y sociales en los sistemas ambientales locales y regionales; su objetivo en el predio es implementar estrategias de gestión de sistemas naturales, como la reforestación en los alrededores y áreas de importancia tales como nacimientos y fuentes de agua; continuar con el sistema de producción de leche para la elaboración de queso artesanal mediante actividades de producción sostenible.

Asimismo, el predio es un centro de investigación en cooperación con otras entidades para el establecimiento e implementación de invernadero de semillas y árboles nativos de la región; en donde se pretende prestar servicios no sólo de la venta de los árboles sino también su adecuada siembra y sostenimiento para garantizar la eficiencia de la reforestación y/o implementación de sistemas silvopastoriles.

El predio se encuentra ubicado en el corredor Aragón - El Chaquiro - El Vergel que de acuerdo al documento "CONSOLIDACIÓN DE INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE OSOS - ANTIOQUIA", el cual fue identificado como nodos de importancia morfológica para la conectividad estructural del paisaje donde se debe hacer especial énfasis en el enriquecimiento y restauración de elementos y procurar la conectividad de los mismos aprovechando la red hídrica, vegetación riparia y la vegetación secundaria o en transición. Es por esto que la Fundación Grupo HTM arrendó el predio para implementar las estrategias establecidas en la zonificación (ver **Figura 8**) en las categorías de reserva municipal de uso sostenible y corredor de conectividad del SILAP, con el propósito de servir como escenario para la investigación de sistemas silvopastoriles y de planear y ejecutar programas y actividades de conservación y restauración de ecosistemas mediante prácticas de producción sostenible y conectividad ecológica.

En la **Foto 1** se observa el establecimiento de las áreas de reforestación en el predio El Líbano, por parte de la Fundación HTM en cumplimiento de las estrategias para sistemas agrosilvopastoriles en la vereda la Ruíz.

Foto 1. Reforestación en los linderos del predio El Líbano



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al funcionamiento del predio como productor de leche, le dieron continuidad para la producción de queso artesanal el cual se distribuye al Estadero El Rocío, realizan la fertilización química respetando las distancias mínimas permisibles a las fuentes (30 metros) y nacimientos de agua (100 metros), realizan la rotación a los 25 a 30 días dependiendo del crecimiento del pasto, ordeño manual en potrero y no realizan actividades de manejo y control de plagas ya que es un factor que pesa de forma significativa en los impactos sobre el ambiente, como en la calidad del suelo y agua.

El señor Otoniel Medina Ruíz es el único trabajador para realizar las actividades de producción de leche y queso, toda la vida se ha dedicado a esta actividad económica y es de la zona, por lo tanto, reconoce que la zona se ha intensificado para la producción de leche ya que los vecinos y de más ganaderos no cuentan con el conocimiento y capacidad económica para experimentar con otros sistemas como los cultivos de papa y tomate de árbol.

Foto 2. Área de bosque y pasto en el predio El Líbano



Fuente: Elaboración propia.

- **Finca los Tres:**

El predio Finca los Tres es arrendada por el señor Libardo López, que en conjunto con otros dos predios que colindan suman un área de 40 ha aproximadamente, el predio se dedica a la producción de leche. El señor Libardo es de la zona, sin embargo, a lo largo de su vida se ha ido desplazando a varias zonas del país con el fin de diversificar sus entradas económicas. Hace muchos años, decidió establecer una tienda y un billar en el municipio de Yarumal, pero al cabo de un corto periodo no fue suficiente cubrir sus gastos y concluyó que el manejo de ese tipo de negocios es muy complicado, por lo tanto, los cerró y volvió al campo arrendando diferentes predios con sistemas de producción de leche o pasto establecidos debido a que conoce ese tipo de producción y ha trabajado en eso por muchos años.

Asimismo, hace aproximadamente 10 años el señor Libardo López era socio de la cooperativa COLANTA y notaba los beneficios de ello, como en la facilidad de obtener préstamos y en las formas de pago, el precio de la leche, los precios de los insumos, la asistencia técnica, entre otras. Sin embargo, se retiró como socio ya que se dirigió a otra zona del país.

Actualmente, tiene arrendada 3 predios colindantes en el municipio de Santa Rosa de Osos vereda Aragón, que suman un total de 40 ha. Dos predios los arrendó hace más de 7 años, en donde ya

estaba establecido el sistema de Pasto, comenzó con ordeño manual y posteriormente ordeño mecánico en potrero, y alrededor de 6 meses arrendó el tercer predio el cual cuenta con tanque de enfriamiento. La mano de obra es familiar, quienes se distribuyen las actividades entre los dos hijos y el señor Libardo (el tercer hijo trabaja actualmente en Medellín). Distribuye la leche a Lácteos Betania desde hace 7 años, desde que se encuentra en la zona, también realiza la compra de algunos insumos para su sistema de producción en Lácteos Betania quien afirma que de esta forma asegura la continuidad con dicha procesadora de alimentos y asegura la compra de su leche.

El señor Libardo no ha intentado implementar otros sistemas de producción característicos en la zona como los cultivos de tomate de árbol y papa, debido a las experiencias de vecinos y/o amigos quienes le han comentado que tiene muchos gastos para su establecimiento y mantenimientos y asimismo han tenido pérdidas parciales o totales en los cultivos de lo cual ha sido difícil recuperarse. También le ha generado temor debido a las posibles pérdidas por la fluctuación de los precios en el mercado, en donde un día el valor es mayor y al día siguiente baja drásticamente.

Otra razón que tiene gran peso para no implementar este tipo de cultivos es el poco conocimiento que tiene sobre ellos, desde la planeación hasta la comercialización del producto, debido a que toda su vida se ha dedicado al sistema de producción de leche, en lo que le han enseñado tanto su familia como la misma zona que se ha especializado en la producción de leche.

El señor Libardo López cuenta con un crédito para la compra de un predio en el municipio de Entrerriós, la cual ya tiene establecido el sistema de Pasto para la producción de leche y tiene planeado continuar con el sistema ya que tiene bastante experiencia en el campo. Por el momento considera prestar algunas áreas del predio a un tercero para el cultivo de papa y al cabo de 2 cosechas se lo entregan en las condiciones apropiadas para pasto.

En cuanto a áreas con cobertura de bosque, el señor Libardo las conserva principalmente por consciencia de que son áreas de importancia para la preservación y protección del agua que es necesario y vital para su sistema de producción, sin embargo, no ha considerado extender o proteger por cuenta propia las áreas de bosque ya que significaría disminuir las áreas que están destinadas a cobertura de Pasto. No ha recibido propuestas para la conservación de los bosques ni subsidios relacionados.

Foto 3. Establecimiento donde se encuentra el tanque de enfriamiento del predio Finca los Tres



Fuente: Elaboración propia.

- **Predio La Floresta:**

El predio La Floresta se encuentra ubicada en la vereda la Ruíz y tiene aproximadamente 20,8 ha. El señor Leonardo lleva aproximadamente 37 años en la zona, cuenta que anteriormente se producía leche de forma no tecnificada e intensiva, por lo tanto, se realizaba la rotación en periodos muy largos ya que no se realizaba fertilización y esperaban que el pasto creciera y estuviera en las condiciones adecuadas, asimismo, no se contaba con sistemas de ordeño mecánicos lo que requería mayor mano de obra para el ordeño manual e implicaba mayor tiempo para estas actividades. Tampoco contaban con tanques de enfriamiento para garantizar la calidad de la leche y aumentar la producción. Sin embargo, la presencia de empresas procesadoras de leche incentivaba (exigen) a la producción intensiva y tecnificación de la actividad económica para mejorar la calidad de la leche y facilitar el manejo de esta. De esta forma, el señor Leonardo tomó las medidas necesarias para intensificar su producción de leche y asegurar la compra de esta.

Anteriormente, el señor Leonardo era socio de Colanta, sin embargo, dejó de ser productor por lo tanto no era rentable continuar como socio. Hace 4 años tiene arrendado el predio para la producción de leche, ya que contaba con los pastos montados, el sistema de ordeño y el tanque de enfriamiento, lo que facilita el alquiler del predio ya que cuenta con los sistemas para garantizar y mejorar la calidad de la leche. Actualmente usan fertilización química ya que es de menor costo y de mayor facilidad de aplicación.

El señor Leonardo, comenta que ha implementado otros sistemas de producción, como cultivos de tomate de árbol y papa con el fin de diversificar sus actividades económicas en el predio La Floresta, sin embargo, no ha obtenido resultados positivos debido a la fluctuación de los precios en el mercado

y los costos de producción son muy altos, por lo tanto, lo que se suele hacer en la zona es realizar la siembra de cultivos de tomate de árbol y papa en coberturas de suelo como rastrojo o vírgenes con el fin de que estos cultivos que requieren adecuar el terreno y mejorar las condiciones del suelo para la producción mediante actividades de labranza y altos contenidos de fertilizantes tanto orgánicos (que le aportan materia orgánica al suelo) como químicos, al cabo de 2 cosechas el suelo está en las condiciones necesarias para Pasto e intensificar el sistema de producción de leche.

Con respecto a la fertilización orgánica, el señor Leonardo expresa que una alternativa son las porcícolas que son alquiladas por empresas productoras de carne de cerdo de gran volumen, sin embargo, los dueños de los predios deben realizar la construcción y contar con todos los permisos necesarios para su adecuación y ejecución, lo que requiere de un gran capital y sólo tendrían como retribución la porcínaza que aunque aporta grandes concentraciones de material orgánico y aporta en el crecimiento del pasto no es viable para su implementación.

Un determinante para tomar la decisión de tecnificar el sistema de producción son la adecuación de las vías de acceso, ya que garantiza que los tanques recolectores de leche no tengan problemas en su trayecto y disminuya el tiempo de transporte entre la recolección y la empresa de procesamiento de la leche.

El predio se encuentra ubicado en el corredor Aragón - El Chaquiro - El Vergel que de acuerdo con el documento "CONSOLIDACIÓN DE INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE OSOS - ANTIOQUIA", el cual fue identificado como nodos de importancia morfológica para la conectividad estructural del paisaje donde se debe hacer especial énfasis en el enriquecimiento y restauración de elementos y procurar la conectividad de estos aprovechando la red hídrica, vegetación riparia y la vegetación secundaria o en transición. Es por esto por lo que el predio La Floresta es beneficiario de los proyectos de la Corporación Cuencaverde, la cual ejecuta las estrategias para la conservación y restauración de ecosistemas mediante prácticas de producción sostenible y conectividad ecológica, de esta forma reforestaron y mejoraron las áreas de bosque que preservan el agua que abastecen a fuentes hídricas de importancia, mediante la siembra de árboles nativos y su adecuado seguimiento y mantenimiento. De esta forma, Sebastián el hijo del señor Leonardo, quien es agrónomo, identificó una oportunidad de negocio debido a que observaba que estas organizaciones compraban los árboles a invernaderos que no tenían las condiciones climáticas características de la zona lo que afectaba a las actividades de reforestación porque muchos de los árboles se morían y asimismo no aseguraban la eficiencia desde la siembra hasta el crecimiento sano del árbol, por lo tanto, estableció un invernadero de árboles nativos en las condiciones climáticas de la zona en el predio El Líbano para venderlos a la Corporación Cuenca verde, vecinos y otras instituciones interesadas y prestaba servicios de siembra, seguimiento y mantenimiento de los árboles.

El señor Leonardo y Sebastián han intentado realizar toda la gestión necesaria para ser parte del programa Pagos por Servicios Ambientales (PSA), sin embargo, no ha sido posible ya que el municipio y la autoridad ambiental competente (Corantioquia) tienen priorizados a los acueductos veredales como beneficiarios.

Por último, el señor Leonardo expresa que la producción de leche es muy rentable en la zona de acuerdo con lo siguiente:

- ✓ para los productores que cuentan con más de 50 vacas ya que producen grandes cantidades de leche
- ✓ la tecnificación del sistema de producción con sistemas de ordeño mecánicos, salas de ordeño, tanques de enfriamiento, todo esto garantiza y mejora la calidad de la leche
- ✓ la presencia de cooperativas que compren la leche
- ✓ En la demanda del producto
- ✓ los costos de producción son menores a la rentabilidad bruta.

Una variable que se identifica es el Riesgo ante la pérdida y producción de cultivos, el conocimiento heredado por generaciones para la producción de leche, por lo tanto, la tradición tiene gran peso a la hora de tomar la decisión sobre qué y cómo producir, la experiencia de los vecinos (boca a boca) frente a las formas de producción en la ganadería de leche y las dificultades del establecimiento de cultivos de tomate de árbol y papa.

Foto 4. Áreas de bosque y pasto del predio La Floresta.



Fuente: Elaboración propia.

- **La Cascada**

El predio La Cascada la cual pertenece a una de las familias que tiene muchos años en la zona y poseen tierras en diferentes veredas del municipio de Santa Rosa de Osos, por lo tanto, es un predio propio con aproximadamente 70 ha, las cuales con el tiempo han sido adaptadas mediante las actividades de labranza para remover las capas del suelo, oxigenarlo y obtener material orgánico, la

fertilización orgánica intensiva a ciertas áreas con el fin de aportar bastante material orgánico a la superficie del suelo. Con respecto a las áreas de bosque con el tiempo ha disminuido por aumentar la franja agropecuaria, sin embargo, en la actualidad protegen estas áreas ya que conservan el agua que es usada para sus actividades agropecuarias.

El propietario le vende la leche y es socio de la cooperativa COLANTA desde hace muchos años, por lo tanto, ha transformado su sistema de producción de acuerdo con los requerimientos para la calidad de la leche, de esta forma inició con tecnificar su sistema de ordeño a forma mecánica, luego a instalar salas de ordeño de gran capacidad y un tanque de enfriamiento que garantiza y mejora la calidad de la leche. COLANTA le proporciona bonificaciones de acuerdo con la calidad y entre mejor sea la calidad de la leche que les vende mejor es la bonificación que gana, asimismo, la cooperativa COLANTA en sus muestreos advierte al productor si encuentra resultados de los parámetros de calidad de la leche que ha disminuido, de esta forma el productor tiene la oportunidad de identificar, analizar y realizar su adecuado control de las variables que afectan la calidad de la leche. Entre estas variables, son la alimentación, las condiciones del pasto no estaban óptimas para su pastoreo, entre otras.

Foto 5. Movilización del ganado de los potreros a la sala de ordeño en el predio La Cascada



Fuente: Elaboración propia.

Foto 6. Concentración del ganado antes de pasar a la sala de ordeño en el predio La Cascada



Foto 7. Sala de ordeño en el predio La Cascada



En la **Foto 8** se observa el tanque de enfriamiento con su respectivo control de comando, en donde se controla el paso de la leche desde la sala de ordeño al tanque de enfriamiento por tuberías garantizando la temperatura inicial de la leche y posteriormente se disminuye la temperatura del tanque con el fin de mantener la calidad de la leche, después de su recolección por parte de la cooperativa, el administrador realiza el lavado del tanque al proporcionar las concentraciones adecuadas de desinfectante y demás y luego el tanque realiza el lavado automático

Foto 8. Comando de control y tanque de enfriamiento en el predio La Cascada



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el propietario cuenta con un capital y estabilidad económica que le permitió construir y gestionar todos los permisos necesarios para establecer una porcícola de gran volumen, la cual es alquilada a una de las grandes empresas de producción de carne de cerdo, en donde se encargan de todo lo relacionado con su sistema de producción y proporcionan la mano de obra necesaria. A cambio, el propietario del predio La Cascada maneja los residuos orgánicos de la porcícola tales como la orina y la porcínaza, las cuales en un tanque de dilución las mezcla con agua y aplica en los potreros como fertilizante orgánico, aportando al suelo grandes concentraciones de material orgánica y nitratos, sin embargo, sin un adecuado control y malas prácticas de producción pueden llegar a contaminar fuentes de agua al no respetar las franjas de distancia y por escorrentía. el sistema pocinaza-pasto-leche, es una práctica común y característica en la zona, que aplican desmedidamente y sin control generan impactos al recurso hídrico de la zona y de la Cuenca del Río Grande, también se debe a que no existe una legislación específica para su adecuado manejo y prohibiciones por parte de la autoridad ambiental competente.

Foto 9. Porcícola en el predio La Cascada



Fuente: Elaboración propia.

Al contar con un tanque de dilución, tiene la capacidad de aplicar otros fertilizantes orgánicos como los biosólidos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando (PTAR San Fernando), que de acuerdo al Decreto 1287 de 2014 "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales" las concentraciones de los parámetros químico metales y microbiológicos cumplen con los valores máximos permisible para ser clasificado como Categoría B puede ser utilizado como abono en la agricultura siempre y cuando cumpla con las restricciones establecidas en el artículo 9 del decreto. De acuerdo con el administrador, este tipo de fertilizante sólo es aplicado en los potreros destinados al ganado de levante.

Por último, el administrador expresa que los rendimientos del predio son altos y por eventos que puedan disminuir su rentabilidad tiene la solvencia económica para afrontar dichos eventos, también está relacionado a la sistematización del predio, entre mejores sean los sistemas de ordeño, las salas de ordeño de acuerdo con su capacidad y un tanque de enfriamiento propio, garantiza la calidad de la leche y por ende su venta continua y las bonificaciones asociadas a esta.

El señor Jorge Barrientos, hace un tiempo decidió implementar un sistema de producción de leche debido a que conocía todo su funcionamiento y manejo y la presencia de cooperativas podía vender la leche, también de acuerdo con su experiencia sabía en que entre más tecnificada el sistema de producción es mejor la calidad de la leche y por ende la garantía de bonificaciones. Sin embargo, no le dio resultados ya que debió sacar un préstamo para el alquiler del predio, la compra de las vacas y el mantenimiento de la maquinaria e infraestructura no realizó un estudio previo con respecto a las

ventas y los rendimientos frente a los costos y pagos que debía realizar. Pero esta experiencia, le sirvió para tener en cuenta ciertas variables para la implementación de sistema de producción de leche y tiene planeado establecerlo en cuanto tenga un poco de capital.

A continuación, se presenta la síntesis de la información recolectada en campo de un grupo focal, compuesto por agroecosistemas característicos de la cuenca (ver Tabla 12) y un agroecosistema contraste con dinámicas más sostenibles (ver Tabla 13), en donde fue posible validar las variables identificadas para cada uno de los sistemas biofísico, operativo y de decisión que integran un agroecosistema

En la Tabla 12 se muestra la síntesis de la información recolectada en agroecosistemas característicos de la cuenca, tales como, agroecosistemas dedicados a la producción de leche, la tecnificación del sistema de producción para garantizar la calidad de la leche, la producción por tradición, la experiencia en la producción de los agricultores vecinos y la experiencia en la producción propia del productor, la aversión al riesgo debido al temor e incertidumbre frente a sistemas de producción de los cuales no tienen conocimientos suficientes para su establecimiento, los costos de producción, las ganancias relacionadas al sistema de producción, la presencia de organizaciones compradoras del producto, entre otras.

Tabla 12. Agroecosistemas característicos de la Cuenca

Finca Los Tres	La Floresta	La Cristalina
Arrendado	Propio	Propio
Dedicados a la producción de ganadería de leche		
Productores agropecuarios de la zona desde hace muchos años		
Importancia de la Tecnificación del sistema de producción		
Producción por tradición		
La importancia de vender el producto y la presencia de organizaciones en la zona lo garantiza		
Habilidad en la producción		
Temor e incertidumbre: por los costos, desconocimiento, enfermedades, experiencia de otros productores, precios del mercado		
Ganancias		
Establecimiento de cultivos de papa o tomate de árbol sólo para la adecuación del terreno para la ganadería de leche		
Extensión de la frontera agropecuaria, conservan fragmentos de bosque para la protección del agua para sus actividades		

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 13 se observa la síntesis de la información de un agroecosistema contraste en la Cuenca con características orientadas a la sostenibilidad, se logró complementar y validar variables enfocadas a protección y conservación de los recursos especialmente los bosques, mediante prácticas de producción como la implementación de sistemas silvopastoriles como mecanismos para restaurar

la fertilidad y biodiversidad del suelo y conservar la conectividad ecológica del área de estudio. Asimismo, es un agroecosistema dedicado a la producción de leche sin uso de pesticidas y/o fertilizantes con el fin de fomentar la consciencia e importancia de la protección del suelo y el recurso hídrico en la zona.

Tabla 13. Agroecosistema contraste con respectos a los característicos de la cuenca

El Líbano
Arrendado
Centro de investigación
Implementación de Sistemas Silvopastoriles, invernadero de semillas y árboles nativos de la región
Ganadería de leche
Prácticas de producción sostenible
Producción de quesos artesanales

Fuente: Elaboración propia.

De la salida de campo se puede concluir que el municipio tiene dinámicas muy marcadas debido a la tradición de la zona en los sistemas de producción; la presencia de cooperativas, el conocimiento sobre el sistema de producción, los costos asociados, el rendimiento, el miedo y/o riesgo frente a implementar otras actividades económicas basados en experiencias de otros productores; influyen en la toma de decisión en el qué y cómo producir.

3.4. Formulación del Diagrama Causal de la dinámica de los agroecosistemas

Con la construcción de los diagramas causales del sistema biofísico, operativo y de decisión que integran un agroecosistema, fue posible identificar y analizar ciclos de realimentación que se formaban al interior cada uno de ellos y ayudaba a entender comportamientos de forma más detallada en torno a la toma de decisiones de los agricultores, así como también las dinámicas relacionadas. Asu vez, fue posible identificar variables claves que se interrelacionaban entre los sistemas permitiendo la formulación del Diagrama Causal de las dinámicas de los agroecosistemas con dichas variables y sus relaciones causales.

La formulación del Diagrama Causal de la dinámica de los agroecosistemas (ver **Figura 20**) deja en evidencia las interrelaciones de estos sistemas puesto que sus componentes biofísicos, interactúan con componentes socioculturales como los objetivos de producción, los conocimientos y las expresiones de la cultura no sólo de los productores sino también de la región; dicho de otra forma, son el resultado de la coevolución entre los procesos sociales y naturales, de las interacciones entre los productores con sus conocimientos y su entorno biofísico y socio económico (Sarandón & Flores, 2014). Asimismo, refleja la importancia de entender la trayectoria en el que se encuentra inmerso un agroecosistema, permitiendo reconocer eventos importantes que marcan la dinámica de los usos del

suelo generando una expresión territorial y espacial única que determina la configuración del paisaje (Brenner, Jiménez, Sardá, & Garola, 2010), y las dinámicas entorno al proceso de toma de decisiones de los productores frente a sus sistemas de producción, que no sólo están influenciados por motivaciones económicas sino también por motivaciones intrínsecas como las actitudes, la experiencia y las maneras de ser.

En la **Tabla 14** se presenta la leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron a partir de la construcción y análisis del Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca Río Grande y Río Chico (ver **Figura 20**).

Tabla 14. Leyenda del Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca.

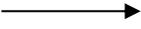
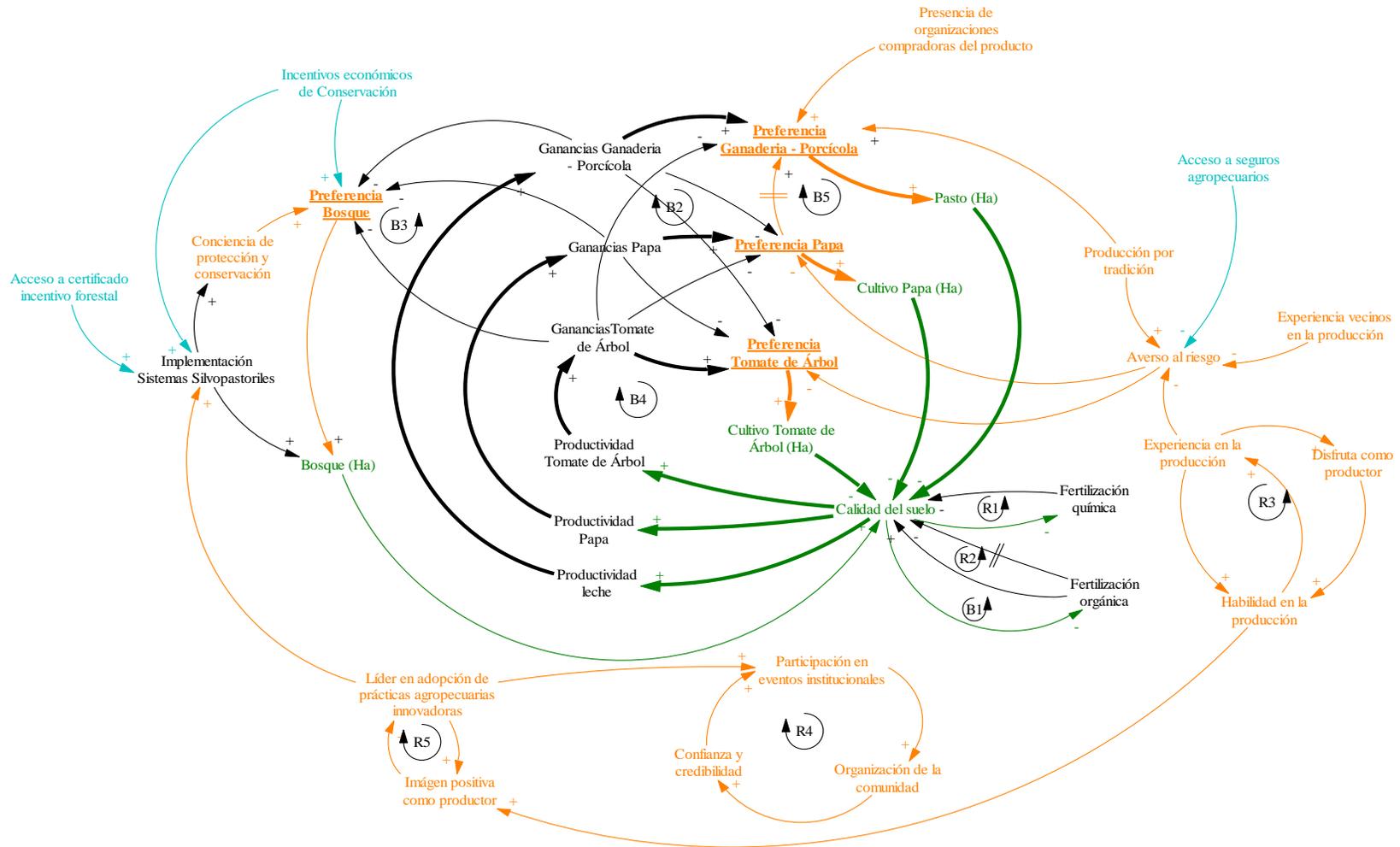
Leyenda			
	Relación y variables del sistema de decisión		Relación y variables del sistema operativo
	Relación y variables del sistema biofísico		Relación y variables exógenas
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización química		
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica		
	Ciclo de balance relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica con retraso		
	Ciclo de refuerzo relacionado con la experiencia y la habilidad en la producción		
	Ciclo de refuerzo relacionado con participación en eventos que fomenta la confianza y credibilidad entre la comunidad		
	Ciclo de refuerzo relacionado con el liderazgo en implementación de nuevas tecnologías y la imagen positiva como productor		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de cada sistema de producción que afectan la preferencia en los sistemas de producción alternos		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de los sistemas de producción que afectan la preferencia por establecer o mantener el bosque		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias, la preferencia de los sistemas de producción y la calidad del suelo		
	Ciclo de balance relacionado a la preferencia de papa, preferencia de ganadería de leche, calidad del suelo		

Figura 20. Diagrama Causal de las Dinámicas de los Agroecosistemas en la Cuenca Río Grande y Río Chico



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 20** se presenta el Diagrama Causal consolidado de un agroecosistema de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico, a su vez se observa los ciclos de realimentación que se presentaron en los diagramas causales del sistema biofísico y del sistema de decisión, en la sección 3.2.1 y sección 3.2.3.

En la formulación del Diagrama Causal consolidado (**Figura 20**) por medio de la relación de variables claves de los sistemas biofísico, operativo y de decisión que integran un agroecosistema, surge 4 nuevos ciclos de balance, el ciclo B4 se refiere al impacto de las ganancias en la producción, en donde al ser considerables genera una preferencia por dicha actividad económica, aumentando las hectáreas destinadas al sistema de producción lo que altera la calidad del suelo, siendo esta la variable biofísica la que limita la productividad de los sistemas de producción y que requiere insumos externos para sostener e intensificar la producción. Asimismo, la variable de ganancias también genera un ciclo de balance B2 en la disminución de la preferencia de los otros sistemas de producción. Cabe resaltar, que la variable ganancias está influenciada por las interrelaciones con otras variables, en la sección 3.2.2 se puede ver con mayor claridad ese tipo de relaciones que están presentes en la toma de decisión de los agricultores.

Por otro lado, el ciclo de balance B5 se refiere a la preferencia de cultivo de papa que se relaciona con un retardo con la preferencia de la ganadería de leche, aumentando las hectáreas destinadas a pasto y esta a su vez altera la calidad del suelo, siendo un limitante para la productividad y necesidad de insumos externos para el sostenimiento de la producción. Esto se debe a que en la cuenca se ha presentado una dinámica de sistema pasto-papa-pasto, la cual consiste en el establecimiento de cultivos de papa en algunas áreas o potreros de un predio dedicado a la ganadería de leche, el cual se usa como medio para “mejorar los terrenos” para ganadería, sin embargo, alteran las propiedades del suelo debido a que realizan actividades de remoción de las capas del suelo, uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas. Bajo este enfoque los propietarios (normalmente dedicados a la actividad lechera), alquilan porciones (en vegetación arbustiva u otro tipo de cobertura) de sus propiedades a los cultivadores de papa (dos o tres productores, procedentes generalmente de la Unión), para que establezcan el cultivo por uno o dos años. Las actividades de adecuación del terreno (moldeo, fertilización, arado, etc.) corren por cuenta del arrendatario, posteriormente el arrendador siembra los pastos que requiere para empezar expandir su actividad ganadera (CORANTIOQUIA, 2015b; Universidad Nacional de Colombia, 2012).

En cuanto al ciclo de balance B3 se refiere al impacto de las ganancias de los sistemas de producción de ganadería de leche, cultivo de tomate de árbol y cultivo de papa siendo representativos en la Cuenca sobre la preferencia en el establecimiento o sostenimiento de áreas de bosque, debido a que los productores ven resultados positivos con respecto a las ganancias que obtienen a partir de estos sistemas de producción fomenta a expandir la frontera agrícola y/o agropecuaria afectando hacia las áreas de bosque, disminuyendo su área y a su vez afectando el ecosistema y los servicios ecosistémicos, tales como la conectividad ecológica, protección de fuentes de agua, prevención de la erosión del suelo causada por la precipitación, captación de carbono como también en la fragmentación del paisaje.

- Validación a partir de la revisión cada una de las variables:

Como se mencionó en la fase de metodología, la validación de las variables y sus interrelaciones es un proceso iterativo que inicia en la identificación a partir de fuentes secundarias y se corrigen de acuerdo con los resultados de la recolección de información en campo, esto permite la corrección constante de las variables y por ende de los diagramas casuales. La validación a partir de una revisión de cada una de las variables de los sistemas, que justifica sus interrelaciones y la polaridad de la relación se presentan en el Anexo B.

3.5. Evaluación del efecto de variables externas de acuerdo con el Diagrama Causal de Dinámica de los Agroecosistemas.

Con el Diagrama Causal de la Dinámica de los Agroecosistemas en la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico y con su respectiva validación, es posible predecir de forma cualitativa el efecto potencial de variables externas que pueden ser naturales y/o antropogénicas sobre la dinámica del agroecosistema. En esta sección se realiza el análisis del efecto potencial de variables externas sobre la dinámica de los agroecosistemas y en el proceso de decisión de los agricultores frente a qué y cómo producir en la Cuenca. Se analiza el efecto potencial de variables de origen natural como eventos climáticos extremos que se pueden presentar en la zona, seguido de variables antropogénicas que son resultados de las decisiones y acciones humanas como cambios en los costos de los insumos de la producción, y a nivel institucional, la implementación de nuevos esquemas de Pago por Servicios Ambientales y el Acceso a Seguros Agrícolas.

A continuación, se realiza inicialmente la descripción de la variable externa a analizar y luego se presenta en el Diagrama Causal en donde se observa las relaciones que se generan con otras variables y el efecto sobre la dinámica de los agroecosistemas.

- **Eventos climáticos extremos:**

Esta variable hace relación a las variables de precipitación y temperatura que se tomaron en cuenta en esta investigación y se presentaron en el diagrama causal del sistema biofísico. Un evento climático extremo es la ocurrencia de un evento de alguna variable climática (precipitación, temperatura, humedad relativa) con un valor por encima o por debajo de los valores altos o bajos del rango de observación histórico de esa variable (Field et al., 2012). Los impactos del cambio climático pueden afectar de diferente manera el desarrollo humano, en cinco ámbitos de la vida, de acuerdo con el PNUD (2007): el primero es el impacto en la producción agrícola y la seguridad alimentaria, el segundo es el estrés por falta de agua e inseguridad del agua, el tercero es el aumento en el nivel del mar y la exposición a desastres meteorológicos, el cuarto es la transformación de los ecosistemas y la disminución de la biodiversidad, el quinto son los impactos en la salud humana.

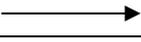
La producción agrícola depende en gran medida del clima y se ve afectada negativamente por el cambio climático antropogénico y la creciente variabilidad

climática que conduce a un aumento de los extremos climáticos (Sivakumar, Motha, & Das, 2005). Según la FAO (2007), los agroecosistemas están expuestos progresivamente a amenazas de una mayor variabilidad climática estacional y, a largo plazo, al cambio climático, además de su degradación por las actividades humanas. Los cambios anormales en la temperatura del aire y las precipitaciones y el aumento de la frecuencia e intensidad de las sequías e inundaciones tienen implicaciones a largo plazo para la viabilidad de estos ecosistemas.

En Colombia el sector agropecuario se ha visto afectado gravemente debido a la ocurrencia de eventos climáticos extremos especialmente durante las fases del Fenómeno El Niño y La Niña. Las anomalías debido a la variabilidad climática generan un impacto socioeconómico de grandes proporciones en el ámbito regional, en donde la agricultura depende del régimen de lluvias y comportamiento de temperatura, lo que se ocasiona inundaciones y deslizamientos en terrenos cultivados, alteraciones del confort animal, proliferación de plagas y expansión de enfermedades, cambios en los ciclos vegetativos de los cultivos, cambios en los ciclos de plagas, mayor estacionalidad de la producción, pérdidas en la producción y rendimiento de los sistemas de producción (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010).

A continuación, se procede a analizar el efecto potencial de eventos climáticos extremos sobre la dinámica de los agroecosistemas y en el proceso de decisión de los productores frente a qué y cómo producir. En la **Tabla 15** se presenta leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron en el análisis del efecto de la variable eventos climáticos extremos (variables y flechas de color morado) en el Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca Río Grande y Río Chico.

Tabla 15. Leyenda del efecto de Evento Climático Extremo en la dinámica de los agroecosistemas

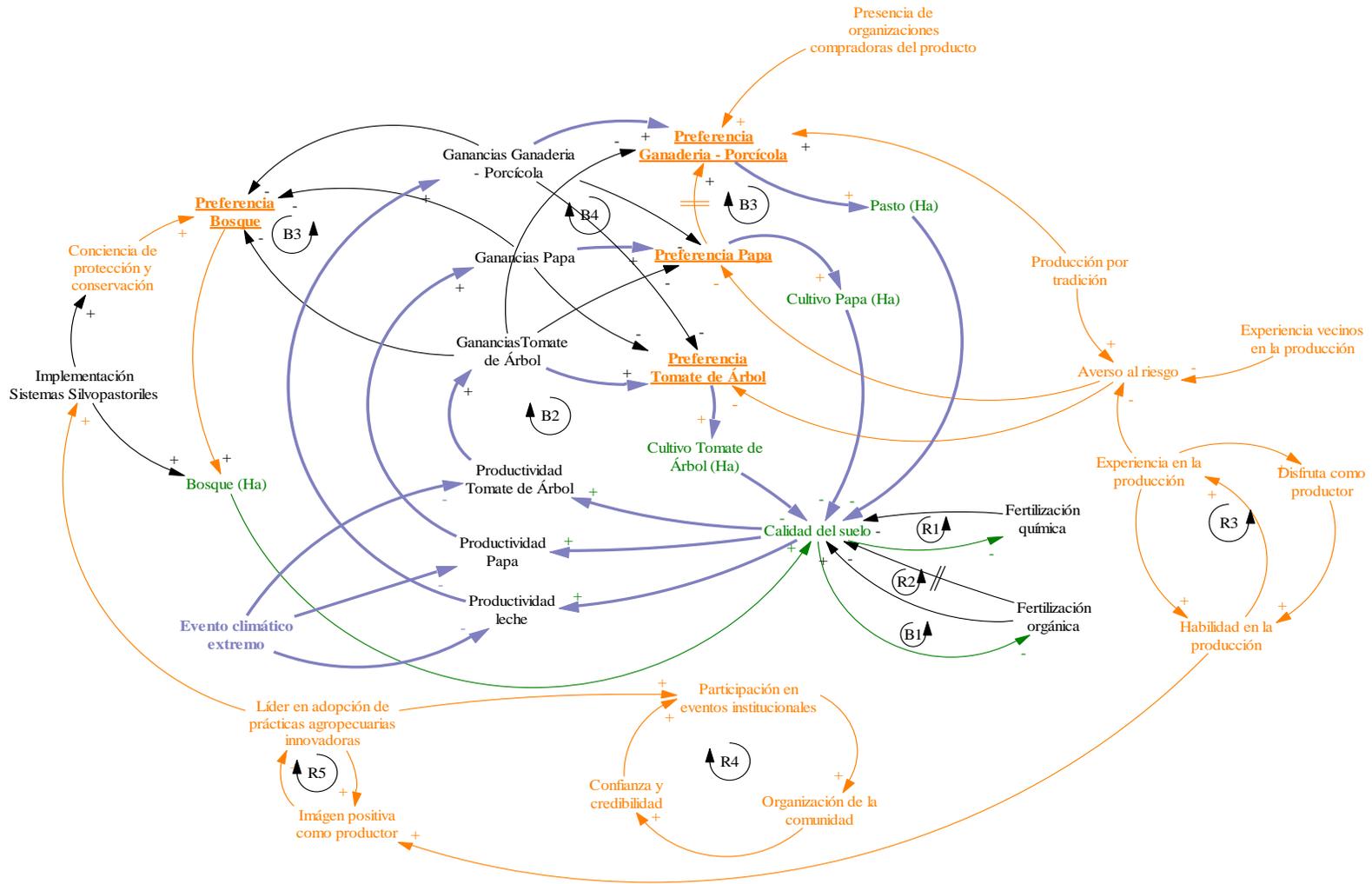
Leyenda			
	Relación y variables del sistema de decisión		Relación y variables del sistema operativo
	Relación y variables del sistema biofísico		Relación y variables eventos climáticos extremos en la dinámica de los agroecosistemas.
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización química		
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica		
	Ciclo de balance relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica con retraso		
	Ciclo de refuerzo relacionado con la experiencia y la habilidad en la producción		
	Ciclo de refuerzo relacionado con participación en eventos que fomenta la confianza y credibilidad entre la comunidad		
	Ciclo de refuerzo relacionado con el liderazgo en implementación de nuevas tecnologías y la imagen positiva como productor		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de cada sistema de producción que afectan la preferencia en los sistemas de producción alternos		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de los sistemas de producción que afectan la preferencia por establecer o mantener el bosque		

	Ciclo de balance relacionado a las ganancias, la preferencia de los sistemas de producción y la calidad del suelo
	Ciclo de balance relacionado a la preferencia de papa, preferencia de ganadería de leche, calidad del suelo

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 21** se observa la variable eventos climáticos extremos y flechas de color morado que hacen referencia a las interrelaciones con las variables del Diagrama Causal, esto con el fin de facilitar al lector identificar las relaciones de la variable externa con las demás variables que hacen parte de la dinámica de los agroecosistemas

Figura 21. Efecto de eventos climáticos extremos en la Dinámica de los Agroecosistemas.



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 21** se observa el efecto de la variable Evento Climático Extremo en la dinámica de los agroecosistemas en la Cuenca del Río Grande y Río Chico. En cuanto a las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias y temperaturas de eventos climáticos extremos como los fenómenos El Niño y La Niña han sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones, ocasionando un efecto negativo sobre el medio físico natural y un impacto social y económico de grandes proporciones (Montealegre Bocanegra, 2014).

En la **Figura 21** se observa que frente a la presencia de eventos climáticos extremos se traducen en la disminución de la productividad de leche, papa y tomate de árbol, afectando las ganancias de cada actividad económica de forma negativa al no obtener la productividad esperada o frente a las pérdidas debido a los efectos del alza o disminución extremas de la temperatura y precipitación; esto a su vez interfiere en la preferencia de cada actividad económica ya que los productores no obtienen las ganancias esperadas o al enfrentar pérdidas debido a la disminución de la productividad, disminuyendo las áreas destinadas a la producción. Frente a la disminución de las áreas de pasto, cultivo de tomate de árbol y papa como monocultivos característicos en la Cuenca, la calidad del suelo aumenta eventualmente ya que sus propiedades no son alteradas por las actividades de cada sistema de producción como el uso excesivo de fertilizantes, pesticidas, labranza y demás.

Los efectos de los eventos climáticos extremos no solo afectan en la disminución de la productividad de los sistemas agrícolas y agropecuarios de la Cuenca, también se traducen en el aumento de los costos de producción afectando las ganancias, debido a que los agricultores deben garantizar los estándares de la calidad mediante el aumento de suplementos alimenticios, adopción de tecnologías, arreglos estructurales y demás.

Durante el fenómeno El Niño, se caracteriza por la reducción de la precipitación y al aumento de la evaporación y la evapotranspiración, se produce una disminución de la disponibilidad hídrica en las diferentes regiones hidrográficas del país. (Rivera Pérez & Pabón Caicedo, 1993) (Poveda, 1994). Existe una inmensa literatura que analiza los impactos que tiene el fenómeno el Niño en el crecimiento y la producción de cultivos (Kurukulasuriya & Rosenthal, 2003; Lobell & Gourdji, 2012), en donde el déficit en los rendimientos hídricos reduce considerablemente la oferta natural de agua para el abastecimiento de los sistemas de riego para la agricultura y el mantenimiento de la ganadería (Montealegre Bocanegra, 2014). Aunque los autores ofrecen diferentes escenarios, el consenso es que la productividad de los cultivos y el ganado puede disminuir debido a las altas temperaturas y el estrés relacionado con la sequía (M. A. Altieri et al., 2015). La proliferación de pestes y enfermedades aumentan gracias al aumento de las temperaturas afectando considerablemente las cosechas tanto en el tamaño como en la calidad, por otro lado los periodos de verano representan una de las principales barreras para alcanzar mayores niveles de eficiencia y productividad en los sistemas de ganadería de leche, bajo condiciones cálidas y de elevada humedad atmosférica se reduce la pérdida de calor por evaporación a través de la piel y del tracto respiratorio, incrementando el nivel de estrés calórico; así mismo, la alta humedad también representa un problema sanitario, ya que contribuye a la proliferación de patógenos, como bacterias, hongos y ectoparásitos (Caso & Módulo, 2008; DANE, 2016).

El evento del fenómeno La Niña se manifiesta en Colombia a través de un aumento anormal de las precipitaciones, particularmente en las regiones del Caribe (costa norte) y Andina (donde se ubica la

cuenca del Río Grande), lo que se traduce en una mayor ocurrencia de desastres por desborde de ríos, inundaciones, deslizamientos de tierra, lluvias torrenciales y vendavales y, en consecuencia, mayores pérdidas y daños asociados al evento (De los Ríos Cardona, 2015). el exceso de lluvias causa la reducción en la producción de leche, debido a una menor disponibilidad de pastos, dado que estos se pudren por la inundación (De los Ríos Cardona, 2015), sumado el deterioro por el pisoteo; de igual manera, la producción se ve afectada por el gasto de energía de los animales como consecuencia de la formación de barro, la ocurrencia de enfermedades de las patas y el difícil tránsito a las salas de ordeño cuando el barro se endurece (DANE, 2016), asimismo, los cultivos están expuestos a la baja de temperaturas e inundación debido al incremento de la precipitación en la zona disminuyendo la productividad e incluso generando pérdidas parciales o totales en la producción.

- **Costos de los insumos en la producción:**

Esta variable hace relación a la variable de costos de producción que se tomaron en cuenta en esta investigación y se presentaron en el diagrama causal del sistema operativo. Para el funcionamiento de un agroecosistema es necesaria la entrada de materiales externos que se traducen en costos de producción, estos costos implican una gran variedad de productos, instrumentos y demás, entre ellos se encuentran los insumos en los que el sistema tiene que incurrir para llevar a cabo la producción. Los productores agrícolas y pecuarios del país asumen los costos de los fertilizantes, plaguicidas, medicamentos, vacunas y alimentación para que sus negocios prosperen, sin embargo, en muchas ocasiones estos insumos son difíciles de obtener por su elevado valor, estos insumos inciden de manera significativa en los costos de producción (Contexto Ganadero, 2013; Ramirez Guerra, 2018; Jaramillo Londoño & Areiza Segura, 2012).

De acuerdo con Cámara de Comercio de Bogotá (2015a, 2015b) los costos de los insumos del cultivo de papa equivalen a 47,1% de participación de los costos totales de la producción particularmente los que están relacionados con las enmiendas, abonos y fertilizantes; los costos de los insumos del cultivo de tomate de árbol equivalen al 57% de participación de los costos totales de la producción especialmente los insumos que se requieren para el manejo y control de malezas, plagas y enfermedades. En cuanto a la ganadería de leche, según Escobar et al.,(2012) los costos de los insumos equivalen a un 79,5% de participación de los costos totales de producción, en donde los fertilizantes y los insumos relacionados con la calidad de la leche juegan un papel importante.

A su vez, los costos de los insumos para la producción están sujetos a fluctuaciones en donde puede aumentar o disminuir su precio, este tipo de cambios afecta directamente al agricultor en las ganancias finales de su sistema de producción. El DANE presenta los costos de los insumos agrícolas históricos desde el año 2013 hasta el 2020, en estas bases de datos se puede observar la fluctuación de los costos mes a mes, en donde algunos de los precios de los insumos pueden fluctuar entre un 2% y 30% (DANE, 2020). En la **Tabla 16** se observa el reporte de una sección de los insumos y factores de la producción agropecuaria del mes de febrero de 2019, en donde la variación porcentual mayor del costo de los insumos entre el mes de enero y febrero de 2019 fue una mezcla de fertilizantes para potreros el cual subió el costo un 2,9% con respecto al mes anterior.

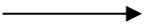
Tabla 16. Variación porcentual entre el mes de enero y febrero del 2019 de los costos de los fertilizantes, enmiendas y acondicionadores del suelo

Fertilizantes, enmiendas y acondicionadores del suelo					
Nombre municipio	Nombre del producto	Presentación del producto	Precio medio de enero de 2019	Precio medio de febrero de 2019	Variación porcentual
Santa Rosa de Osos	15-15-15	50 kilogramos	80.950	82.900	2,4
Santa Rosa de Osos	Agrofast	1 litro	33.988	33.988	0,0
Santa Rosa de Osos	A-Micsur	1 litro	34.153	34.987	2,4
Entrerriós	Crecer 500	900 gramos	7.167	7.150	-0,2
Santa Rosa de Osos	Potreros: 31-8-8-2	50 kilogramos	80.133	82.450	2,9
Entrerriós	Terra Sorb - Foliar	1 litro	30.867	30.833	-0,1
Santa Rosa de Osos	Terra Sorb - Foliar	1 litro	32.488	32.505	0,1
Entrerriós	Terra Sorb 4 - Radicular	1 litro	29.473	28.973	-1,7
Santa Rosa de Osos	Terra Sorb 4 - Radicular	1 litro	30.998	31.198	0,6
Entrerriós	Tottal	1 litro	17.387	17.387	0,0
Santa Rosa de Osos	Tottal	1 litro	16.166	16.209	0,3
San Pedro de Los Milagros	Wuxal Tapa Negra	1 litro	n.d.	37.833	n.d.

Fuente: (DANE, 2020)

Con la descripción anterior permite familiarizarse con la variable, de esta forma se procede a realizar el análisis de los efectos de los costos de los insumos de la producción sobre la dinámica de los agroecosistemas y en el proceso de decisión de los productores frente a qué y cómo producir. En la **Tabla 17** se presenta leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron en el análisis del efecto de la variable costos de los insumos de la producción (variables y flechas de color morado) en el Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca Río Grande y Río Chico.

Tabla 17. Leyenda del efecto de los Costos de los insumos de la Producción en la dinámica de los agroecosistemas

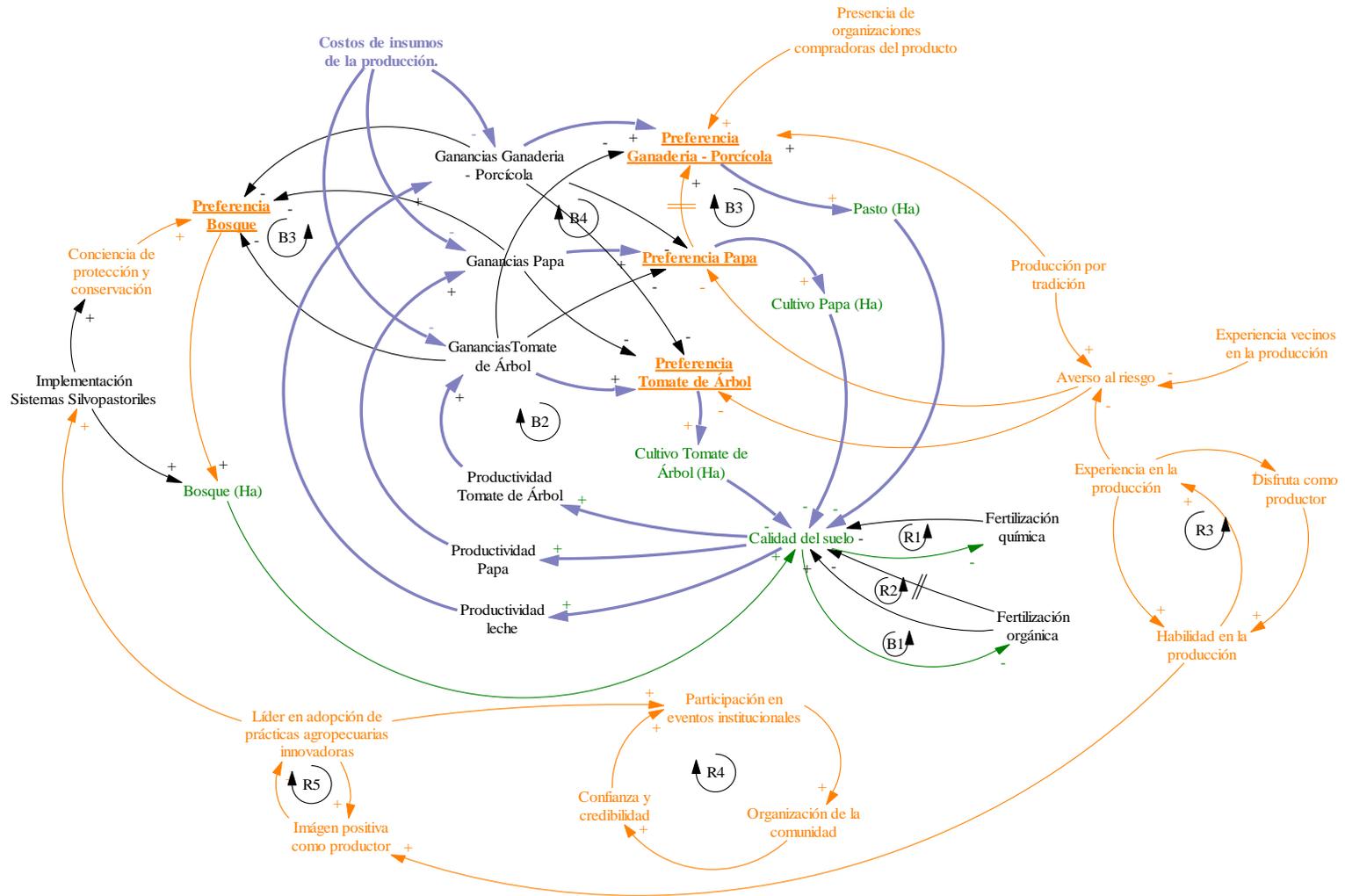
Leyenda			
	Relación y variables del sistema de decisión		Relación y variables del sistema operativo
	Relación y variables del sistema biofísico		Relación y variables costos de los insumos de la producción en la dinámica de los agroecosistemas.
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización química		
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica		
	Ciclo de balance relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica con retraso		
	Ciclo de refuerzo relacionado con la experiencia y la habilidad en la producción		

	Ciclo de refuerzo relacionado con participación en eventos que fomenta la confianza y credibilidad entre la comunidad
	Ciclo de refuerzo relacionado con el liderazgo en implementación de nuevas tecnologías y la imagen positiva como productor
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de cada sistema de producción que afectan la preferencia en los sistemas de producción alternos
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de los sistemas de producción que afectan la preferencia por establecer o mantener el bosque
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias, la preferencia de los sistemas de producción y la calidad del suelo
	Ciclo de balance relacionado a la preferencia de papa, preferencia de ganadería de leche, calidad del suelo

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 22** se observa la variable Costos de los Insumos de Producción y flechas de color morado que hacen referencia a las interrelaciones con las variables del Diagrama Causal, esto con el fin de facilitar al lector identificar las relaciones de la variable externa con las demás variables que hacen parte de la dinámica de los agroecosistemas

Figura 22. Efecto de los Costos de insumos de la Producción en la Dinámica de los Agroecosistemas



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los efectos de los costos de los insumos de la producción sobre la dinámica de los agroecosistemas en la Cuenca, en la **Figura 22** se observa que están directamente relacionados con las ganancias del sistema de producción debido a su fluctuación en los precios y los requerimientos para el sostenimiento de la producción pueden aumentar a tal punto que pueden ser mayores a las ganancias finales de la producción, esto se traduce en la disminución de la preferencia de las actividades económicas, por ende disminución en las áreas destinadas a la producción. Esta disminución de las áreas de pasto, cultivo de tomate de árbol y papa, la calidad del suelo aumenta eventualmente ya que sus propiedades no son alteradas por las actividades de cada sistema de producción como el uso excesivo de fertilizantes, pesticidas, labranza y demás.

La dinámica de los costos de los insumos genera una influencia en la toma de decisión de los agricultores frente a qué y cómo producir, el impacto de los costos de los insumos en la producción y de acuerdo con la capacidad económica del productor, determinan las decisiones y puede conllevar a hacer cambios del uso del suelo y las formas de producción.

Los fertilizantes son uno de los insumos de gran uso en los agroecosistemas que aumentan los costos de producción, debido a que la cuenca era una zona de actividad minera, la calidad del suelo no presenta óptimas condiciones para desarrollar sistemas de producción por lo tanto siempre ha estado acompañado del uso y aplicación de grandes concentraciones de fertilizantes orgánicos (porquinaza) y/o fertilizantes químicos para obtener adecuado forraje y mejorar las condiciones del suelo para implementar las actividades de ganadería y cultivos (CORANTIOQUIA, 2015b; Universidad Nacional de Colombia, 2012). Asimismo, los cultivos de papa y tomate de árbol requieren de grandes concentraciones de fertilizantes para adecuar el suelo. Los precios de los fertilizantes representan un porcentaje significativo en los costos de producción de productos transitorios y permanentes, la importación de estos insumos hace que el precio lo definan los distribuidores y empresas importadoras, estos productos están propensos a sobreprecio en el mercado interno con respecto a los precios internacionales (Castaño Giraldo & Cardona Gómez, 2014). De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2010), los fertilizantes representan el 55% de las ventas de insumos demandados por el sector, los plaguicidas el 27%, los medicamentos veterinarios el 13% y los productos biológicos el 5%.

De acuerdo con (AGROMUNDO, 2013), los costos de los insumos de la producción dependen de muchas variables, tales como la región, el tipo de producción (si es intensiva en mano de obra o en bienes de capital), el tipo de productor (pequeño o grande), a quién se le adquieren los insumos, si los insumos son nacionales o extranjeros y qué tan grande es la compañía que los suministra. En concordancia con lo anterior, Valencia-Pinzón (2019) expone que la problemática asociada a los costos de los insumos agropecuarios se categoriza en tres grupos: i) la influencia del mercado internacional, ii) la comercialización interna y, iii) el uso y aplicación. En Colombia, la dinámica del mercado internacional impacta de manera directa en la formación de los precios nacionales de los principales insumos utilizados en las actividades agropecuarias, a través de los determinantes que afectan la oferta y demanda mundial; el mercado de insumos agropecuarios se caracteriza por tener una larga cadena de comercialización (Productores-importadores, mega distribuidores, pequeños almacenes y cliente final), donde el último eslabón de la cadena absorbe los costos acumulados en

los diferentes eslabones del proceso de distribución; la intensidad en el uso de insumos agrícolas depende de múltiples factores, entre los que se pueden citar la disponibilidad de tierras, tamaño de la propiedad agrícola, condiciones agroecológicas, características del suelo, tipo de cultivos, productividad esperada e incidencia de plagas y enfermedades. Adicionalmente, se deben tener en cuenta las características propias de cada producto para determinar la cantidad a aplicar (Valencia-Pinzón, 2019).

- **Implementación de Pagos por servicios ambientales (PSA):**

Esta variable hace relación a la variable de Incentivos económicos para la Conservación que se tomaron en cuenta para esta investigación y se presenta en el diagrama causal de decisión. Los esquemas de PSA son una clase de incentivo económico cuyo mecanismo gira en torno a un típico mercado (oferta vs. demanda) en el cual los propietarios y poseedores regulares de predios, donde se encuentran ubicados los ecosistemas naturales que suministran este tipo de servicios, reciben voluntariamente y en forma periódica un reconocimiento (dinero, especie, mixto) por parte de algunos usuarios finales en razón al beneficio individual o colectivo que les causa contar con su permanente provisión en pro de la conservación y/o recuperación de los ecosistemas naturales (Departamento Nacional de Planeación, 2017).

El mecanismo de PSA se ha venido promoviendo como un instrumento que permite el mejoramiento de las condiciones ambientales y al mismo tiempo contribuye a reducir la pobreza rural, permitiendo transferir recursos a sectores socioeconómicamente vulnerables que ofrecen servicios ambientales: en muchos casos, los proveedores del servicio aguas arriba pertenecen a estratos sociales desfavorecidos, y por lo tanto, una compensación monetaria podría servir para aliviar los bajos niveles de renta (Tapasco, 2009). Este método contingente difiere fundamentalmente de otros enfoques de conservación ya que el mecanismo de PSA reconoce duros conflictos en paisajes con fuertes y crecientes presiones por el uso de la tierra, y busca conciliar intereses opuestos mediante la compensación (Wunder, 2005).

Los esquemas de PSA de uso restringido premian a los proveedores por la conservación (incluyendo la regeneración natural), por equiparar la extracción de recursos y el desarrollo de la tierra, o por preservar zonas como hábitats protegidos. Aquí los dueños de la tierra reciben un pago por los costos de oportunidad de la conservación y por sus esfuerzos de protección activa contra amenazas externas (Hardner & Rice, 2002). En contraste, en los esquemas de ‘realce productivo’ el PSA busca restaurar los SA en un área dada; por ejemplo, (re)plantando árboles en paisajes degradados y deforestados. Aparte de los costos de oportunidad y de protección, el PSA también puede compensar los costos directos de establecer SA, a menudo mediante inversiones en sistemas agrícolas (Pagiola et al., 2004)

En cuanto a Colombia, cuenta con la propuesta de Estrategia Nacional de Pago por Servicios Ambientales, instrumento resultante de la necesidad de diseñar e implementar instrumentos que coadyuven a la conservación y recuperación de los recursos naturales

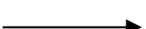
y los servicios ambientales que proveen, con el consecuente beneficio para la calidad de vida de la población. La Estrategia da alcance a lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, acerca de desarrollar un conjunto de instrumentos económicos y financieros que incentiven el conocimiento, la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, incluyendo los mecanismos necesarios para la creación de un sistema de pago por servicios ambientales en Colombia. A su vez, está respaldada por el Decreto 1007 del 14 de junio de 2018, que tiene como objetivo regular el incentivo para los pagos ambientales y establece que los PSA (ya sean económicos o en especie, reconocidos por los interesados de los servicios ambientales a los propietarios, titulares u ocupantes de buena fe sin culpa por las acciones de preservación y restauración en áreas estratégicas y ecosistemas) se ejecutan mediante la conclusión de acuerdos voluntarios entre esos interesado en servicios ambientales y beneficiarios del incentivo (MADS, 2018).

Blanco, 2008; realiza un análisis de la gestión integral del recurso hídrico en Colombia, en donde resalta que un enfoque interesante es el pago de servicios ambientales en articulación con los Planes de Ordenamiento pueden identificar los ecosistemas o los usos de la tierra que tienen un claro impacto en la regulación del agua o de la calidad en una Cuenca Hidrográfica. Las autoridades ambientales regionales podrían implementar un pago por servicios ambientales de tipo hidrológico a los propietarios que cambian o mantienen el ecosistema o uso de la tierra deseada. El financiamiento de estos pagos es en parte mediante los ingresos de la tasa del uso del agua y las regalías del sector de generación de energía.

En la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico el esquema de pago por servicios ambientales mediante la estrategia BancO2 implementado CORANTIOQUIA como autoridad ambiental competente de la zona, en donde se planifica la elaboración y ejecución de una metodología para la identificación, delimitación y priorización de ecosistemas estratégicos para su conservación haciendo uso de información de otras estrategias como el Programa Integral Red Agua (PIRAGUA), que toma como base el monitoreo de las bocatomas de acueductos municipales, multiveredales y veredales, con esta información se obtiene un proceso de área aferentes, definidas estas áreas como las áreas que aportan las aguas de escorrentía que al acumularse generan los caudales registrados en el punto de bocatoma para la oferta del recurso hídrico. Asimismo, se generan convenios con EPM, siendo la empresa que aprovecha el agua de la cuenca para la generación de energía que satisface la demanda de una parte del Valle de Aburrá; para el desarrollo de estrategias acciones de conservación y preservación en ecosistemas de interés en los municipios en jurisdicción de la Cuenca (Corantioquia, 2017).

Con la descripción anterior permite familiarizarse con la variable, de esta forma se procede a realizar el análisis de los efectos de la implementación de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) sobre la dinámica de los agroecosistemas y en el proceso de decisión de los productores frente a qué y cómo producir. En la **Tabla 18** se presenta leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron en el análisis del efecto de la variable Implementación de Pagos por Servicios Ambientales (variables y flechas de color morado) en el Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca Río Grande y Río Chico.

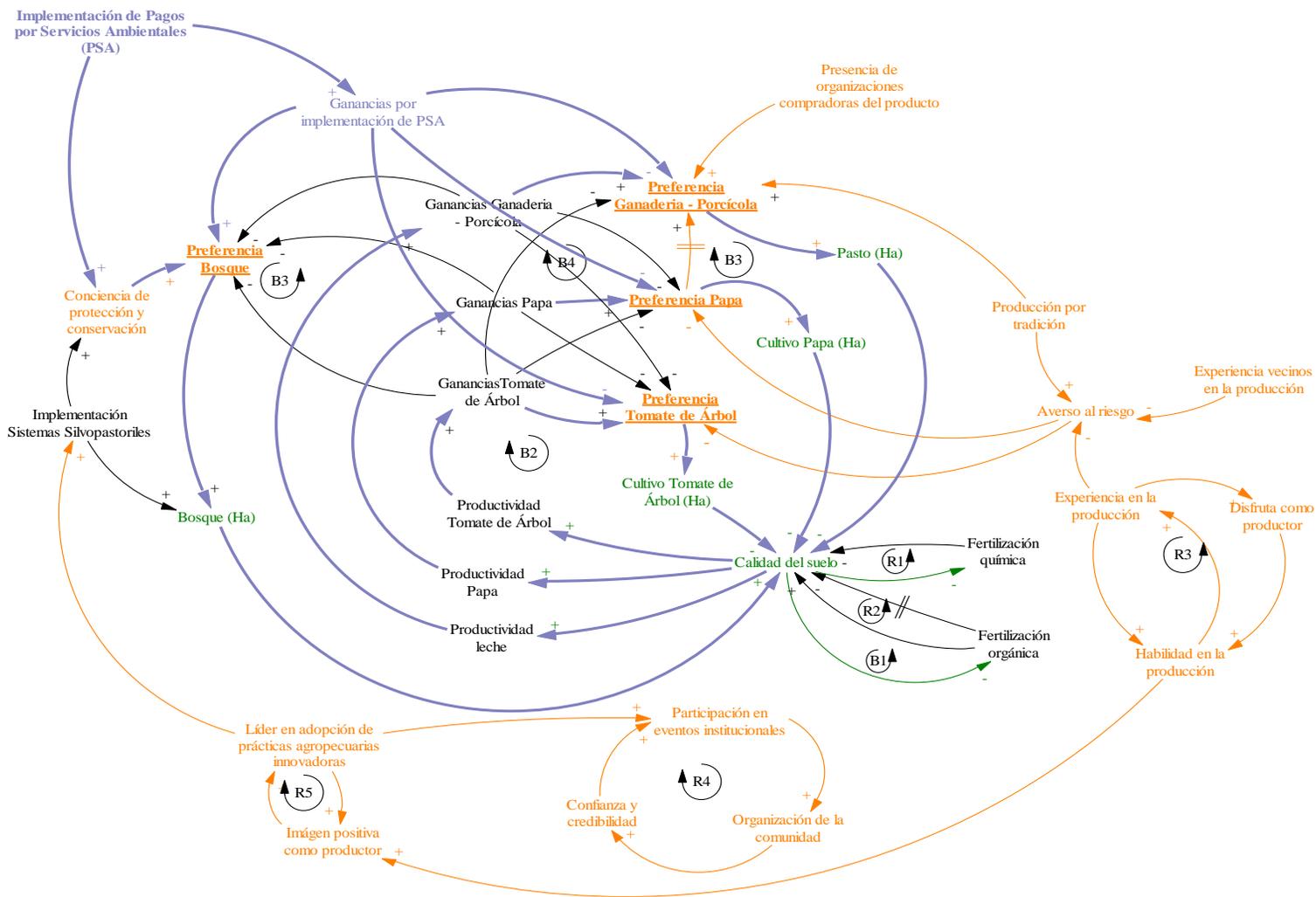
Tabla 18. Leyenda del efecto de la Implementación de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en la dinámica de los agroecosistemas

Leyenda			
	Relación y variables del sistema de decisión		Relación y variables del sistema operativo
	Relación y variables del sistema biofísico		Relación y variables Implementación de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en la dinámica de los agroecosistemas.
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización química		
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica		
	Ciclo de balance relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica con retraso		
	Ciclo de refuerzo relacionado con la experiencia y la habilidad en la producción		
	Ciclo de refuerzo relacionado con participación en eventos que fomenta la confianza y credibilidad entre la comunidad		
	Ciclo de refuerzo relacionado con el liderazgo en implementación de nuevas tecnologías y la imagen positiva como productor		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de cada sistema de producción que afectan la preferencia en los sistemas de producción alternos		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de los sistemas de producción que afectan la preferencia por establecer o mantener el bosque		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias, la preferencia de los sistemas de producción y la calidad del suelo		
	Ciclo de balance relacionado a la preferencia de papa, preferencia de ganadería de leche, calidad del suelo		

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 23** se observa la variable Implementación Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y flechas de color morado que hacen referencia a las interrelaciones con las variables del Diagrama Causal, esto con el fin de facilitar al lector identificar las relaciones de la variable externa con las demás variables que hacen parte de la dinámica de los agroecosistemas.

Figura 23. Efecto de la variable Pago por Servicios Ambientales (PSA) en la Dinámica de los Agroecosistemas



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 23** se observa el efecto de la variable Pago por Servicios Ambientales (PSA) sobre la dinámica de los agroecosistemas, y las relaciones que se generan. En el análisis surgen algunas variables intermedias que ayudan a entender y tener claridad sobre las relaciones y el efecto que tiene sobre las variables que hacen parte del Diagrama Causal. La Implementación de PSA genera ganancias a través de beneficios económicos para la conservación de ecosistemas, esto se traduce para el productor en la preferencia de bosques, manteniendo o aumentando las áreas de bosques en su predio lo que influye positivamente a la calidad del suelo ya que la cobertura protege a los suelos de la erosión y en la provisión de sus servicios ecosistémicos, además no requiere de actividades como labranza y uso excesivo de pesticidas que alteran las propiedades del suelo. Asimismo, las ganancias a partir de la implementación de PSA convirtiéndose en un atractivo de conservación de bosques como alternativa de ingresos al productor, impacta en la disminución de la preferencia de la ganadería de leche y los cultivos de tomate de árbol y papa, disminuyendo las áreas destinadas para su producción y por ende aumentando la calidad del suelo. Con el tiempo, al mejorar la calidad del suelo sin requerir grandes cantidades de insumos para su adecuación, aumenta la productividad de los sistemas de producción y las ganancias lo que se traduce en la preferencia de las actividades económicas representativas en la Cuenca. Las ganancias tanto de la implementación de PSA como de los sistemas de producción compiten para la preferencia de cada actividad económica.

Por otro lado, la implementación de PSA impacta de forma positiva a la conciencia de conservación y protección del agricultor, ya que con el proceso de implementación conoce y comprende los beneficios de conservar y proteger bosques que a su vez protegen los suelos, contribuyen a la regulación hídrica, áreas como corredores biológicos; captura de dióxido de carbono, entre otras; que no solo beneficia a su predio sino también al ecosistema como tal del que hace parte.

Los pagos por servicios ambientales es una estrategia de compensación y mejoramiento de la calidad de vida de los agricultores, mediante la conservación y restauración de las zonas de interés ecosistémicos de la región y en los que se encuentra involucrados algunas áreas de sus predios, a través de un fondo ambiental especial (local/regional) financiado de forma voluntaria por empresas y personas que son beneficiarios de los servicios ecosistémicos y que debido a sus usos ocasionan alteraciones en los ecosistemas naturales (Vargas Rodríguez, 2018). De esta forma, los PSA emergen como una estrategia de conservación que alienta a los productores, a través de beneficios económicos y alternativas de ingresos, a cuidar y fortalecer los recursos naturales y los servicios ecosistémicos relacionados con el agua, los bosques y la biodiversidad que son vitales a su vez para el desarrollo de los sistemas de producción y para el sostenimiento de los ecosistemas; esta estrategia promueve y fomenta el establecimiento, conservación y protección de áreas de interés ecosistémica como alternativa de ganancias a los agricultores que aunque no sea una fuente de ingresos principal de los productores en la Cuenca debido a la trayectoria de uso del suelo en la zona como en las demás variables socioeconómicas y culturales, se convierte en una variable importante frente a la toma de decisión de la destinación de los usos y manejo del suelo de los agricultores en la cuenca, en este orden de ideas, no sólo las ganancias de los sistemas de producción representativos de la cuenca compiten en la toma de decisiones frente a qué producir sino también los ingresos por pagos por servicios ambientales entran en ese proceso como limitante de la expansión de la frontera agropecuaria e incluso como designación de áreas de importancia ambiental en el predio para la reforestación.

- **Acceso a seguros:**

Esta variable hace relación a la variable exógena acceso a seguros que se tomó en cuenta para esta investigación y se presenta en el diagrama causal de decisión. Los agricultores enfrentan una variedad de riesgos de producción y de mercado que hace que sus ingresos sean inestables e impredecibles de un año a otro. Los precios de los insumos pueden incrementarse fuera de su alcance, las cosechas pueden verse destruidas por sequías o pestes inesperadas, los precios de venta se pueden desplomar y las cosechas pueden dañarse si se las conserva en instalaciones inapropiadas. El tipo y la gravedad de los riesgos que afrontan los agricultores son especialmente costosos para aquellos que trabajan en pequeña escala en países en desarrollo. A menos que sean manejados adecuadamente, los riesgos agrícolas retrasan el desarrollo económico, impiden la reducción de la pobreza y contribuyen a las crisis humanitarias (Hazell, 2010).

El segmento de la agricultura familiar, comparado con la agricultura de mediana y gran escala, presenta una mayor vulnerabilidad económica y social debido a su menor capacidad para absorber los impactos adversos y para la recuperación de los medios de vida. La dinámica de los mercados y los factores macroeconómicos, sociales e institucionales pueden configurar también escenarios de riesgo que aportan incertidumbre a las expectativas de ingresos que podría obtener este segmento de agricultores y agricultoras por su trabajo (FAO, 2017).

La producción agropecuaria está expuesta a riesgos de diferente origen, como de origen climáticos, geológicos, sanitarios y de mercado; la frecuencia de ocurrencia y la intensidad de eventos climáticos extremos estarían aumentando como consecuencia del aumento de la variabilidad climática y del cambio climático, generando así una mayor exposición al riesgo de pérdidas (FAO, 2017). De acuerdo con el estudio de (Jaffee, Siegel, & Adrews, 2010) los principales tipos de riesgo que afectan a las cadenas de suministro agrícola, son: (i) las condiciones cambiantes del clima y la ocurrencia de desastres; (ii) la naturaleza impredecible de los procesos biológicos; (iii) una estacionalidad pronunciada de la producción y los ciclos del mercado, y los agricultores a menudo enfrentan la variabilidad en los precios de mercado; (iv) la distribución geográfica de la producción y los usos finales y los riesgos logísticos e infraestructurales que pueden tener un impacto en las cadenas de suministro agrícola; (v) riesgos de gestión y operación de la producción agrícola a nivel de finca, (vi) riesgos de política e institucionales - la economía política única e incierta de los sectores de alimentos y agricultura, tanto nacional como internacional y (vii) riesgos políticos.

En una investigación realizada por Bolaños Valencia, 2017 en la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico, encontró mediante talleres y encuestas con los productores de la cuenca que el concepto riesgo evoca diferentes significados. El concepto “riesgo” indica que en el imaginario del 36% de las personas entrevistadas, el riesgo lo relacionan directamente con la amenaza, el peligro y los daños; el 30% de las respuestas relacionan el riesgo con los desastres naturales a partir de diferentes tipos de amenazas como desastres (inundaciones, deslizamientos, temblores, incendios forestales, accidentes), el

20% de las respuestas se encontró que el riesgo se percibe como idea de pérdida o daño a futuro, lo que evidencia que la noción de riesgo está relacionada con la incertidumbre; finalmente, con frecuencias menores se encontró una relación del concepto con la vulnerabilidad pues se nombraron problemas de tipo económico y daños a la salud (8%), y problemas ambientales (6%). Este tipo de respuesta muestra que también puede existir un imaginario enfocado más hacia la vulnerabilidad, pues da a entender que el riesgo genera problemas en las personas y que tienen relación con su economía y la salud.

De esta forma, la gestión del riesgo de pérdidas en la agricultura causadas por desastres y eventos de menor magnitud tiene un rol fundamental en el desarrollo de estrategias de prevención y mitigación del riesgo, así como en la preparación para la respuesta, al promover la reducción sustancial de los impactos negativos de los eventos naturales que afectan a la agricultura y los medios de vida rurales, así como el fortalecimiento de la seguridad alimentaria. En este marco, los seguros agrícolas constituyen un instrumento de gestión del riesgo de desastres adecuado para cubrir el riesgo residual que no es posible mitigar mediante acciones de prevención y que, por su magnitud, puede superar la capacidad de los agricultores y agricultoras para asimilarlo. El seguro transfiere ese riesgo residual a una compañía aseguradora o al Estado (cuando el seguro es parte de un programa público nacional) con capacidad de asumirlo, permitiendo reducir el impacto del riesgo y mejorar la capacidad de recuperación productiva, todo lo cual aumenta la resiliencia a eventos extremos y contribuye a la seguridad alimentaria. Además de estos beneficios, los seguros agrícolas facilitan el acceso a otros instrumentos financieros mediante los cuales se puede potenciar la actividad agrícola, como por ejemplo el crédito (FAO, 2017).

En Colombia, el apoyo gubernamental a este seguro comenzó en 1993 con la promulgación de la Ley de Seguro Agropecuario 69 de 1993 con el objetivo de promover el aseguramiento de las actividades agrícolas junto con los diferentes órganos del gobierno como la Comisión Nacional de Crédito Agropecuarios (CNCA), que establece los porcentajes de cantidad de dinero a la prima como incentivo; el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), que indica las coberturas y los cultivos priorizados y; el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGRO), que administra el fondo nacional de riesgos agropecuarios. Asimismo, a partir de 1998 se unieron compañías de seguros del sector privado que comenzaron a ofrecer seguros al sector agropecuarios y forestales como Mapfre, Sura, Seguros Bolívar, Allianz y la Previsora (Banco Mundial, 2018).

Con la descripción anterior permite familiarizarse con la variable, de esta forma se procede a realizar el análisis de los efectos del Acceso a Seguros sobre la dinámica de los agroecosistemas y en el proceso de decisión de los productores frente a qué y cómo producir. En la **Tabla 19** se presenta leyenda de las variables sus interrelaciones causales y los ciclos de realimentación (R, B) que se identificaron en el análisis del efecto de la variable Acceso a Seguros (variables y flechas de color morado) en el Diagrama Causal de las dinámicas de un agroecosistema en la Cuenca Río Grande y Río Chico.

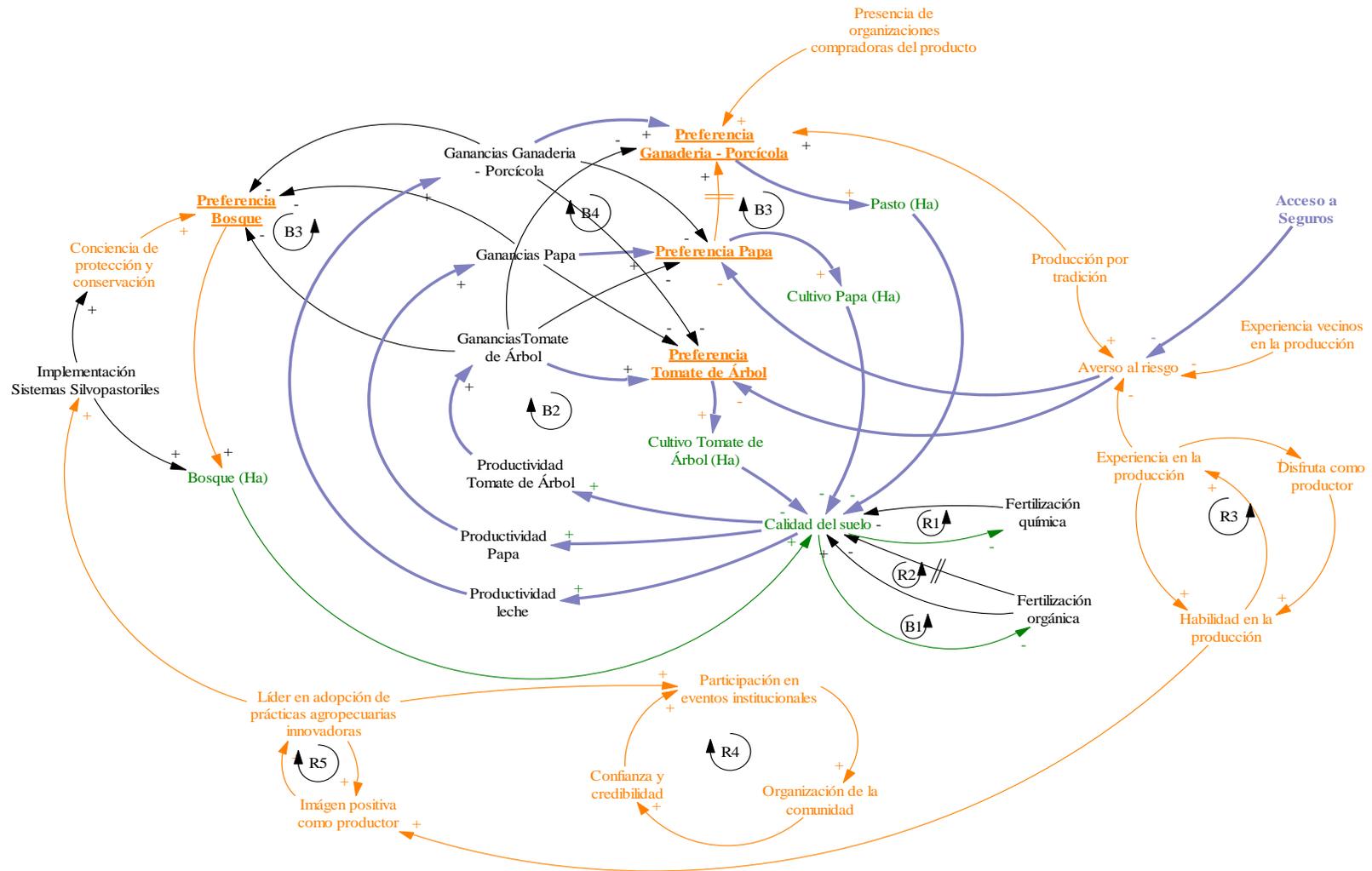
Tabla 19. Leyenda del efecto del Acceso a Seguros en la dinámica de los agroecosistemas

Leyenda			
	Relación y variables del sistema de decisión		Relación y variables del sistema operativo
	Relación y variables del sistema biofísico		Relación y variable Acceso a Seguros en la dinámica de los agroecosistemas.
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización química		
	Ciclo de refuerzo relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica		
	Ciclo de balance relacionado a la calidad del suelo y fertilización orgánica con retraso		
	Ciclo de refuerzo relacionado con la experiencia y la habilidad en la producción		
	Ciclo de refuerzo relacionado con participación en eventos que fomenta la confianza y credibilidad entre la comunidad		
	Ciclo de refuerzo relacionado con el liderazgo en implementación de nuevas tecnologías y la imagen positiva como productor		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de cada sistema de producción que afectan la preferencia en los sistemas de producción alternos		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias de los sistemas de producción que afectan la preferencia por establecer o mantener el bosque		
	Ciclo de balance relacionado a las ganancias, la preferencia de los sistemas de producción y la calidad del suelo		
	Ciclo de balance relacionado a la preferencia de papa, preferencia de ganadería de leche, calidad del suelo		

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 24** se observa la variable Acceso a Seguros y flechas de color morado que hacen referencia a las interrelaciones con las variables del Diagrama Causal, esto con el fin de facilitar al lector identificar las relaciones de la variable externa con las demás variables que hacen parte de la dinámica de los agroecosistemas.

Figura 24. Efecto de la variable Acceso a Seguros en la Dinámica de los Agroecosistemas



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 24** se observa el efecto de la variable Acceso de Seguros sobre la dinámica de los agroecosistemas, y las relaciones que se generan. El Acceso de Seguros se relaciona directamente con la aversión al riesgo de los agricultores que con la alternativa de acceder a seguros genera seguridad para enfrentar eventos, cambios y situaciones en la producción; esto a su vez permite aumentar la preferencia de cultivos de tomate de árbol y papa ya que permite a los agricultores implementar sistemas de producción que les generaba incertidumbre a los resultados y miedo de perder la producción, de esta forma al aumentar la preferencia a los cultivos aumenta las áreas destinadas para la producción, sin embargo, esto impacta de forma negativa a la calidad del suelo debido a las prácticas y actividades para la adecuación del suelo que afecta sus propiedades, requiriendo el uso de insumos externos para sostener o aumentar la productividad y por ende las ganancias finales de la producción.

El acceso a seguros agrícolas son un instrumento financiero importante dentro de una estrategia de gestión de riesgos y frente a la incertidumbre del posible impacto de las pérdidas ocasionadas a consecuencia de un evento adverso sobre la producción y/o activos agrícolas. Contribuye a estabilizar los ingresos de los productores y permite la recuperación de sus actividades productivas. En el caso de la agricultura familiar, segmento en el cual las capacidades económicas son limitadas y en el que confluyen otros factores de vulnerabilidad, los seguros agrícolas pueden ser un aporte fundamental a la resiliencia (FAO, 2017). Esta variable permite a los productores tener seguridad frente a implementar otros sistemas de producción diferentes a los que normalmente ha establecido u optar por la diversificación de las actividades agropecuarias en su predio; de acuerdo con Kronberg & Ryschawy, 2018; las ventajas de la integración de sistemas de producción de ganadería y cultivos son: (1) la opción de alimentar al ganado mediante los residuos de los cultivos producidos en el predio sin el costo adicional de transporte y / o beneficio para un proveedor de la alimentación, (2) el uso de excretas (heces y orina) del ganado como una fuente valiosa de nutrientes, materia orgánica, microbios como fertilizantes, (3) uso y conversión de residuos / subproductos de cultivos para el ganado, (4) fomento para la producción de forrajes perennes para el ganado en rotación con cultivos de dos o tres cosechas, (5) uso de ganado para el control de malezas en campos de cultivo anuales para reducir o eliminar la fumigación de herbicidas, (6) rentabilidad en uno o más aspectos de una granja de cultivos de ganado cuando otros aspectos son menos o no rentables (gestión de riesgos financieros), (7) uso fácilmente disponible de cultivos anuales por el ganado si los rendimientos o los precios son demasiado bajos para la cosecha convencional, y (8) potencialmente menos dependencia de los pagos del gobierno para sobrevivir financieramente.

La diversificación de los sistemas de producción en un predio le permite al agricultor generar diferentes tipos de ingresos y contar con estas alternativas frente a la pérdida de alguno de los cultivos por enfermedades o eventos climáticos o la disminución de la rentabilidad por la fluctuación de los precios. De acuerdo con Altieri & Nicholls, 2013 y Taylor, Koohafkan, Altieri, y Gimenez, 2013; se considera que los sistemas agrícolas diversificados son agroecosistemas complejos y presentan mayor integralidad y capacidad de resiliencia ante la ocurrencia de eventos climáticos extremos, la diversificación de los cultivos es una estrategia a largo plazo para proteger a los agricultores de los efectos ambientales.

4. Discusión

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar los sistemas biofísico, de decisión y operativo que interactúan en un agroecosistema en la cuenca del Río Grande y del Río Chico, con esta caracterización es posible entender la dinámica la toma de decisión de los productores frente a qué producir y cómo producir en la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico, mediante el análisis de la trayectoria de la cuenca que determinaron los usos del suelo y la dinámica de los agricultores y, mediante la identificación y relación de las variables tanto biofísicas, operativas y de decisión que integran un agroecosistema.

La formulación del Diagrama Causal de la Dinámica de los Agroecosistemas, evidencia las características que hacen parte de las decisiones de los productores que no sólo están influenciadas por las motivaciones económicas asociadas a los costos y ganancias de los sistemas representativos de la cuenca (Ganadería de leche, Cultivo tomate de árbol y Cultivo de papa), sino también por las motivaciones de carácter social y cultural, cómo la tradición, que determinan las características de la zona y la transferencia de conocimiento por generaciones, las experiencias que generan aversión, temor e incertidumbre frente a los resultados de la producción, la presencia de organizaciones que aseguran la compra del producto y motivación intrínsecas asociadas a las actitudes y las formas de ser del productor. Los resultados de esta investigación están en línea con los reportados Spicer, 2015, quien investigó sobre la dinámica de la toma de decisiones de pequeños agricultores en Zambia para representarlas en la forma de diagramas causales. En la interpretación de las entrevistas con los agricultores el autor encontró que las variables como la aversión al riesgo en escoger un tipo de cultivo específico debido a las fluctuaciones del precio; el valor de la tradición que tiene una fuerte influencia en los sistemas de producción y en la resistencia de cambiar los métodos de producción y el deseo de intentar otros métodos gracias a lo que han escuchado y observado de experiencias que han salido satisfactorias, son determinantes en el proceso de toma de decisiones de los pequeños agricultores en Zambia.

De acuerdo con el estudio realizado por Gasson (1973) una de las primeras autoras en enfatizar que (para los agricultores) la agricultura es más que solo dinero, afirmó que las metas dirigen el comportamiento de una persona hacia un fin deseado, identificando cuatro tipos de orientaciones: instrumental, social, expresiva e intrínseca. Asimismo, en una gran encuesta entre agricultores escoceses, Willock et al. (1999) identificaron cinco tipos de metas: éxito en la agricultura, sostenibilidad, calidad de vida, estatus y trabajo fuera de la finca. Concluyeron que, según la literatura, las siguientes actitudes impactan el comportamiento de los agricultores: logros en la agricultura, legislación, pesimismo, apertura en la agricultura, riesgo financiero, uso de químicos y medición de políticas. Los resultados de esta investigación son acordes con los reportados por Gasson (1973) y Willock et al. (1999) ya que se identificó que las características de los

agroecosistemas influye en la toma de decisión de los agricultores de la Cuenca del Río Grande y Río Chico, las cuales están orientadas por las dimensiones económicas, socioculturales e intrínsecas, tales como las formas de ser de los agricultores y su comportamiento frente a la incertidumbre y temor de posibles riesgos de pérdidas en la producción y financieras; la imagen positiva a partir de los éxitos en la agricultura, los lazos con la comunidad; el uso y aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos para sostener y mejorar la producción y la participación de eventos institucionales que pueden generar efectos en sus predios y sistemas de producción.

En la investigación de BERGEVOET (2011), desarrolló un modelo empírico, basado en la Teoría del Comportamiento Planificado utilizando datos recolectados por un cuestionario a 257 productores de leche en la parte norte de los Países Bajos, evidenció que las diferencias en las metas, objetivos y actitudes de los agricultores son un factor determinante del comportamiento, la teoría establece que el comportamiento de una persona es el resultado de sus metas e intenciones, actitudes, control conductual percibido y normas sociales. Las respuestas de los productores en la investigación de BERGEVOET (2011), revelaron que los factores como "Disfrutar mi trabajo", "Producir un producto bueno y seguro", "Trabajar con animales" y "Contribuir a una imagen positiva" fueron los objetivos más importantes, seguido de "Obtener un ingreso lo más alto posible" y los objetivos de menor importancia fueron "Tener suficiente tiempo libre" y "Desarrollar y mantener los valores de la naturaleza y el paisaje"; los factores identificados en dicha investigación dieron una idea de una amplia gama de objetivos de los productores de leche que son tanto económicos como no económicos. Acorde con lo anterior, en esta investigación la toma de decisiones de los productores de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico están influenciadas además de las motivaciones económicas (ganancias finales de los sistemas de producción), se pueden distinguir varias variables no económicas relacionadas. Estas son motivaciones intrínsecas, determinadas por las variables habilidad en la producción, disfruta como productor, imagen positiva como productor, consciencia de conservación y protección y averso al riesgo; y motivaciones socioculturales determinadas por las variables producción por tradición, experiencias en la producción tanto propias como por los vecinos, participación en eventos instituciones y organización de la comunidad.

La evaluación de las variables externas Evento Climático Extremos muestra un efecto directo sobre la productividad de los sistemas de producción, la presencia de algún evento climático extremos tales como el fenómeno El Niño y el fenómeno La Niña en la Cuenca repercute sobre la disminución de la productividad del agroecosistema, estos hallazgos van acorde con la investigación de De los Ríos Cardona (2015), quien analiza la vulnerabilidad de la ganadería de leche ante un evento climático extremo, el fenómeno La Niña que se presentó durante el periodo 2010-2011 en la Cuenca del Río Grande y Río Chico. La disminución de la productividad de leche se debió a la disminución de la disponibilidad de los pastos ya que no estaban en las condiciones óptimas por el aumento de la humedad, sumado el deterioro por el pisoteo; de igual manera, la producción se ve afectada por el gasto de energía de los animales como consecuencia de la formación de barro, la ocurrencia de enfermedades de las patas y el difícil tránsito a las salas de ordeño cuando el barro se endurece. Asimismo, Dávila & Vélez (2015), expone que los agricultores perciben que las condiciones climáticas extremas que más afectan su proceso productivo son los largos periodos de sequía (mayor a un mes) lo cual se asocia de manera inversa con el régimen pluviométrico, en tanto que

económicamente encuentran desventajas en los altos costos de producción y dificultades en el cumplimiento de los estándares de calidad por parte de la agroindustria ya que implican inversiones y gastos que poco se ven reflejadas en los precios de venta del producto.

En cuanto a la evaluación del efecto potencial de cambios en los Costos de los Insumos de la Producción tuvieron un efecto sobre las ganancias de los sistemas de producción, los agricultores se encuentran expuestos a las constantes fluctuaciones de los precios de los insumos para el sostenimiento de los sistemas de producción. Por otro lado, el análisis de las variables Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y Acceso a Seguros evidencia el efecto en la dinámica de los agroecosistemas, que aunque no generan ciclos de realimentación impulsa al cambio de los sistemas de producción tradicionales de monocultivos en la cuenca que se han establecido y mantenido debido a las trayectorias, motivaciones económicas, y la influencia del desarrollo cultural en la zona, a la implementación de sistemas de producción sostenibles que mitiguen los impactos y degradación de los servicios ecosistémicos, mediante la diversificación de las actividades agropecuarias en el predio, la adopción de sistemas silvopastoriles, conservación y restauración de bosques como áreas estratégicas de importancia ambiental en la zona para la provisión de los servicios ecosistémicos, proporcionando a los productores alternativas de ingresos. (Zeender, 2014) consideró la implementación de un PSA para proteger las microcuencas del departamento del Huila y un PSA para crear nuevas Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC). En el caso de la implementación de un PSA en conjunto con la implementación de actividades productivas sostenibles (cultivos sostenibles, ecoturismo y apicultura), se logró obtener resultados mejores en términos de protección del bosque y en la parte económica del departamento (sectores productivos, empleo e ingresos de las familias rurales). La influencia positiva de este escenario sobre la economía de estos sectores productivos se debe a la implementación de sistemas de cultivos alternativos Sistemas Agroforestales (SAF) y Sistemas Silvopastoriles (SSP), que mejoran la producción por hectárea. Además, los SAF y SSP, permiten aumentar la diversidad en la producción agropecuaria, diversificando también las fuentes de ingresos de los beneficiarios de este tipo de proyecto, lo que les brinda mayor seguridad que los sistemas de monocultivo, en caso de fluctuación de los precios del mercado. En términos de reducción de la pérdida de carbono del bosque, esta actividad permite evitar la emisión de 57.508.292 toneladas de dióxido de carbono equivalente, lo que corresponde a una deforestación evitada de 4.349 ha por año (Zeender, 2014).

Sin embargo, el estudio realizado por (Zeender, 2014) concluyó que, en efecto a lo largo de los 20 años de implementación, el PSA va a permitir asegurar un ingreso, mientras se implementan las actividades y se desarrollen los nuevos mercados y procesos de comercialización. Asimismo, en la investigación de Berrio Giraldo et al.(2019), en donde realiza un modelo de simulación que representa la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo en la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico, encuentra que los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales como instrumentos de conservación, protección y regulación ambiental son eficientes y representan una alternativa de ingreso para los productores cuando las ganancias se acercan a las que se obtienen a partir de los sistemas de producción característicos de la zona. Sumado a esto, los agricultores interesados en acceder a los esquemas deben cumplir con varios criterios, entre ellos: habitar como propietario o poseedor de algún ecosistema estratégico (bosque nativo, páramos, humedales, áreas declaradas en

conservación, corredores biológicos) con un área aproximada de 3 ha como mínimo; ser propietarios del predio y poseer la evidencia documental y tener un proyecto productivo sostenible.

Estudiar la dinámica de los agroecosistemas permite identificar y analizar la relación de variables que determinan los comportamientos que refuerzan y generan peso sobre la toma de decisiones de los agricultores, de esta forma es posible comprender los componentes tanto ambientales, económicos, socioculturales e intrínsecos que interactúan en el día a día de un agricultor de la Cuenca, entender las repercusiones de cada uno de estos y encontrar formas que rompan ciclos que conllevan al deterioro ambiental y el bienestar de los productores o que refuercen las condiciones para la sostenibilidad del sistema de producción.

5. Conclusiones

El Diagrama Causal de la dinámica de los agroecosistemas deja en evidencia la caracterización teniendo en cuenta las interrelaciones de las variables de los sistemas biofísico, operativo y de decisión de un agroecosistema; puesto que sus componentes biofísicos, interactúan con componentes económicos como los costos producción que afectan los rendimientos de los agroecosistemas, socioculturales como los objetivos de producción, los conocimientos y las expresiones de la cultura no sólo de los productores sino también de la región; dicho de otra forma, son el resultado de la coevolución entre los procesos sociales y naturales, de las interacciones entre los productores con sus conocimientos, su entorno biofísico y socio económico (Sarandón & Flores, 2014). Asimismo, refleja la importancia de entender la trayectoria en el que se encuentra inmerso un agroecosistema, permitiendo reconocer eventos importantes que marcan la dinámica de los usos del suelo generando una expresión territorial y espacial única que determina la configuración del paisaje (Brenner, Jiménez, Sardá, & Garola, 2010), y las dinámicas entorno al proceso de toma de decisiones de los productores frente a sus sistemas de producción, que no sólo están influenciados por motivaciones económicas sino también por motivaciones intrínsecas como las actitudes, la experiencia y las maneras de ser.

Debido a que la cuenca era una zona de actividad minera, la calidad del suelo no presenta óptimas condiciones para desarrollar sistemas de producción por lo tanto siempre ha estado acompañado del uso y aplicación de grandes concentraciones de fertilizantes orgánicos (porquinza) y/o fertilizantes químicos para obtener adecuado forraje y mejorar las condiciones del suelo para implementar las actividades de ganadería y cultivos, lo que aumentan los costos de producción ((CORANTIOQUIA, 2015b; Universidad Nacional de Colombia, 2012). Durante la salida de campo fue posible evidenciar que en ocasiones, los ganaderos siembran tomate de árbol en algunas hectáreas de sus predios con el fin de adecuar y mejorar el terreno para pasto y continuar con el sistema de producción de leche al cabo de dos (2) cosechas, los cultivos de tomate de árbol generalmente requieren de bastante mano de obra dependiendo de la tecnificación del sistema y contratan a los trabajadores por horas. Los productores con grandes áreas de producción y su debida comercialización cuentan con la capacidad técnica y económica para afrontar riesgos frente a enfermedad, perdidas parciales o totales Asimismo, fue posible observar que otra alternativa para adecuar el suelo para pasto ha sido el establecimiento de cultivos de papa, que ha ido creciendo significativamente en la zona como actividad económica, en donde el ganadero presta las áreas que requiere adecuar para pasto a productores tercerizados de papa que cuentan con experiencia para su producción. En la recolección de información en campo se logró identificar las variables que tienen mayor importancia en el proceso de toma de decisión de los agricultores en la Cuenca frente a qué y cómo producir, tales como la producción por tradición, la experiencia en la producción de los agricultores vecinos y la experiencia en la producción propia del productor, la aversión al riesgo frente al temor e

incertidumbre frente a sistemas de producción de los cuales no tienen conocimientos suficientes para su establecimiento, los costos de producción, las ganancias relacionadas al sistema de producción y la presencia de organizaciones compradoras del producto.

La formulación de cada uno de los Diagramas Causales de los sistemas biofísico, operativo y de decisión permite entender dinámica de los agroecosistemas de la Cuenca Hidrográfica Río Grande y Río Chico, mediante la identificación y análisis de las variables involucradas en la toma de decisión de los productores y como son sus interrelaciones en las cuales se generaron ciclos de realimentación, en donde se evidencia ciclos que refuerzan las dinámicas y que expone la resistencia a los cambios o ciclos que es necesario reforzar para la sostenibilidad del agroecosistema. Con la construcción de los Diagramas Causales se evidenció que el proceso de toma de decisión frente a qué, cómo y dónde producir está determinado por motivaciones económicas, motivaciones socioculturales y motivaciones intrínsecas; de esta forma se muestra la importancia y la necesidad de investigar más a fondo el comportamiento de los agricultores bajo metodologías de recolección de información en campo que permita entender esas variables y las relaciones que hacen parte del proceso de toma de decisión del agricultor y que determinan entre otras variables la dinámica de los agroecosistemas. Asimismo, la formulación de los Diagramas Causales de los sistema que integran un agroecosistema y la formulación del Diagrama Causal consolidado de la dinámica de los agroecosistemas mediante la relación de las variables claves de cada sistema, permite prever el posible efecto de variables externas mediante la interrelación con las variables identificadas y los cambios que se pueden generar en la dinámica de los agroecosistemas y el efecto sobre las decisiones de los agricultores frente a qué, cómo y dónde producir.

El análisis del efecto de las variables externas Eventos climáticos extremos, Costos de los insumos de la producción, Implementación de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y Acceso a Seguros en la dinámica de los agroecosistemas, permite observar el impacto en las variables del Diagrama Causal de la Dinámica de los Agroecosistemas y las alteraciones que se generan, como en la disminución de la productividad de los sistemas de producción, la disminución de las ganancias finales, alternativas de ingresos económicos mediante la conservación y protección de bosques convirtiéndose en una alternativa que compite en la preferencia de cada actividad económica y en la disminución de la aversión al riesgo para la diversificación de los sistemas de producción. Sin embargo, para evaluar el efecto de las variables externas en las dinámicas de los agroecosistemas es necesario realizar una modelación computacional que permita simular el comportamiento de la toma de decisión de los agricultores bajo estas variables externas.

La limitación de este estudio corresponde al número de agroecosistemas entrevistados, los cuales podrían ampliarse para realizar una validación en campo basada en un numero de muestra representativo en la zona de estudio. No sobra aclarar, que dicha limitación se debe a la situación actual de pandemia COVID-19 la cual dificulta el acceso a la zona de estudio.

Se espera, que para futuras investigaciones se tenga en cuenta esta caracterización y su dinámica de los sistemas biofísico, operativo y de decisión que integran un agroecosistema de forma general para realizar una modelación computacional que permita simular el comportamiento del agroecosistema para la toma de decisión de los agricultores bajo variables externas. Se sugiere ser desarrollada de

forma detallada en cada agroecosistema en la cuenca, en donde puede incluir o complementar variables que caractericen específicamente un agroecosistema de estudio.

Bibliografía

- Acevedo, M., Rosales, J., Delgado, L., Ablan, M., Davila, J., Callicot, J. B., et al. (2007). Modelos de interacción humano-ambiental: el enfoque de la Biocomplejidad. *Revista Ecosistemas*, 16(3), 56–68. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/93>
- Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., & Eriksen, S. (2004). *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*.
- Alexander, S. M., Andrachuk, M., & Armitage, D. (2016). Navigating governance networks for community-based conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(3), 155–164. <https://doi.org/10.1002/fee.1251>
- Alhameid, A., Ibrahim, M., Kumar, S., Sexton, P., & Schumacher, T. E. (2017). Soil organic carbon changes impacted by crop rotational diversity under no-till farming in South Dakota, USA. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 868–877. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.04.0121>
- Altieri, M. (2015). *Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables* (Issue June).
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1–3), 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático. *Agroecología*, 8(1), 7–20. [file:///C:/Users/PC/Downloads/182921-Texto del artículo-664981-1-10-20130923\(1\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/182921-Texto del artículo-664981-1-10-20130923(1).pdf)
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2004). A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective. *Ecology and Society*, 9(1), art18. <https://doi.org/10.5751/ES-00610-090118>
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Cambardella, C. A. (2004). The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1945–1962. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945>
- Banco Mundial. (2018). *Colombia Nota de Política sobre la Implementación del Seguro Agrícola Catastrófico*.
- Barreiro-Hurlé, J., Espinosa-Goded, M., & Dupraz, P. (2010). Does intensity of change matter? Factors affecting adoption of agri-environmental schemes in Spain. *Journal of Environmental*

- Planning and Management*, 53(7), 891–905. <https://doi.org/10.1080/09640568.2010.490058>
- Barton, C. M., Ullah, I. I., & Bergin, S. (2010). Land use, water and Mediterranean landscapes: Modelling long-term dynamics of complex socio-ecological systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1931), 5275–5297. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0193>
- Beare, M. H., Parmelee, R. W., Hendrix, P. F., Cheng, W., Coleman, D. C., & Crossley, D. A. (1992). Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecological Monographs*, 62(4), 569–591. <https://doi.org/10.2307/2937317>
- Belcher, K. W., Boehm, M. M., & Fulton, M. E. (2004). Agroecosystem sustainability: A system simulation model approach. *Agricultural Systems*, 79(2), 225–241. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(03)00072-6)
- BERGEVOET, R. H. M. (2011). *Entrepreneurship of Dutch dairy farmers*.
- Bergez, J. E., Debaeke, P., Deumier, J. M., Lacroix, B., Leenhardt, D., Leroy, P., et al. (2001). MODERATO: An object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. *Ecological Modelling*, 137(1), 43–60. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00431-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00431-2)
- Berrio Giraldo, L., Villegas Palacio, C., & Arango Aramburo, S. (2019). *MODELACIÓN DINÁMICA DE SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS. ANALISIS DE LA DINÁMICA EN EL CAMBIO DE COBERTURA DEL SUELO EN CUENCAS ESTRATEGICAS*.
- Berrouet, Lina Maria. (2018). *Vulnerabilidad de sistemas sociales frente a la modificación de servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas de media montaña*. 94.
- Berrouet, Lina María, Machado, J., & Villegas-Palacio, C. (2018). Vulnerability of socio—ecological systems: A conceptual Framework. *Ecological Indicators*, 84(February 2017), 632–647. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.051>
- Biggs, R., Schluter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., Burnsilver, S., Cundill, G., et al. (2012). *Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services*. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836>
- Blanco, C., & Carlos, J. (1982). *Procedimiento para hacer un eje o un friso cronológico*. 4–6.
- Blanco, J. (2008). Integrated Water Resource Management in Colombia : Paralysis by Analysis? *International Journal of Water Resources*, March 2008. <https://doi.org/10.1080/07900620701747686>
- Böhme, L., Langer, U., & Böhme, F. (2005). Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109(1–2), 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.017>
- Bolaños, I. (2017). *Percepción Social del Riesgo por Pérdida de Servicios Ecosistémicos – Caso de Estudio Cuenca del Río Grande, Antioquia*.
- Bolaños Valencia, I. V. (2017). *Percepción social del riesgo por pérdida de servicios ecosistémicos - caso de estudio cuenca de los ríos grande y chico, antioquia*. 151. <http://bdigital.unal.edu.co/61270/>

- Booth, L., & Sterman, J. D. (2000). *Bathtub dynamics : initial results of a systems thinking inventory*. 16(4), 249–286.
- Brenner, J., Jiménez, J. A., Sardá, R., & Garola, A. (2010). An assessment of the non-market value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain. *Ocean and Coastal Management*, 53(1), 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.10.008>
- Bulatkin, G. A. (2012). Analysis of energy flows in agroecosystems. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 82(4), 326–334. <https://doi.org/10.1134/S1019331612040089>
- Burton, R. J. F., & Wilson, G. A. (2006). Injecting social psychology theory into conceptualisations of agricultural agency: Towards a post-productivist farmer self-identity? *Journal of Rural Studies*, 22(1), 95–115. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2005.07.004>
- Cabel, J. F., & Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1). <https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- Calderón, A., García, F., & Martínez, G. (2006). Indicators of Raw Milk Quality in Different Regions of Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 725–737.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015a). *Manual de la Papa*.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015b). *Manual de Tomate de árbol*. [https://www.ccb.org.co/content/download/13726/175108/file/Tomate de árbol.pdf](https://www.ccb.org.co/content/download/13726/175108/file/Tomate%20de%20árbol.pdf)
- Cardona, H., & Estefany, P. R. (2018). *Análisis de redes sociales para la gobernanza del agua: caso cuenca Río Grande, Norte de Antioquia*. 1–43.
- Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., Defries, R. S., Diaz, S., et al. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(5), 1305–1312. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808772106>
- Carulla Fornaguera, J., & Ortega García, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83–87.
- Caso, E. L., & Módulo, D. E. L. (2008). Condiciones ambientales y producción de leche de un hato de ganado jersey en el trópico húmedo: el caso del Módulo Lechero-SDA/UCR. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 87–94.
- Castaño Giraldo, N. E., & Cardona Gómez, M. A. (2014). Factores determinantes en la inestabilidad del sector agrícola colombiano. *En Contexto*, 2, 91–107.
- Chapin, F. S., Kofinas, G. P., & Folke, C. (2009). Principles of ecosystem stewardship: Resilience-based natural resource management in a changing world. In *Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World* (Issue May 2014). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-73033-2>
- Chatelin, M. H., Aubry, C., Poussin, J. C., Meynard, J. M., Massé, J., Verjux, N., et al. (2005). DéciBlé, a software package for wheat crop management simulation. *Agricultural Systems*, 83(1), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.03.003>
- Cleves, A. (2018). *Resiliencia de agroecosistemas cítricos a la variabilidad climática en el*

Departamento del Meta , Colombia.

- Clouaire, R. M., & Rellier, J. P. (2009). Modelling and simulating work practices in agriculture. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, 4(1/2), 42. <https://doi.org/10.1504/IJMSO.2009.026253>
- COLANTA. (2012). *Manual para producir leche de calidad.*
- Collins, S. L., Carpenter, S. R., Swinton, S. M., Orenstein, D. E., Childers, D. L., Gragson, T. L., et al. (2011). An integrated conceptual framework for long-term social–ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(6), 351–357. <https://doi.org/10.1890/100068>
- Corantioquia. (2017). *INFORME DE AVANCE DE LA EJECUCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN “ POR EL PATRIMONIO AMBIENTAL DE NUESTRO TERRITORIO .”*
- CORANTIOQUIA. (2015a). *Caracterización Biofísica de la Cuenca del Río Grande y Río Chico.*
- CORANTIOQUIA. (2015b). *Caracterización Socioeconómica de la Cuenca del Río Grande y Río Chico.*
- Corantioquia, & Alcaldía de Santa Rosa de Osos. (2015). *Consolidación de iniciativas de conservación en el municipio de santa rosa de osos - antioquia.* 134.
- CORANTIOQUIA, & Universidad Nacional de Colombia. (2015). *Actualización y Ajuste Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca de los Ríos Grande y Chico.*
- Cros, M., Duru, M., Garcia, F., & Martin-clouaire, R. (2001). *Simulating rotational grazing management.* 27, 139–145.
- Cumming, G. S., Barnes, G., Perz, S., Schmink, M., Sieving, K. E., Southworth, J., et al. (2005). An exploratory framework for the empirical measurement of resilience. *Ecosystems*, 8(8), 975–987. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0129-z>
- DANE. (2016). Efectos del clima en la producción de la ganadería de leche. *Boletín Mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*, 10(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001452>
- Darghouth, S., Ward, C., Gambarelli, G., Styger, E., & Roux, J. (2008). Watershed management approaches, policies, and operations: Lessons for scaling up. *Water Sector Board Discussion Papers*, 11, 1–164. http://documents.worldbank.org/curated/en/2008/05/9608907/watershed-management-approaches-policies-operations-lessons-scaling-up%5Cnhttp://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2008/06/26/000020439_20080626162646/Rendered/PDF/442
- Dávila Betancurth, J. C. (2016). *Variables Explicativas de la Vulnerabilidad Biofísica y Socio Económica al Cambio Climático en Agroecosistemas de la Cuenca del Río Grande Antioquia.*
- Dávila, J. C., & Vélez, L. D. (2015). Vulnerabilidad ecológica y económica de sistemas especializados en producción de leche en la Cuenca del Río Grande – Colombia. *Congreso Latinoamericano de Agroecología*, 1–5.
- De Aranzabal, I., Schmitz, M. F., Aguilera, P., & Pineda, F. D. (2008). Modelling of landscape

- changes derived from the dynamics of socio-ecological systems. A case of study in a semi-arid Mediterranean landscape. *Ecological Indicators*, 8(5), 672–685. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.11.003>
- De los Ríos Cardona, J. C. (2015). *VULNERABILIDADE DA AGRICULTURA ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO GRANDE (ANTIOQUIA, COLÔMBIA): UMA ABORDAGEM A PARTIR DO TERRITÓRIO E DA RESILIÊNCIA DOS SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS*. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Dee, L. E., Allesina, S., Bonn, A., Eklöf, A., Gaines, S. D., Hines, J., et al. (2017). Operationalizing Network Theory for Ecosystem Service Assessments. *Trends in Ecology and Evolution*, 32(2), 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.011>
- Denisov, V. V. (2001). Development of the crop simulation system DIASPORA. *Agronomy Journal*, 93(3), 660–666. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.933660x>
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). Documento Conpes 3886. Lineamientos de política y programa nacional de pago por servicios ambientales para la construcción de paz. *Consejo Nacional de Política Económica y Social*, 94.
- Dougill, A. J., Fraser, E. D. G., & Reed, M. S. (2010). *Anticipating Vulnerability to Climate Change in Dryland Pastoral Systems: Using Dynamic Systems Models for the Kalahari*. <https://eprints.whiterose.ac.uk/URL:http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss2/art17/>
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas. teoría y práctica. In *United Nations Publications* (Vol. 1). <https://doi.org/1680-9025>
- Duque, G., & Escobar, C. (2012). Consolidación de suelos. *Mecánica de Los Suelos*, 80–109. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/10/cap9.pdf>
- Eivazi, F., Bayan, M. R., & Schmidt, K. (2003). Select soil enzyme activities in the historic Sanborn Field as affected by long-term cropping systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(15–16), 2259–2275. <https://doi.org/10.1081/CSS-120024062>
- Elsawah, S., Guillaume, J. H. A., Filatova, T., Rook, J., & Jakeman, A. J. (2015). A methodology for eliciting, representing, and analysing stakeholder knowledge for decision making on complex socio-ecological systems: From cognitive maps to agent-based models. *Journal of Environmental Management*, 151, 500–516. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.028>
- Emmerling, C., Schloter, M., Hartmann, A., & Kandeler, E. (2002). Functional diversity of soil organisms - A review of recent research activities in Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(4), 408–420. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200208\)165:4<408::AID-JPLN408>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200208)165:4<408::AID-JPLN408>3.0.CO;2-3)
- Escobar, D., Castro, F., Cuervo, B., Rodríguez, M., & Vargas, J. I. (2012). *Costos de Producción de Doce Productos Agropecuarios - Colombia*. 310.
- FAO. (2007). Adaptation to climate change in agriculture , forestry and fisheries : Perspective , framework and. *Interdepartmental Working Group on Climate Change*, 32pp. ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j9271e/j9271e.pdf%5Cnhttp://www.fao.org/NR/climpag/index_fr.asp
- FAO. (2017). *Seguros agrícolas para la agricultura familiar en américa latina y el caribe*.

Lineamientos para su diseño e implementación.
http://www.draplvt.mamaot.pt/DRAPLVT/Comunicacao/Noticias/Documents/seminario_Agricultura_rio_maior_2017/2_Seguros_agricolas_CA_Seguros.pdf

- Farm, N., Farm, N., Stewardship, C., Entry, O., Stewardship, L., & Government, U. K. (2012). Materials and Methods . Part 1 . Details of the study site Part 2 . Constructing the interaction networks. *Science*.
- Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Dahe, Q., Dokken, D. J., Ebi, K. L., et al. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. In *Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>
- Fierer, N., Strickland, M. S., Liptzin, D., Bradford, M. A., & Cleveland, C. C. (2009). Global patterns in belowground communities. *Ecology Letters*, 12(11), 1238–1249. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01360.x>
- Fischer, C., Leydesdorff, L., Schophaus, M., Dorland, J., Jørgensen, M. S., Chan, L., et al. (2010). The new political sociology of science: Institutions, networks, and power. In *Social Studies of Science* (Vol. 8, Issue 2). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001195>.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. In *Annual Review of Environment and Resources* (Vol. 30). <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- Fondevilla, C., Àngels Colomer, M., Fillat, F., & Tappeiner, U. (2016). Using a new PDP modelling approach for land-use and land-cover change predictions: A case study in the Stubai Valley (Central Alps). *Ecological Modelling*, 322(February), 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.11.016>
- Forrester, J. W. (1971). Counterintuitive behavior of social systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 3(C), 1–22. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(71\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(71)80001-X)
- Francis, C. (2010). Book review. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(4), 331–332. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.R9013>
- Franko, U., & Wilfried, M. (2001). *Integration of a Crop Growth Model with a Model of Soil Dynamics*. 93(June), 666–670.
- Galarza, F. B. (2009). *Choices under Risk in Rural Peru*. 17708.
- Gallopin Gilverto. (2013). Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico. In *nsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización. PPublicación de las Naciones Unidas : Vol. S.02.II.G*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- García-Leoz, V., Villegas, J. C., Suescún, D., Flórez, C. P., Merino-Martín, L., Betancur, T., et al. (2018). Land cover effects on water balance partitioning in the Colombian Andes: improved water availability in early stages of natural vegetation recovery. *Regional Environmental Change*, 18(4), 1117–1129. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1249-7>
- Gasson, R. (1973). And farmers. *Jornal of Agricultural Economics*, 24(3), 521–542.

- Gaviria, B. C. (2007). Calidad higiénica y sanitaria de la leche cruda. In *Fondo Editorial Biogénesis* (pp. 115–122).
- Geilfus, F. (2005). *80 herramientas para el desarrollo participativo: Diagnóstico, Planificación Monitoreo y Evaluación*.
- Gerber, P., Chilonda, P., Franceschini, G., & Menzi, H. (2005). Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia. *Bioresource Technology*, *96*(2), 263–276. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.016>
- Gerzabek, M. H., Antil, R. S., Kögel-Knabner, I., Knicker, H., Kirchmann, H., & Haberhauer, G. (2006). How are soil use and management reflected by soil organic matter characteristics: A spectroscopic approach. *European Journal of Soil Science*, *57*(4), 485–494. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00794.x>
- Giorgio Castellaro, G., Klee, G., & Chavarria R., J. (2007). Un modelo de simulación de sistemas de engorda de bovinos a pastoreo. *Agricultura Técnica*, *67*(2), 34. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072007000200006>
- Gormley, L. H. L., & Sinclair, F. L. (2003). Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central. *Agroforestería En Las Américas*, *10*, 103–108.
- Greiner, R. (2015). Motivations and attitudes influence farmers' willingness to participate in biodiversity conservation contracts. *Agricultural Systems*, *137*, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.04.005>
- Gunderson, L., & Holling, C. S. (2002). *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*.
- Hardner, J., & Rice, R. (2002). Rethinking Green Consumerism. *Scientific American*, 89–95.
- Hazell, P. et al. (2010). *El potencial para la ampliación y sostenibilidad de los seguros basados en índices climáticos para la agricultura y subsistencia rural*. 151.
- Hirji, R., & Davis, R. (2009). Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans, and Projects. *Water Resources*, *117*, 181. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7940-0>
- Holmann, F., & Rica, C. (2002). El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú* Using simulation models as a tool for promoting improved forages alternatives in. *Latinoam. Prod. Anim*, *10*(1), 35–45.
- Hörður V. Haraldsson. (2004). Introduction to System Thinking and Causal Loop Diagrams. In *Reports in Ecology and Environmental Engineering* (Issue January 2004).
- Hynes, S., & Garvey, E. (2009). Modelling farmers' participation in an agri-environmental scheme using panel data: An application to the rural environment protection scheme in Ireland. *Journal of Agricultural Economics*, *60*(3), 546–562. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2009.00210.x>
- Ifejika Speranza, C., Wiesmann, U., & Rist, S. (2014). An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social – ecological dynamics. *Global Environmental Change*, *28*, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.005>

- Ingram, J., Gaskell, P., Mills, J., & Short, C. (2013). Incorporating agri-environment schemes into farm development pathways: A temporal analysis of farmer motivations. *Land Use Policy*, *31*, 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.07.007>
- Jairo, Á. P. J. (2013). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL MICROCRÉDITO EN LA COOPERATIVA DE AHORRO Y CRÉDITO COLANTA*.
- Janssen, M. A., Bodin, Ö., Anderies, J. M., Elmqvist, T., Ernstson, H., McAllister, R. R., et al. (2006). Toward a Network Perspective of the Study of Resilience in Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, *11*(1). <https://doi.org/15>
- Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2006). Chapter 30 Governing Social-Ecological Systems. *Handbook of Computational Economics*, *2*(05), 1465–1509. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02030-7](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02030-7)
- Jaramillo Londoño, A. R., & Areiza Segura, A. M. (2012). *Análisis del Mercado de la Leche y Derivados Lácteos en Colombia (2008 – 2012)*.
- Kandeler, E., Stemmer, M., & Klimanek, E. M. (1999). Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*(2), 261–273. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00115-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00115-1)
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., et al. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, *61*. <http://nalcd.nal.usda.gov/catalog/16713>
- Kinoshita, R., Schindelbeck, R. R., & van Es, H. M. (2017). Quantitative soil profile-scale assessment of the sustainability of long-term maize residue and tillage management. *Soil and Tillage Research*, *174*(May), 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.05.010>
- Kronberg, S. L., & Ryschawy, J. (2018). Integration of crop and livestock production in temperate regions to improve agroecosystem functioning, ecosystem services, and human nutrition and health. In *Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00015-7>
- Kucharik, C. J. (2003). Evaluation of a process-based agro-ecosystem model (Agro-IBIS) across the U.S. Corn Belt: Simulations of the interannual variability in maize yield. *Earth Interactions*, *7*(14), 1–33. [https://doi.org/10.1175/1087-3562\(2003\)007<0001:EOAPAM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1087-3562(2003)007<0001:EOAPAM>2.0.CO;2)
- Kumar, A., Dorodnikov, M., Splettstößer, T., Kuzyakov, Y., & Pausch, J. (2017). Effects of maize roots on aggregate stability and enzyme activities in soil. *Geoderma*, *306*(October 2016), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.007>
- Kurukulasuriya, P., & Rosenthal, S. (2003). Climate change and agriculture. *Trends in Ecology and Evolution*, *6*(3), 101. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(91\)90186-2](https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90186-2)
- Lacitignola, D., Petrosillo, I., Cataldi, M., & Zurlini, G. (2007). Modelling socio-ecological tourism-based systems for sustainability. *Ecological Modelling*, *206*(1–2), 191–204. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.034>
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)*, *7*(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

- Lastra-Bravo, X. B., Hubbard, C., Garrod, G., & Tolón-Becerra, A. (2015). What drives farmers' participation in EU agri-environmental schemes?: Results from a qualitative meta-analysis. *Environmental Science and Policy*, 54, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.06.002>
- Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*, 160(4), 1686–1697. <https://doi.org/10.1104/pp.112.208298>
- Lu, M., Zhou, X., Luo, Y., Yang, Y., Fang, C., Chen, J., et al. (2011). Minor stimulation of soil carbon storage by nitrogen addition: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(1–2), 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.010>
- Machado, J., Villegas-Palacio, C., Loaiza, J. C., & Castañeda, D. A. (2019). Soil natural capital vulnerability to environmental change. A regional scale approach for tropical soils in the Colombian Andes. *Ecological Indicators*, 96(65), 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.060>
- Machado Vargas, M. M., Nicholls, C. I., Márquez, S. M., & Turbay, S. (2015). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porcè, Colombia, con un enfoque agroecológico. *Idesia (Arica)*, 33(1), 69–83. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292015000100008>
- MADS. (2018). *Decreto 1007 de 2018*. 1–10.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Grego, S. (2000). Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72(1), 9–17. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00094-2)
- Marinari, Sara, Mancinelli, R., Campiglia, E., & Grego, S. (2006). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, 6(4), 701–711. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.029>
- Marsiglia Rivera, S. M. (2017). *Capacidad adaptativa de los sistemas sociales ante la pérdida o deterioro de los servicios ecosistémicos*.
- Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., & Montes, C. (2009). Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante. *Cuides. Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*, 3, 229–258.
- Martin, G., Martin-Clouaire, R., Rellier, J. P., & Duru, M. (2011). A simulation framework for the design of grassland-based beef-cattle farms. *Environmental Modelling and Software*, 26(4), 371–385. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.10.002>
- Martínez, I., Chervet, A., Weisskopf, P., Sturny, W. G., Rek, J., & Keller, T. (2016). Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part II. Soil porosity and gas transport parameters. *Soil and Tillage Research*, 163, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.020>
- Martínez, J., & Esteve, M. (2007). Gestión integrada de cuencas costeras : dinámica de los nutrientes en la cuenca del Mar Menor (sudeste de España). *Revista de Dinámica de Sistemas*, 3(Marzo), 2–23.
- Mauricio, R. M., Ribeiro, R. S., Paciullo, D. S. C., Cangussú, M. A., Murgueitio, E., Chará, J., et al. (2018). Silvopastoral systems in latin america for biodiversity, environmental, and

- socioeconomic improvements. *Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*, 287–297. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00018-2>
- Mbizvo, C., Duraiappah, A., Koetz, T., Brondizio, E., Bartus, G., Roué, M., et al. (2014). The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Melland, A. R., Antille, D. L., & Dang, Y. P. (2017). Effects of strategic tillage on short-Term erosion, nutrient loss in runoff and greenhouse gas emissions. *Soil Research*, 55(3), 201–214. <https://doi.org/10.1071/SR16136>
- Merritt, W. S., Letcher, R. A., & Jakeman, A. J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*, 18(8–9), 761–799. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). *Balance de Gobierno Logros y Retos del Sector Agropecuario*.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural MADR. (2012). *Resolución 000017 de 2012* (p. 18).
- Ministerio de la Protección Social. (2006). Decreto Número 616 De 2006. *Ministerio de La Protección Social*, 2–32. <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1937.tb03385.x>
- Montealegre Bocanegra, J. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. *IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)*, 1–134. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Niño++La+Niña.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d>
- Murgueitio, E. R., Chará, J. O., Barahona, R. R., Cuartas, C. C., & Naranjo, J. R. (2014). Intensive Silvopastoral Systems (ISPS), mitigation and adaptation tool to climate change. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 501–507.
- Murphy, G., Hynes, S., Murphy, E., & O’Donoghue, C. (2014). An investigation into the type of farmer who chose to participate in Rural Environment Protection Scheme (REPS) and the role of institutional change in influencing scheme effectiveness. *Land Use Policy*, 39, 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.02.015>
- Nunes, M. R., van Es, H. M., Schindelbeck, R., Ristow, A. J., & Ryan, M. (2018). No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma*, 328(April), 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031>
- Orduño Torres, M. A., Kallas, Z., & Ornelas Herrera, S. I. (2018). *Analysis of Farmers’ Stated Risk Using Lotteries and Their Perceptions of Climate Change in the Northwest of Mexico*. <https://doi.org/10.3390/agronomy9010004>
- Osorio Múnera, J. D., García-tavera, L. M., Bustamante Ochoa, E. A., & Uribe Rivera, N. (2019). Optimización de uso del suelo acorde con restricciones ambientales y sociales: caso cuenca de Riogrande II. *Semestre Económico*, 22(52), 19–48. <https://doi.org/10.22395/seec.v22n52a2>

- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Pagiola, S., Agostini, P., Cees, G., Muhammad, H., Enrique, I., El, M., et al. (2004). Paying for Biodiversity Conservation Services in Agricultural Landscapes. *ENVIRONMENT DEPARTMENT PAPER*, 96.
- Pahl-wostl, C. (2002). *Towards sustainability in the water sector – The importance of human actors and processes of social learning*. 64, 394–411.
- Pannell, D. J. (1995). Economic aspects of legume management and legume research in dryland farming systems of southern Australia. *Agricultural Systems*, 49(3), 217–236. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(94\)00049-W](https://doi.org/10.1016/0308-521X(94)00049-W)
- Panpakdee, C., & Limmirankul, B. (2017). Kasetsart Journal of Social Sciences Indicators for assessing social-ecological resilience: A case study of organic rice production in northern Thailand. *Kasetsart Journal of Social Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2017.07.003>
- Pérez-Maqueo, O., Delfín, C., Fregoso, A., Cotler, H., & Equihua, M. (2005). Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos. *Gaceta Ecológica*, 76, 47–66.
- Pérez Gallardo, S. J. (2001). *MODELO PARA EVALUAR LA EROSION HIDRICA EN COLOMBIA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA*.
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2005). An environmental, energetic and economic comparison of organic and conventional farming systems. *Integrated Pest Management: Pesticide Problems, Vol.3*, 55(7), 141–166. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7796-5_6
- Pomar, C., Harris, D. L., Savoie, P., & Minvielle, F. (1991). Computer simulation model of swine production systems: III. A dynamic herd simulation model including reproduction. *Journal of Animal Science*, 69(7), 2822–2836. <https://doi.org/10.2527/1991.6972822x>
- Quesnel, G., Akplogan, M., Bonneau, M., Martin-Clouaire, R., Peyrard, N., Rellier, J. P., et al. (2015). Decision in agroecosystems advanced modelling techniques studying global changes in environmental sciences. *Developments in Environmental Modelling*, 27, 217–245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63536-5.00010-7>
- Ram, C. D., & Orrego, S. A. (2015). *Trayectorias de cambios en coberturas terrestres en una cuenca de los Andes colombianos: Río Grande, 1986-2012*. 4.
- Ramirez Guerra, S. (2018). *Retrospectiva del sector lácteo colombiano*.
- Ramírez León, J. M. (2009). *Producción de sedimentos en cuencas: revisión de criterios y aplicabilidad a la cuenca del río Apulco*. June 2009, 205.
- Rapidel, B., Ripoche, A., Allinne, C., Metay, A., Deheuvels, O., Lamanda, N., et al. (2015). Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1373–1390. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0317-y>
- Raskin, P. D. (2006). *World Lines : Pathways , Pivots , and the Global Future*.
- Reicosky, D. C., Sauer, T. J., & Hatfi, J. L. (2011). *Productivity and Environmental Quality : Tillage*

Impacts. 56267, 13–38. <https://doi.org/10.2136/2011soilmanagement.c2>

- Reyers, B., Biggs, R., Cumming, G. S., Elmqvist, T., Hejnowicz, A. P., & Polasky, S. (2013). Getting the measure of ecosystem services: A social-ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 268–273. <https://doi.org/10.1890/120144>
- Ríos, M. (2010). *Control biológico de la Antracnosis (Colletotrichum gloesporioides Penz) en tomate de árbol (Solanum betaceum) en el ecotipo: amarillo puntón, mediante hongos endofitos antagonistas*.
- Rodriguez-Iturb, I. (2000). Ecohydrology : A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resources Research*, 36(1), 3–9.
- Rotz, C. A., Buckmaster, D. R., & Comerford, J. W. (2005). A beef herd model for simulating feed intake , animal performance , and manure excretion in farm systems The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : A beef herd model for simulat. *Journal of Animal Science*, 83(June 2014), 231–242. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74032-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74032-6)
- Ruiz-Cortés, T., Orozco, S., Rodríguez, L., Idárraga, J., & Olivera, M. (2012). Factores Que Afectan El Recuento De Ufc En La Leche En Tanque En Hatos Lecheros Del Norte De Antioquia-Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, m*, 147–155.
- Scanlon, B. R., Gates, J. B., Reedy, R. C., Jackson, W. A., & Bordovsky, J. P. (2010). Effects of irrigated agroecosystems: 2. Quality of soil water and groundwater in the southern High Plains, Texas. *Water Resources Research*, 46(9). <https://doi.org/10.1029/2009WR008428>
- Schulte, R. P. O., Creamer, R. E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., et al. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science and Policy*, 38, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>
- Secretaría Jurídica de Bogotá. (2002). *Decerto 1729 de 2002*.
- Sepúlveda López, L. P. (2013). *Modelo para la definición de áreas estratégicas para la conservación de suelos a partir de la determinación de la susceptibilidad a la erosión hídrica*.
- Serrato, B., Díaz, R., & Bermúdez, L. (1999). *ÓPTIMO DE COBERTURA VEGETAL EN RELACIÓN A LAS PÉRDIDAS DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA Y LAS PÉRDIDAS DE LLUVIA POR INTERCEPTACIÓN*. January.
- Shi, T., & Gill, R. (2005). Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in China: The case study of Jinshan County with a systems dynamics model. *Ecological Economics*, 53(2), 223–246. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.08.006>
- Siebert, R., Toogood, M., & Knierim, A. (2006). Factors affecting european farmers' participation in biodiversity policies. *Sociologia Ruralis*, 46(4), 318–340. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00420.x>
- Soussana, J. F., & Lemaire, G. (2014). Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012>

- Spicer, J. (2015). Representation and Dynamic Implications of Mental Models of Food Systems. *33rd International Conference of the System Dynamics Society*.
- Srinivasa, C., Kareemulla, K., Krishnan, P., Murthy, G. R. K., Ramesh, P., Ananthan, P. S., et al. (2020). Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India: A conceptual framework. *Ecological Indicators*, June 2018, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.038>
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics; Systems thinking and modeling for a complex world* (p. 1008). <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601336>
- Sulemana, I., & James, H. S. (2014). Farmer identity, ethical attitudes and environmental practices. *Ecological Economics*, 98, 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.12.011>
- Tamayo M., P. J., Zapata P., J. L., & Salazar, L. F. (1999). El mosaico y la virosis del tomate de árbol en el Altiplano Norte de Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 52(2), 781–785.
- Tapasco, J. (2009). Formalización de un modelo de pago por servicios ambientales a nivel de cuenca y algunas de sus incidencias sobre la pobreza rural. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 6(63), 87–105.
- Thompson, J., & Scoones, I. (2009). Addressing the dynamics of agri-food systems: an emerging agenda for social science research. *Environmental Science and Policy*, 12(4), 386–397. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.03.001>
- Tran Thanh, A. (2018). *Dynamics of the Socio-Ecosystems of Riogrande basin, Antioquia, Colombia*.
- Ugarte, C. M., Kwon, H., Andrews, S. S., & Wander, M. M. (2014). A meta-analysis of soil organic matter response to soil management practices: An approach to evaluate conservation indicators. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69(5), 422–430. <https://doi.org/10.2489/jswc.69.5.422>
- Unger, P. W. (1992). Infiltration of simulated rainfall: tillage system and crop residue effects. *Soil Science Society of America Journal*, 56(1), 283–289. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010045x>
- Universidad Nacional de Colombia. (2012). *VALORACIÓN ECONÓMICA, ECOLÓGICA Y CULTURAL DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE. APROXIMACION CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA INFORME FINAL Contrato 8811 CORANTIOQUIA ESCUELA DE GEOCIENCIAS Y MEDIO AMBIENTE VALORACION ECONÓMICA, ECOLÓG. 547*.
- Uthes, S., & Matzdorf, B. (2013). Studies on agri-environmental measures: A survey of the literature. *Environmental Management*, 51(1), 251–266. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9959-6>
- Valencia-Pinzón, A. (2019). Insumos agropecuarios. *Ministerio de Agricultura*, 1, 1–23. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Documentos/5. LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA DE INSUMOS AGROPECURIOS.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Documentos/5.LINEAMIENTOS%20DE%20LA%20POLÍTICA%20DE%20INSUMOS%20AGROPECURIOS.pdf)
- Vargas Rodríguez, D. Y. (2018). *EVALUACIÓN DE ESQUEMAS DE PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES ASOCIADOS A ÁREAS ESTRATÉGICAS DEL RÍO MAGDALENA, MERCANTILISMO DE EMOCIONES*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Velázquez-torres, D. (2015). *Sistemas complejos adaptativos , sistemas socio- ecológicos y resiliencia*. 11–32.
- Velez, J. I. (2001). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Vélez, L. D., & Gastó, J. (1999). *Metodología y determinación de los estilos de agricultura en escala predial*.
- Verburg, P. H., van Berkel, D. B., van Doorn, A. M., van Eupen, M., & van den Heiligenberg, H. A. R. M. (2010). Trajectories of land use change in Europe: A model-based exploration of rural futures. *Landscape Ecology*, 25(2), 217–232. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9347-7>
- Villegas-palacio, C., Berrouet, L., López, C., Ruiz, A., & Upegui, A. (2016). Lessons from the integrated valuation of ecosystem services in a developing country : Three case studies on ecological , socio-cultural and economic valuation. *Ecosystem Services*, 22(October), 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.017>
- Walters, C. J. ., & Holling, C. . S. . (1990). *Large-Scale Management Experiments and Learning*. 71(6), 2060–2068.
- Willock, J., Deary, I. J., Edwards-Jones, G., Gibson, G. J., McGregor, M. J., Sutherland, A., et al. (1999). The role of attitudes and objectives in farmer decision making: Business and environmentally-oriented behaviour in Scotland. *Journal of Agricultural Economics*, 50(2), 286–303. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.1999.tb00814.x>
- Wunder, S. (2005). Payments for environmental services: some nuts and bolts. *CIFOR*, 9. <https://doi.org/10.17528/cifor/001765>
- Zeng, J., Liu, X., Song, L., Lin, X., Zhang, H., Shen, C., et al. (2016). Nitrogen fertilization directly affects soil bacterial diversity and indirectly affects bacterial community composition. *Soil Biology and Biochemistry*, 92(October), 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.09.018>
- Zhang, L., Nan, Z., Yu, W., & Ge, Y. (2015). Modeling Land-Use and Land-Cover Change and Hydrological Responses under Consistent Climate Change Scenarios in the Heihe River Basin, China. *Water Resources Management*, 29(13), 4701–4717. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1085-9>
- Zhang, Y., Li, C., Zhou, X., & Moore III, B. (2002). A simulation model linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. *Ecological Modelling* 151 (2002) 75-108, 151, 75–108. [https://doi.org/10.1016/s0304-3800\(01\)00527-0](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(01)00527-0)

A. Anexo: Formato de Encuesta a los Agricultores de la Cuenca

FICHA DE ENTREVISTAS		DINAMICA DE LOS AGROECOSISTEMAS BAJO EN EL ENFOQUE DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS - CUENCA DEL RÍO GRANDE							Versión 1	
AGROECOSISTEMAS										
Fecha		Hora de inicio						Hora de finalización		
Nombre de quien atiende la visita										
Cargo										
1. INFORMACIÓN DEL PREDIO										
Nombre del predio							Coordenadas			
Municipio										
Vereda										
Tamaño del predio		ha								
Tenencia de la tierra										
Propia		Ocupante		Arrendatario		otro		¿Cuál?		
Uso del suelo en el predio	USO			Área (ha)						
	Agricultura de subsistencia									
	Agricultura comercial									

	Ganadería								
	Porcícola								
	Bosque								
	Otro ¿Cuál?								
2. INFORMACIÓN RESPECTO AL SISTEMA BIOFÍSICO									
Dispone de fuentes de agua									
Propias		Acueducto		De otro predio					
¿Tiene permiso de concesión?									
Si		No		En proceso					
¿Tiene acceso a aguas subterráneas?									
Si		No							
¿Hace control de medición de calidad del suelo?									
Estudio de suelos		Otro		¿Cuál?					
¿Con que periodicidad?									
3 meses		6 meses		anual		Otro		¿Cuál?	
¿Con los resultados de la calidad del suelo, inciden en las concentraciones de aplicaciones de fertilizantes?									
Si		No							
¿La calidad del suelo afecta la productividad de su actividad económica?									
Si		No		¿Por qué?					
¿Realiza actividades de labranza?									
Si		No							
¿Cuenta con nacimientos o quebradas alternas (es decir que no use actualmente), en su predio, que le permitan proveerse de agua en una época de escasez?									
Si		No							
¿Tiene accesibilidad a nacimientos o quebradas alternas (es decir que no use actualmente), en predios vecinos, que le permitan proveerse de agua en una época de escasez?									
Si		No							

3. INFORMACIÓN RELACIONADA AL SISTEMA OPERATIVO									
¿La rotación de los potreros es menor a 30 días?									
Si		No							
Cuántas cabezas de ganado por potrero									
Qué tipo de Fertilización realiza									
Química		Orgánica		Mixta					
¿Realiza fertilización con porquinaza?									
Si		No							
¿Qué otro fertilizante orgánico aplica?									
Porcentaje de aplicación									
Químico		Orgánico							
Costo		Costo							
¿Cuál es el sistema de ordeño?									
Manual		Mecánico							
¿Dónde realiza el ordeño?									
Sala de ordeño		Potrero		Otro	¿Cuál?				
¿Tiene tanque de enfriamiento?									
Si		No		Propio		Comunitario			
¿Cómo realiza la reproducción del ganado?									
¿Cada cuanto realiza las actividades de manejo de plagas y enfermedades?									
De forma preventiva		De forma de control							
¿Cuenta con un área de almacenamiento para la cosecha? N/A									

Si		No							
En general la mano de obra utilizada para estas actividades es: (marque con una x la opción u opciones)									
Tipo	Marque con una x	Número de Personas empleadas	Tipo	Marque con una x	Número de Personas empleadas				
Familiar			Contratada (jornal)						
Contratada (fijo)			Otra _____						
¿La mano de obra es de la zona?									
Si		No							
¿La mano de obra es para cada una de las actividades económicas o mixta?									
¿Los costos de producción son mayores a los rendimientos netos?									
Si		No							
4. INFORMACIÓN EN RELACIÓN CON EL SISTEMA SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL									
¿Qué cooperativa le compra la leche?									
COLANTA		ALPINA		Otro		¿Cuál?			
¿Hace cuánto le vende la leche a la cooperativa?									
¿Tiene crédito?									
Si		No							
¿En qué invierte el crédito obtenido?									
Tanque de enfriamiento		Sistema de ordeño							
Mejoramiento de infraestructura		Sistema de riego							
Otro		¿Cuál?							
¿Recibe subsidio?									
Si		No							

Para la producción		Para conservación						
¿Recibe asesoría técnica por parte de las UMATAS?								
Si		No		Otra		¿Cuál?		
5. OBSERVACIONES								

B. Anexo: Validación revisión de cada una de las variables de la Dinámica de los Agroecosistemas.

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
Biofísico	Calidad del suelo		→	Fertilización Química	<i>kg/ha</i>	El suelo no es un recurso renovable, juega un papel clave en el apoyo a la producción agrícola y tiene varias funciones, incluida la regulación del agua, el ciclo de nutrientes, el soporte del hábitat y la regulación del clima (Schulte et al., 2014). El concepto de calidad del suelo es relevante al evaluar y monitorear la "capacidad del suelo para funcionar"(Karlen, D.L. et al., 1997), reconoce las funciones del suelo en: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Karlen, D.L. et al., 1997), es decir, para proporcionar servicios ecosistémicos (Andrews et al., 2004)
			→	Fertilización Orgánica	<i>kg/ha</i>	
			→	Productividad Papa	<i>ton/ha</i>	
			→	Productividad Tomate de Árbol	<i>ton/ha</i>	
			→	Productividad Leche	<i>L/vaca/día</i>	

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
	Pasto	(ha)	→	Calidad del suelo		<p>Dependiendo de la especialización e intensificación de las granjas, puede coexistir una diversidad de sistemas de cultivo con distintas combinaciones de prácticas agrícolas, incluida la aplicación de estiércol y la introducción de pastizales (pastos o campos de heno) en la rotación de cultivos en un área determinada de stock de cultivo vivo (Akka-Corfini, Menasseri-Aubry, Rieux, Le Naour, & Viaud, 2014). A nivel regional, la intensificación de la producción ganadera tiende a separar la producción de granos y ganado, favoreciendo un cambio hacia granjas a escala industrial (Gerber et al., 2005) ,la evaluación integrada de la calidad del suelo en estas áreas es altamente tópica ya que se ha demostrado que los sistemas especializados de cultivos y ganado tienen efectos negativos en el medio ambiente, especialmente en los suelos (Pimentel & Burgess, 2005; Soussana & Lemaire, 2014). La degradación del suelo puede ser explicada por la competencia entre diferentes formas de utilización o aprovechamientos, de manera que el excesivo uso o varias de las funciones asociadas al suelo serán a costa o riesgo de las otras (López, 2002). Es así que cuando se establece competencia entre diferentes usos de la tierra, que privilegian una función sobre otra, pueden desarrollarse desequilibrios que explican los factores y causas de la degradación del suelo (Sepúlveda López, 2013). Como en el caso de la Cuenca del Río Grande y Chico, el establecimiento de monocultivos, la extensión de la franja agropecuaria que genera presión sobre los bosques nativos y el uso excesivo de insumos, como los fertilizantes, para aumentar la productividad a corto plazo, generan alteraciones negativas en las propiedades del suelo.</p> <p>En la Cuenca Río Grande se practican técnicas de monocultivo sin ningún tipo de rotación, lo cual ha contribuido a la degradación y empobrecimiento de los suelos, además de la contaminación de las aguas por la inadecuada disposición de excretas, basura, abonos orgánicos y mal uso de plaguicidas (CORANTIOQUIA, 2015b)</p>
	Cultivo Papa		→			
	Cultivo Tomate de Árbol		→			
	Bosque	(ha)	+ →	Calidad del suelo		<p>Los bosques La cobertura vegetal cumple una importante función en la conservación de los suelos, tanto para mitigar la degradación del suelo como para mantener la calidad del mismo, al cubrirlo con su follaje protegiéndolo de las gotas de lluvia, permitir el aumento de</p>

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						contenido de materia orgánica, disminuir la evaporación del agua en la superficie del suelo y amarrar el suelo con sus raíces contrarrestando el desprendimiento y arrastre de material (Pérez Gallardo, 2001; Serrato et al., 1999). El reemplazo de bosques naturales por vegetación de menor estatura se ha asociado previamente con cambios en la permeabilidad del suelo (Hassler et al. 2011), aumento de la escorrentía instantánea (Suescún et al. 2017)
	Pasto	(ha)	+	Oferta superficial agua	m^3/s	Tanto las coberturas vegetales como la precipitación definen la oferta de agua superficial como servicio ecosistémico (Berrio Giraldo et al., 2019). La vegetación juega un papel clave en el ciclo hidrológico a través de sus efectos en el continuo suelo-atmósfera y a través de su papel en las interacciones entre los componentes superficiales y subsuperficiales del balance hídrico (Rodríguez-Iturb, 2000). Estudios como el de (García-Leoz et al., 2018) encontraron que, a mayor intervención antrópica en las coberturas, la capacidad de los ecosistemas para regular la función hidrológica se pierde progresivamente en la cuenca del Río Grande, los tipos de cobertura de vegetación natural tienen un mayor potencial para mantener la disponibilidad de agua, como lo demuestra la menor variabilidad del almacenamiento de humedad del suelo y los flujos hidrológicos tanto dentro como entre estaciones. Se toma como referencia el capítulo 4 de la tesis doctoral de Berrio Linda (2018) en donde realiza el modelo causal de la dinámica de la oferta de agua superficial, donde hace uso del mediante el uso del Modelo distribuido de Tanques o el Modelo de Simulación Hidrológica Abierta propuesto por Velez, (2001), en donde la vegetación intercepta la cantidad de lluvia a la superficie del suelo, mediante la retención por capilaridad, agua que se retiene en el nivel superior del suelo por fuerzas capilares y que es utilizada por las plantas para sus procesos fisiológicos. De este tanque sale agua por evapotranspiración o sigue en curso el agua que no es retenida.
	Cultivo Papa					
	Cultivo Tomate de Árbol					
	Bosque					
	Precipitación	(mm)	-	Calidad del suelo		Diversos autores definen la erosión del suelo como la remoción del material superficial por acción del viento o del agua, o como el desprendimiento y transporte y depositación de partículas de la superficie debido a la acción hídrica y eólica (Duque & Escobar, 2012;

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						<p>Merritt et al., 2003; Ramírez León, 2009). Según lo anterior, se considera entonces la erosión hídrica del suelo como la remoción, transporte y depositación del material superficial por acción del agua, la cual se produce cuando dichos procesos de remoción de la superficie se dan a una tasa mayor que de la formación (Sepúlveda López, 2013). Cuando se presenta erosión hídrica, las gotas de lluvia compactan la superficie del suelo, y las salpicaduras y el flujo del agua desprenden las partículas. Estos procesos suelen sellar la superficie del terreno, disminuyendo la capacidad de infiltración del agua en el suelo y aumentando la escorrentía (Kirbky, Morgan, & R., 1984). Asimismo, se genera un esfuerzo cortante en la superficie del suelo con el flujo superficial del agua, el cual, al exceder la fuerza de cohesión, desprende los sedimentos (Merritt et al., 2003). Lo anterior, contribuye a generar una degradación de los suelos al deteriorar su estructura y productividad, proceso que se agudiza cuando además de los factores físicos propios del medio natural, intervienen las actividades antrópicas poco sostenibles y realizadas sin medidas de conservación (Sepúlveda López, 2013).</p> <p>En el capítulo 4 de la tesis doctoral de Berrio Linda (2018) se evidencia la modelación causal de la erosión hídrica basada en la investigación de (Sepúlveda López, 2013) donde hace uso y valida el modelo de la Ecuación Universal de la Perdida del Suelo para la Cuenca del Río Grande y Chico</p>
			+ →	Oferta superficial agua	m^3/s	<p>2.151,4 mm es la precipitación media anual para la cuenca hidrográfica de los ríos Grande y Chico con el régimen de precipitación bimodal que caracteriza la región Andina; lo cual indica una precipitación pluvial alta, gracias a las características del altiplano norte de Antioquia, superando en todo lugar un mínimo de 1.500 mm/año y por debajo de 3.500 (CORANTIOQUIA, 2015a). La oferta hídrica superficial de una cuenca representa el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. La oferta hídrica natural disponible resulta de sustraer a la oferta hídrica superficial el agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales. En síntesis, es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades</p>

Subsistema	Variable	Unidad	Relación 	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						sociales y económicas del hombre (IDEAM, 2010). Para evaluar la oferta que se produce en una cuenca hidrográfica por medio de la escorrentía se debe considerar entre otras cosas las diferentes escalas temporales y climáticas como los ciclos de precipitación, evapotranspiración y el área. No obstante, es de suma importancia considerar los eventos extremos como caudales mínimos que son los que dan cuenta de las disponibilidades hídricas para los periodos de estiaje y de los caudales máximos que, aunque no corresponden a eventos críticos se tornan importantes en la gestión del riesgo para el diseño de obras de ingeniería. La oferta hídrica total superficial de la cuenca es de 59,44 (m ³ /s) (CORANTIOQUIA, 2015a)
Operativo	Labranza (arado)			Calidad del suelo		El manejo del arado se practica normalmente para incorporar materiales de superficie y mejorar temporalmente las condiciones físicas del suelo para el establecimiento y crecimiento de la planta (Nunes et al., 2018). La labranza generalmente perturba al menos 15–25 cm de la superficie del suelo y reemplaza los horizontes del suelo de superficie estratificada con una zona labrada más homogénea con respecto a las características físicas y la distribución de residuos (Beare et al., 1992). Los cambios en el suelo por la labranza intensiva en realidad pueden hacer daño a largo plazo al degradar el suelo para el crecimiento de los cultivos y aumentar el potencial de degradación ambiental (Lal, 2015; Reicosky et al., 2011), puede disminuir la estabilidad de los agregados del suelo y la macroporosidad del suelo, aumentar la compactación del suelo en el subsuelo (Kinoshita et al., 2017), promover la formación de costras en la superficie del suelo después de la labranza (Unger, 1992) y perjudicar las propiedades biológicas del suelo (Alhameid et al., 2017; Kumar et al., 2017; I. Martínez et al., 2016).
	Fertilización Química	kg/ha		Calidad del suelo		Toda práctica agrícola puede influir en la calidad del suelo, ya sea de manera positiva o negativa (Emmerling et al., 2002). Entre las diferentes prácticas agrícolas, el manejo de enmiendas orgánicas y fertilizantes minerales podría tener un impacto importante en la fertilidad del suelo y el estado de calidad, influyendo en la cantidad y calidad de los residuos orgánicos y los aportes de nutrientes tienen un impacto importante en la fertilidad del suelo y el estado de calidad,

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						<p>influyendo en el cantidad y calidad de residuos orgánicos e insumos de nutrientes que ingresan al suelo y la velocidad a la que se descomponen los residuos y la materia orgánica (Gerzabek et al., 2006).</p> <p>Los cambios inducidos por el fertilizante en la comunidad microbiana resultan directamente de una mayor disponibilidad de nutrientes e indirectamente a través de cambios en el C, el pH u otras propiedades del suelo (Fierer et al., 2009; Zeng et al., 2016), los fertilizantes inorgánicos, particularmente la urea, típicamente disminuyen la biomasa microbiana total en los sistemas agrícolas (Lu et al., 2011).</p>
Fertilización Orgánica		kg/ha	+ →	Calidad del suelo		<p>El uso del estiércol animal ha sido una práctica común durante siglos en la agricultura tradicional y sus efectos beneficiosos sobre el estado químico, físico y biológico del suelo han sido bien documentados (Böhme et al., 2005; Eivazi et al., 2003; Fischer et al., 2010; Kandelers et al., 1999; S. Marinari et al., 2000; Sara Marinari et al., 2006). El uso de fertilizantes orgánicos puede aumentar el contenido de carbono orgánico del suelo (SOC) y mejorar las propiedades físicas del suelo (Ugarte et al., 2014)</p>
			- delay →	Calidad del suelo		<p>Los fertilizantes orgánicos (por ejemplo, estiércol) generalmente aumentan la biomasa microbiana del suelo (Böhme et al., 2005) pero también puede causar un enriquecimiento excesivo de nutrientes y alterar la calidad del agua, dependiendo de las otras prácticas agrícolas implementadas en el campo (Ugarte et al., 2014). En la cuenca del Río Grande y Chico la porcinoza es utilizada para fertilizar los potreros y aunque la práctica suple la necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados, esta causa en el suelo un desequilibrio químico y microbiológico que modifica el pH natural del mismo con la tendencia de acidificarlo más (CORANTIOQUIA, 2015b)</p>
Alquiler de la tierra		\$/ha	+ →	Costos Producción Pasto-Leche	\$/L	<p>La propiedad de la tierra es una garantía de estabilidad, reduce los costos de producción y constituye un elemento esencial en la reproducción social de la familia campesina. La tenencia de la tierra es uno de los elementos básicos de la estructura agraria y es esencial para la supervivencia del campesinado. Si bien el acceso a la tierra es necesario para reducir la pobreza rural, acceder al capital es</p>
				Costos Producción Papa	\$/ha	
				Costos Producción Tomate de Árbol	\$/ha	

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						igualmente importante para asegurar la competitividad de la agricultura familiar campesina (Machado Vargas et al., 2015). El alquiler de la tierra genera costos fijos al agricultor
	Calidad de la Leche		+ →	Ingresos Pasto- Leche	\$/l	Se define por calidad de la leche, a las características nutricionales y microbiológicas; las características nutricionales se definen como el porcentaje de los diferentes constituyentes químicos como: proteínas, grasa, lactosa, minerales, vitaminas, sólidos no grasos y sólidos totales entre otros. La calidad microbiológica se refiere a la concentración de las bacterias de la leche, presencia de microorganismos patógenos, de residuos de antibióticos y medicamentos (inhibidores); que pueden afectar la salud humana y los procesos de transformación de la leche (Calderón et al., 2006). El Decreto 616 de 2006 establece los valores de unidades formadoras de colonias (UFC) permisibles para su venta (Ministerio de la Protección Social, 2006). La resolución 000017 de 2012 reglamenta el pago de la calidad de la leche cruda al productor primario sobre la base de parámetros de calidad composicional, sanitaria e higiénica (Ministerio de agricultura y desarrollo rural MADR, 2012)
			+ →	Bonificación	\$/l	La resolución 000017 de 2012 reglamenta el pago de la calidad de la leche cruda al productor primario sobre la base de parámetros de calidad composicional, sanitaria e higiénica, bonificando los conteos bajos de Unidades Formadoras de Colonia UFC<200.000 en unidad de miles de UFC/mL y penalizando los recuentos altos medición realizada por la empresa acopiadora para definir las bonificaciones (Ministerio de agricultura y desarrollo rural MADR, 2012)
	Calidad de Leche Mejorada Deseada		+ →			Las tendencias a mejorar la composición de la leche sugieren que las políticas de pago por calidad son efectivas para estimular la mejora (Carulla Fornaguera & Ortega García, 2016). los productores se ven presionados a implementar y/o mejorar la tecnificación en sus sistemas de producción agropecuaria para mantener la calidad de leche o mejorarla con el fin de ser beneficiarios de dichas bonificaciones y aumentar la rentabilidad del producto.
	Tecnificación en producción leche		+ →	Calidad de la leche		En la tecnificación para la producción de leche, entran parámetros como el sistema de ordeño, el almacenamiento de la leche, la reproducción del ganado y la dieta.

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						Las distintas fuentes de contaminación de la leche al momento del ordeño y las condiciones de tiempo y de temperatura de almacenamiento, antes de llegar a la planta de recepción, definen el número de bacterias por mililitro, que en este momento se convierten en la población inicial para todos los procesos industriales, a que se destine esta materia prima (Gaviria, 2007). El tiempo transcurrido desde el ordeño hasta llegar al tanque sin alcanzar la cadena de frío es un punto crítico para el conteo de Unidades Formadoras de Colonia (UFC), ya que aumentaría el riesgo de proliferación bacteriana; en los predios con ordeño manual, se presentan valores de conteo bacteriano, que se distribuyen, tanto por encima como por debajo de la moda de 70000 UFC. El ordeño mecánico en potrero sólo presenta valores por debajo de 70000 UFC, así como el mecánico en establo, que arrojó en su mayoría conteos por debajo de la moda (Ruiz-Cortés et al., 2012).
			+ →	Productividad Leche	L/vaca/día	Las explotaciones altamente tecnificadas con uso de fertilizantes y de mucha suplementación alimenticia (7-8 kg/d) pueden alcanzar producciones promedio por vaca superiores a 27 L/d y 25 000 L/ha/año (Carulla Fornaguera & Ortega García, 2016). La estrategia genética es la más fácil de adelantar en la lechería especializada ya que aquí se tiene información sobre los toros y hay uso de inseminación artificial (Carulla Fornaguera & Ortega García, 2016), la práctica que más se difunde en la actualidad es la utilización de cruces con el fin de obtener mayores contenidos de grasa, proteína, lactosa y menor recuento de células somáticas (Dávila Betancurth, 2016)
			+ →	Costos Producción Pasto-Leche	\$/L	los productores se ven presionados a implementar y/o mejorar la tecnificación en sus sistemas de producción agropecuaria para mantener la calidad de leche o mejorarla con el fin de ser beneficiarios de dichas bonificaciones y aumentar la rentabilidad del producto.
	Requerimiento Almacenamiento Leche		+ →	Tecnificación en producción leche		Un adecuado enfriamiento y almacenamiento que asegura la estabilidad en la calidad de la leche y consecuentemente, precios de la leche más altos y estables. La calidad del producto (leche) en su origen es tenido en cuenta, por lo tanto, cuando la leche que procesa tiene un adecuado nivel higiénico sanitario desde el predio. Asimismo,

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						bonifica al productor de acuerdo con la calidad de su producto. Para disfrutar de estas bonificaciones especiales por calidad higiénica y sanitaria, es indispensable contar con un tanque de enfriamiento en la finca y se recomienda la implementación de ordeños mecánicos que faciliten las labores y eliminen el contacto del producto con el medio ambiente (COLANTA, 2012).
	Bonificación	\$/l	+ →	Ingresos Pasto-Leche	\$/l	La resolución 000017 de 2012 autoriza el uso de bonificaciones de acuerdo a los parámetros de la leche, estas bonificaciones son establecidas por las empresas acopiadoras (Ministerio de agricultura y desarrollo rural MADR, 2012) La calidad del producto (leche) en su origen es tenido en cuenta, por lo tanto, cuando la leche que procesa tiene un adecuado nivel higiénico sanitario desde el predio. Asimismo, bonifica al productor de acuerdo con la calidad de su producto (COLANTA, 2012).
	Mano de obra		→	Productividad Costos de producción	\$/ton/ha	Es la mano de obra, la cual se refiere al cociente promedio entre el número de operaciones agrícolas y la cantidad de mano de obra requerida para ese número de labores (Meews, ploegs y Wiejermans, 1988; citados por Vélez y Gastó, 1998)
	Endeudamiento		+ →	Tecnificación en producción leche		El impacto positivo encontrado en el número de litros de leche vendidos muestra una relación entre el crédito otorgado por Cooperativa de Ahorro y Crédito Colanta y las ventas de leche de sus asociados. El impacto positivo refleja como el crédito contribuye a que las ventas de leche por parte de los productores aumenten (Jairo, 2013). Cooperativa (COLANTA), ofrece los créditos con el fin de alentar a los productores la implementación y uso de tecnologías
	Efectividad de manejo de plagas y enfermedades	%	+ →	Costos Producción Pasto-Leche	\$/L	Económicamente, en la agricultura, las cargas incluyen la necesidad de suministrar a los cultivos insumos externos costosos, porque los agroecosistemas son privados de componentes funcionales reguladores básicos carecen de la capacidad de patrocinar su propia fertilidad del suelo y la regulación de plagas. A menudo, los costos implican una reducción en la calidad de vida debido a la disminución

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
			→	Costos Producción Papa	\$/ha	de la calidad del suelo, el agua y los alimentos cuando se produce contaminación por pesticidas y/o nitratos.(M. A. Altieri, 1999). Los agricultores modernos han seleccionado cultivos para obtener altos rendimientos y alta palatabilidad, haciéndolos más susceptibles a las plagas al sacrificar la resistencia natural por la productividad. Mientras la estructura de los monocultivos se mantenga como la base estructural de los sistemas agrícolas, los problemas continuarán persistiendo. Por lo tanto, el principal desafío para quienes abogan por el manejo ecológico de plagas es encontrar estrategias para superar los límites ecológicos impuestos por los monocultivos (Altieri M; Nicholls C, 2000)
				Costos Producción Tomate de Árbol	\$/ha	
	Enfermedades		+	Cosecha Papa	ton	La cosecha se debe realizar en horas de la mañana y en tiempo seco; el arranque de los tubérculos se realiza de manera manual, generalmente con azadón o mediante máquinas como las de cadenas y de aspas. Los tubérculos recolectados deben ser extendidos y expuestos al sol durante dos horas para que se sequen y se estimule así la suberización del apile del tubérculo. Clasificación: formar grupos de frutas que presentan las mismas características físicas como tamaño y color. Esta actividad es clave para la comercialización ya que facilita el cálculo del precio del producto
				Cosecha Tomate de Árbol	ton	
Cultural y Social	Tradición		→	Preferencia Ganadería Leche Averso al Riesgo		tradición involucra todos los factores culturales y/o valores intrínsecos que existen en torno a cada cobertura vegetal y que se transmiten de generación en generación dentro de una comunidad (Berrio Giraldo et al., 2019), en la cuenca de Río Grande, algunas investigaciones han encontrado que en algunos casos los pequeños productores se dedican a la actividad ganadera porque se identifican culturalmente con dicha actividad o porque sus ancestros se dedicaron a esta (Universidad Nacional de Colombia, 2012). Algunos predios de la cuenca son muy antiguas, que han pertenecido a las familias de los propietarios durante décadas (los productores actuales no pueden decir quién comenzó: antes que los abuelos). Por lo tanto, las familias han estado en la cuenca por varias generaciones (Tran Thanh, 2018). La sola maximización de las utilidades como marco conceptual para explicar la conducta del agricultor no es un criterio adecuado para predecir la toma de decisiones en los sistemas de producción y

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						cambios de cobertura (Allub, 2001), La fuerza decisiva que orienta el proceso de toma de decisiones de las unidades campesinas es, entonces, la aversión al riesgo o incertidumbre y no el principio de la maximización de las utilidades (Lipton,1968). Es por eso que el apego a las "técnicas tradicionales" no son actitudes irracionales sino formas probadas de minimizar la incertidumbre para evitar la pérdida total y, en consecuencia, su desintegración como unidades productivas (Cáceres, 1994:2-3).
	Aversión al riesgo		→	Preferencia Tomate de Árbol Preferencia Papa		Los primeros estudios experimentales centrados en la toma de decisiones bajo incertidumbre revelaron que el predominio de los individuos es reacio al riesgo (Binswanger 1980). La evidencia experimental reciente ha proporcionado una comprensión más profunda de las características específicas de cada individuo relacionadas con los diferentes grados de niveles observados de aversión al riesgo y la relación con los resultados económicos. Los ejemplos incluyen una evaluación del vínculo entre las preferencias de riesgo a nivel individual y las características sociodemográficas (Harrison, Lau y Rutström 2007), las habilidades cognitivas (Dohmen et al. 2010) y los atributos de personalidad (Eckel y Grossman 2008). La sola maximización de las utilidades como marco conceptual para explicar la conducta del agricultor no es un criterio adecuado para predecir la toma de decisiones en los sistemas de producción y cambios de cobertura (Allub, 2001), La fuerza decisiva que orienta el proceso de toma de decisiones de las unidades campesinas es, entonces, la aversión al riesgo o incertidumbre y no el principio de la maximización de las utilidades (Lipton,1968).
	Experiencia en la producción del productor		→	Aversión al Riesgo		La experiencia de los agricultores que se han dedicado a un mismo sistema de producción a lo largo de su vida y han adquirido el conocimiento debido a su manejo, sumado al traspaso de conocimiento de generaciones anteriores, así como también de la vereda y/o zona a la que hace parte y se caracteriza por los mismos sistemas de producción; esta experiencia el gozo que le genera el estilo de vida como productor fomenta la capacidad del manejo y conocimiento traducidos en la habilidad en la producción

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
	Experiencia en la producción vecinos		→	Aversión al Riesgo		se relaciona con la imagen positiva como productor, esto debe a que la capacidad que ha adquirido en los sistemas de producción se ven reflejado en los resultados como en mantener su productividad, realizar prácticas innovadoras en la producción, pasar y distribuir su conocimiento frente a esas prácticas y frente a sus experiencias en la producción que puedan ayudar a los demás productores en la toma de decisión para el mejoramiento de sus sistemas de producción, generan una percepción de aceptación y respeto por parte de la comunidad de agricultores
	Habilidad en la producción		→	Experiencia en la producción del productor.		La experiencia el gozo que le genera el estilo de vida como productor fomenta la capacidad del manejo y conocimiento traducidos en la habilidad en la producción.
	Participación en eventos institucionales		→	Organización de la Comunidad		Contar con nuevos conocimientos claros y efectivos proporciona capacidad de toma de decisiones en las actividades productivas y facilita la acción colectiva necesaria para responder a las perturbaciones y cambios en los SSE. Las capacitaciones brindadas acerca del ecosistema y las actividades productivas fomentan el aprendizaje continuo. El aprendizaje se ha considerado fundamental para construir resiliencia y lidiar con la incertidumbre en SES, es decir que, hay una constante necesidad de revisar el conocimiento existente para la adaptación y la evolución en un SSE. (Biggs et al., 2012; Cabel & Oelofse, 2012; Gunderson & Holling, 2002; Walters & Holling, 1990) las instituciones dan orientación a través de diferentes mecanismos para llegar a las comunidades y brindar información pertinente y que pueda ser útil para la toma de decisiones en el agroecosistema. La distribución de la información facilita la toma de decisiones por parte de los beneficiarios de los predios. Cuantas más personas e instituciones puedan aprender del pasado y unas de otras, y compartir ese conocimiento, más capaz será el sistema de adaptación y transformación, en otras palabras, más resistente (Cabel & Oelofse, 2012; Cleves, 2018; Marsiglia Rivera, 2017; Panpakdee & Limnirankul, 2017).
	Organización de la comunidad		→	Confianza y credibilidad en las organizaciones		es una medida de las redes sociales en la que participa un beneficiario. En estas redes (asociaciones de mujeres, juntas de acción comunal, grupos de mesas ambientales entre otras) se generan lazos que

Subsistema	Variable	Unidad	Relación →	Variable Relación	Unidad	Revisión Literaria
						facilitan la cooperación y el acceso a oportunidades y recursos. Además, esta variable está ligada a la conectividad de las asociaciones. Un beneficiario aislado que no interactúa con su entorno social pierde la oportunidad de adquirir conocimiento, y aumentar el capital social que puede sostener los medios de vida cuando se producen tensiones (Ifejika Speranza et al., 2014; Marsiglia Rivera, 2017; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Srinivasa et al., 2020).
	Acceso a seguros agropecuarios		→	Aversión al Riesgo		Se refiere al acceso a seguros que protejan al agricultor en caso de pérdidas por disturbios naturales que no se pueden controlar, tales como: exceso o déficit de lluvia, inundaciones, heladas, deslizamientos, enfermedades o plagas (Bolaños, 2017; Galarza, 2009; Orduño Torres et al., 2018)
	Incentivos económicos para la Conservación		→	Preferencia de Bosques		estrategias para la protección del recurso hídrico. Consiste en un mecanismo que gira en torno a un típico mercado (oferta vs. demanda) en el cual los propietarios y poseedores regulares de predios, donde se encuentran ubicados los ecosistemas naturales que suministran servicios ecosistémicos, reciben voluntariamente y en forma periódica un reconocimiento (dinero, especie, mixto) por parte de algunos usuarios finales en razón al beneficio individual o colectivo que les causa contar con su permanente provisión en pro de la conservación y/o recuperación de los ecosistemas naturales (Departamento Nacional de Planeación, 2017).