UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Resiliencia en agroecosistemas. Un índice bajo el enfoque de sistemas socio-ecológicos.

Andrea Suarez Pardo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de minas, Departamento
Medellín, Colombia
2020

Resiliencia en agroecosistemas. Un índice bajo el enfoque de sistemas socio-ecológicos.

Andrea Suarez Pardo

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Directora:

Ph.D., Clara Inés Villegas Palacio

Codirectora:

Ph.D., Lina María Berrouet Cadavid

Línea de Investigación:

Resiliencia en agroecosistemas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente.

Medellín, Colombia

2020

A Dios

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Agradecimientos

Agradezco a Dios, a su voluntad.

A mi directora, la profesora Clara Inés Villegas Palacio y mi codirectora, la profesora Lina María Berrouet Cadavid, les agradezco profundamente por todo el acompañamiento, sus aportes valiosos, su direccionamiento oportuno y paciencia en este proceso de aprendizaje, muchas gracias.

A mi gran amiga y compañera de vivencias durante la maestría, Cristina Vargas Betancur, gracias por tu apoyo incondicional, por tus palabras de aliento y por siempre orientarme a dar lo mejor de mí. A Jenny Machado por su colaboración con la información digital de la zona.

A mis padres, Héctor Suarez Mahecha y Sandra Pardo Carrasco, gracias por apoyarme, por su enseñanza y por querer y orientarme a buscar lo mejor para mí.

Resumen

Se propone un índice de resiliencia de agroecosistemas frente a vectores de cambio exógenos de dos tipos: amenazas de orden biofísico (eventos climáticos extremos asociados al cambio climático) y amenazas de orden socioeconómico (cambios en los precios de los insumos para producción y cambios en los precios del producto final). El índice es construido bajo el marco teórico de los métodos de análisis multicriterio considerando variables relacionadas con los sistemas natural, productivo, socioeconómico e institucional que son ponderadas y agrupadas a través de consulta con expertos. El índice es operacionalizado en una cuenca estratégica en los Andes Colombianos (cuenca del Rio Grande - CRG). El índice fue evaluado en 99 hogares de la cuenca, mediante la recopilación de información en talleres y entrevistas individuales. El índice de resiliencia propuesto varía en el intervalo [0,1], fue categorizado en 5 niveles: muy baja, baja, media, alta, y muy alta. Frente a la amenaza de cambio climático se obtuvo que el 19% de los predios presentaron resiliencia baja, el 64% resiliencia media y el 16% resiliencia alta. Los resultados frente a la amenaza de cambio en los precios (venta e insumos) presentaron un 23% resiliencia baja, un 65% resiliencia media y un 11% en resiliencia alta. Variables como diversidad de coberturas de suelo en el predio, predios con cobertura de bosque con alto grado de conectividad con otros parches, diversidad de actividades económicas, disponibilidad de fuentes de agua y buenas relaciones con las instituciones en la zona son determinantes en un alto grado de resiliencia frente a vectores de cambio exógenos.

Palabras clave: Agroecosistemas, resiliencia, índice, sistemas socio-ecológicos.

Abstract

An agroecosystem resilience index is proposed against exogenous change vectors of two types: biophysical threats (extreme climatic events associated with climate change) and socio-economic threats (changes in the prices of inputs for production and changes in the prices of the final product). The index is constructed under the theoretical framework of multi-criteria analysis methods considering variables related to the natural, productive, socioeconomic and institutional systems that are weighted and grouped through expert judgment. The index is operationalized in a strategic basin in the Colombian Andes (Rio Grande Basin - CRG). The index was evaluated at the household level using information from 99 households in the basin obtained through workshops and individual interviews. The resilience index that varies in the interval [0,1] was categorized into 5 levels: very low, low, medium, high, and very high. Faced with the threat of climate change, it was obtained that 19% of the properties had low resilience, 64% medium resilience and 16% high resilience. The results in the face of the threat of changes in prices showed 23% low resilience, 65% medium resilience and 11% high resilience. Aspects such as diversity of land cover on the property, properties with forest cover with a high degree of connectivity with other patches, diversity of economic activities, availability of water sources and good relations with institutions in the area are determining factors to a high degree. of resilience against exogenous vectors of change.

Keywords: Agroecosystems, resilience, index, socioecological systems.

Resilience in agroecosystems. An index under the socio-ecological systems approach.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XIII**

Lista de tablas ..... **XV**

Lista de ecuaciones ..... **XVIII**

Lista de abreviaturas ..... **XIX**

Introducción **1**

1. Marco teórico **7**
1.1 Sistemas socio-ecológicos 7
1.2 Resiliencia en SSE 8
1.3 Principios para construir resiliencia en sistemas socio-ecológicos 11
1.4 Agroecosistema como sistemas socio-ecológicos 14
1.5 Resiliencia en agroecosistemas 15
1.6 Resultados de estudios de resiliencia en agroecosistemas 17
1.7 Índices e indicadores compuestos para la evaluación de la Resiliencia 20
1.8 Indicadores de resiliencia basados en el comportamiento del agroecosistema 21

2. Metodología **25**
2.1 Caso de estudio: Cuenca de Río Grande 25
2.2 Construcción del índice de Resiliencia 26
2.2.1 Fase I. Determinación de categorías y sus variables, adaptadas al contexto de SSE 28
2.2.2 Fase II. Validación y ponderación de categorías y variables por medio de expertos. 30
2.2.3 Fase III. Construcción del índice de resiliencia. 31
2.2.4 Fase IV. Sistematización de la información. 33
2.2.5 Fase V. Evaluación del índice de resiliencia en sistemas de producción agraria en el caso de estudio. 35
2.3 Amenazas el agroecosistema 35
2.3.1 Amenaza 1: Cambio Climático 36
2.3.2 Amenaza 2: Cambio en los precios de insumos y de producto final. 39
2.4 Análisis de sensibilidad del índice de resiliencia. 40

3. Resultados **41**

3.1 Fase I. Determinación de categorías y sus variables, adaptadas al contexto de SSE. 41
3.1.1 Definición de categorías y variables 45
3.2 Fase II. Validación y ponderación de categorías y variables por medio de expertos 66
3.2.1 Ponderación de expertos frente a cada amenaza. 66
3.2.2 Ponderación de categorías y variables por medio de expertos. 67
3.3 Evaluación del índice de resiliencia 78
3.3.1 Selección de predios y levantamiento de la información 78
3.3.2 Resultados de las categorías del índice de resiliencia 82
3.3.3 Resultados del índice de resiliencia frente las amenazas 88
3.4 Escenarios de cambio 94
3.4.1 Amenaza de cambio de precios 94
3.4.1.1. Escenario 1: Cambio en el precio de los productos de venta. 94
3.4.2 Amenaza de cambio climático 101
3.5 Análisis del índice frente los escenarios y los perfiles de los beneficiarios. . 104

4. Discusión 115

5. Conclusiones 120

6. Bibliografía 122

A. Anexo: Encuesta a expertos 131

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Ubicación Cuenca Rio Grande..... 26
Figura 2. Ruta metodológica para la construcción del índice de resiliencia de un agroecosistema. 27
Figura 3. Componentes del índice de resiliencia..... 28
Figura 4. Medios de vida rurales sostenibles: un marco para el análisis 30
Figura 5. Escenarios de precipitación y Escenarios de temperatura respectivamente en Antioquia 38
Figura 6. Categorías que conforman el índice de resiliencia. 41
Figura 7. Mapa de la cuenca rio grande presentando las coberturas y los predios seleccionados..... 79
Figura 8. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema natural (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente elaboración propia. .....**¡Error! Marcador no definido.**
Figura 9. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema productivo (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente: Construcción propia. 84
Figura 10. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema socioeconómico (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente construcción propia..... 86
Figura 11. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema institucional (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente construcción propia..... 88
Figura 12. Relación: volumen de leche vendida mes/ precio recibido por el productor. Tomada de Botero MR, Botero ALM, Zapata OJ. Memorias seminario taller “La eficiencia de la empresa ganadera: un reto para el siglo XXI” (1998)..... 95
Figura 13. Precio pagado al productor por litro de leche. Tomada de Cadena et al. (2019). Precio regulado de la leche: ineficiencias, costos y alternativas. octubre de 2019. 96

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Indicadores de comportamientos presentes en un agroecosistema resiliente propuestos por Cabel y Oelofse (2012). 22
Tabla 2. Categorías y variables con su respectiva definición, forma de medición y referencia. 42
Tabla 3. Forma de medir la variable cobertura del suelo. 47
Tabla 4. Forma de medir la variable: indicador de homogeneidad de las proporciones de las coberturas. 47
Tabla 5. Forma de medir la variable aproximado de conectividad de bosques. 48
Tabla 6. Forma de medir la variable Grado de vulnerabilidad del suelo. 49
Tabla 7. Forma de medir la variable capacidad de retención del agua y su descripción. 50
Tabla 8. Forma de medir la variable uso de agroquímicos. 51
Tabla 9. Forma de medir la variable actividades productivas en el predio 52
Tabla 10. Forma de medir la variable Homogeneidad de las actividades productivas. ... 53
Tabla 11 Forma de medir la variable disponibilidad de fuentes de agua. 54
Tabla 12. Forma de medir la variable demanda de agua. 55
Tabla 13. Forma de medir la variable Nivel de beneficios. 56
Tabla 14. Forma en que se midió la variable acceso a tecnología e innovación. 57
Tabla 15. Forma de medir la variable Educación. 58
Tabla 16. Forma de medir la variable acceso a seguros. 58
Tabla 17. Forma de medir la variable Acceso al crédito. 59
Tabla 18. Forma de medir la variable conocimiento ecológico. 60
Tabla 19. Forma de medir la variable capacitaciones sobre la actividad productiva 61
Tabla 20. Forma de medir la variable distribución de la información. 63
Tabla 21. Forma de medir la variable mecanismos de conservación. 63
Tabla 22. Forma de medir la variable relación institución beneficiario. 65
Tabla 23. Forma de medir la variable organización de la comunidad. 66
Tabla 24. Promedio y desviación estándar de las categorías frente a las amenazas respectivas. 67
Tabla 25. Variables de la categoría sistema natural con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza. 69
Tabla 26. Pesos de las variables de la categoría sistema natural frente a las amenazas. 69

Tabla 27. Variables de la categoría sistema productivo con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza. 71
Tabla 28. Pesos de las variables de la categoría sistema productivo frente a las amenazas. 72
Tabla 29. Variables de la categoría sistema socioeconómico con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza. 73
Tabla 30. Pesos de las variables de la categoría sistema socioeconómico frente a las amenazas. 74
Tabla 31. Variables de la categoría sistema institucional con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza. 75
Tabla 32. Pesos de las variables de la categoría sistema institucional frente a las amenazas. 76
Tabla 33. Pesos de las categorías frente a cada amenaza. 77
Tabla 34. Perfiles de los beneficiarios que se encuentran en la zona de estudio. Tomado de Berrouet et al. (2018). 80
Tabla 35. Resultados resumidos de la categoría sistema natural frente a cada amenaza. 82
Tabla 36. Resultados resumidos de la categoría sistema productivo frente a cada amenaza. 84
Tabla 37. Resultados resumidos de la categoría sistema socioeconómico frente a cada amenaza. 85
Tabla 38. Resultados resumidos de la categoría sistema institucional frente a cada amenaza. 87
Tabla 39. Niveles de resiliencia con respectivos límites. 89
Tabla 40. Niveles de resiliencia dentro del índice y sus respectivas definiciones. 89
Tabla 41. Resultados del índice de resiliencia. Número de predios por nivel frente la amenaza de cambio climático. 90
Tabla 42. Estados de resiliencia por perfiles de beneficiarios y sus debidos porcentajes frente al cambio climático. 91
Tabla 43. Estados de resiliencia por perfiles de beneficiarios y sus debidos porcentajes frente amenaza de cambio en precios. 92
Tabla 44. Cambio de precios de venta de la leche entre 2012-2030 en el municipio de Belmira. Tomado de Berrio (2020). 96
Tabla 45. Resultados consolidados del índice frente al cambio de precios y escenario 1 evaluado en cambio de precios. 97
Tabla 46. Resultados consolidados del índice frente al cambio de precios y escenario 2 evaluado en cambio de precios 100
Tabla 47. Resultados consolidados del índice frente al cambio climático y escenario 3 evaluado en cambio climático. 104
Tabla 48. Predios que presentan cambios de estado de resiliencia frente al escenario 1. 106
Tabla 49. Perfiles de los beneficiarios que presentaron cambios de nivel frente el escenario 1. 107

Tabla 50. Predios que presentan cambios de estado de resiliencia frente al escenarios 2. 109
Tabla 51. Perfiles de los beneficiarios que presentaron cambios de nivel frente el escenario 2.....110
Tabla 52. Predios que presentan cambios de estado de resiliencia frente al escenario 3. 111
Tabla 53. Perfiles de los beneficiarios que presentaron cambios de nivel frente el escenario 3.....113
Tabla 54 Categorías y Variables. 135

Lista de ecuaciones

$Catj = W1Vari1 * Vari1 + W1Vari2 * Vari2 + \cdots + W1Vari * Vari$ **Ecuación 1** 32
$Catj = W2Vari1 * Vari1 + W2Vari2 * Vari2 + \cdots + W2Vari * Vari$ **Ecuación 2** 32
$\boldsymbol{IRA1} = (\boldsymbol{w1catj1} * \boldsymbol{Catj1}) + (\boldsymbol{w1Catj2} * \boldsymbol{Catj2}) + (\boldsymbol{w1Catj3} * \boldsymbol{Catj3}) + \cdots + (\boldsymbol{w1Catj} * \boldsymbol{Catj})$ **Ecuación 3**.....32
$\boldsymbol{IRA2} = (\boldsymbol{w1catj1} * \boldsymbol{Catj1}) + (\boldsymbol{w1Catj2} * \boldsymbol{Catj2}) + (\boldsymbol{w1Catj3} * \boldsymbol{Catj3}) + \cdots + (\boldsymbol{w1Catj} * \boldsymbol{Catj})$ **Ecuación 4**.....32
$X = xi - xmin\ xmax - xmin$ **Ecuación 5** 45
$\boldsymbol{NAT\ A1} = 0{,}25(\mathrm{CS}) + 0{,}15(\mathrm{HCS}) + 0{,}18(\mathrm{ACB}) + 0{,}21(\mathrm{VS}) + 0{,}22(\mathrm{CRA})$ **Ecuación 6**70
$\boldsymbol{NAT\ A2} = 0{,}19(\mathrm{CS}) + 0{,}15(\mathrm{HCS}) + 0{,}15(\mathrm{ACB}) + 0{,}28(\mathrm{VS}) + 0{,}23(\mathrm{CRA})$ **Ecuación 7**70
$\boldsymbol{PRO\ A1} = 0{,}18\mathrm{UA} + 0{,}23\mathrm{AP} + 0{,}15\mathrm{HAP} + 0{,}20\mathrm{DFA} + 0{,}23(\mathrm{DA})$ **Ecuación 8**.....72
$\boldsymbol{PRO\ A2} = 0{,}29\mathrm{UA} + 0{,}21\mathrm{AP} + 0{,}17(\mathrm{HAP}) + 0{,}18(\mathrm{DFA}) + 0{,}16(\mathrm{DA})$ **Ecuación 9**.....72
$\boldsymbol{SOC\ A1} = 0{,}14\mathrm{NB} + 0{,}20\mathrm{ATI} + 0{,}19\mathrm{CE} + 0{,}8\mathrm{AS} + 0{,}11\mathrm{AC} + 0{,}15\mathrm{CAP} + 0{,}13(E)$ **Ecuación 10**.....74
$\boldsymbol{SOC\ A2} = 0{,}21\mathrm{NB} + 0{,}19\mathrm{ATI} + 0{,}13\mathrm{CAE} + 0{,}10\mathrm{AS} + 0{,}12\mathrm{AC} + 0{,}13\mathrm{CAP} + 0{,}12(E)$ **Ecuación 11**.....74
$\boldsymbol{INST\ A1} = 0{,}21\mathrm{DI} + 0{,}24MC + 0{,}23\mathrm{RIB} + 0{,}32\mathrm{OC}$ … **Ecuación 12**.....76
$\boldsymbol{INST\ A2} = 0{,}23\mathrm{DI} + 0{,}22MC + 0{,}23\mathrm{RIB} + 0{,}32\mathrm{OC}$ **Ecuación 13** 76
$\boldsymbol{IR\ A1} = 0{,}29\mathrm{Nat} + 0{,}26\mathrm{Pro} + 0{,}25Soc + 0{,}20(Inst)$ **Ecuación 14**.....78
$\boldsymbol{IR\ A2} = 0{,}16\mathrm{Nat} + 0{,}29\mathrm{Pro} + 0{,}32Soc + 0{,}23(Inst)$ **Ecuación 15**.....78

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
SSE	Sistemas socio-ecológicos
NCP	Contribuciones de la naturaleza para la gente
VC	Variabilidad climática
EAP	Estructura Agroecológica Principal
CRG	La cuenca de Río Grande
A1	Amenaza 1
A2	Amenaza 2
ZHF	Zona homogénea física
SE	Servicios ecosistémicos
CS	Coberturas del suelo
HCS	Indicador de homogeneidad de las proporciones de CS
ACO	Aproximado de conectividad de bosques
VS	Grado de vulnerabilidad del suelo
CRA	Capacidad de retención de agua
UA	Uso de agroquímicos
AP	Actividades productivas
HAP	Homogeneidad de las proporciones de las AP
DFA	Disponibilidad de fuentes de agua
DA	Demanda de agua
NB	Nivel de beneficios
ATI	Acceso a tecnología e innovación
CE	Conocimiento ecológico
AS	Acceso a seguros
AC	Acceso a créditos
CAP	Capacitaciones de la actividad productiva
E	Educación
DI	Distribución de la Información
MC	Mecanismos de conservación
RIB	Relación institución beneficiario
OC	Organización de la comunidad

Introducción

Las sociedades y la naturaleza son inevitablemente interdependientes y deben considerarse como sistemas socio-ecológicos integrados (Sterk, Leemput, & Thm, 2017; Narpat, Berkes, Folke, & Colding, 1998). El marco conceptual de los Sistemas socio-ecológicos (SSE) presenta la relación, el vínculo y las interacciones entre los ecosistemas y los humanos a través de los servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos son definidos por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Recientemente el concepto de servicios ecosistémicos ha evolucionado hacia el concepto de Contribuciones de la Naturaleza para la Gente (NCP por sus siglas en inglés). Las NCP son definidas como todas las contribuciones, positivas y negativas, de la naturaleza en la calidad de vida de las comunidades humanas (Díaz et al., 2015). En muchas ocasiones en el aprovechamiento de estas contribuciones, los sistemas sociales modifican atributos y procesos de los sistemas ecológicos que afectan la capacidad de estos últimos de continuar con la provisión del servicio, circunstancia que puede repercutir en la calidad de vida y el bienestar de las comunidades (motores de cambio endógenos). Adicionalmente, el SSE puede verse afectado también por motores de cambio exógenos; estos motores son de diversas clases, como el cambio climático o cambios en variables de tipo económico que modifican las actividades realizadas por las comunidades (Collins et al., 2011).

Pese a esta interdependencia, durante el Antropoceno las actividades humanas han ocasionado impactos negativos en el medio ambiente. La extracción de recursos naturales sin una adecuada gestión ambiental, la producción de insumos, bienes y servicios sin un apropiado tratamiento de residuos, el desarrollo de infraestructura mal localizada, el crecimiento demográfico, la falta de conocimiento del ecosistema en el que se encuentran las actividades, entre otros impulsores, han causado deterioro en los ecosistemas (The Resilience Alliance, 2010).

La pérdida de bosques se traduce en una disminución en la captura de carbono, la contaminación de fuentes hídricas disminuye la disponibilidad y la calidad del agua, la erosión del suelo afecta la producción vegetal y la producción de alimentos, la contaminación del aire repercute sobre la salud de las poblaciones (Cubasch et al., 2013). Esas afectaciones a los sistemas ecológicos, provenientes de diferentes tipos de vectores de cambio, afectan su funcionamiento y por tanto su potencial para la oferta de servicios ecosistémicos con consecuencias sobre el bienestar de las comunidades o los seres humanos (Duraiappah et al., 2005).

Las transformaciones en la integridad ecológica por las acciones humanas, y la importancia de los servicios ecosistémicos, o de las NCP, para el bienestar humano, resaltan la necesidad de contar con información (i.e. indicadores) y estrategias para los procesos de gestión sostenible de los sistemas socio-ecológicos (Martín-López, Gómez-Baggethun, & Montes, 2006).

Los vectores de cambio pueden ser de carácter puntual (un incendio en un bosque, un terremoto) o un proceso (cambio climático) y pueden ser estudiados como un proceso endógeno (que se origina dentro de los límites del sistema socio-ecológico) o exógeno (fuera de los límites) (Berrouet et al, 2018). Sin embargo, no siempre los vectores de cambio inducen afectaciones sobre las funciones ecosistémicas, esto varía y depende de la magnitud de las perturbaciones y de las características de respuesta del sistema tales como su vulnerabilidad y resiliencia (Berrouet, Machado, & Villegas-Palacio, 2018).

La resiliencia es una propiedad emergente de los sistemas abiertos como los son los SSE y ha tenido múltiples definiciones en la literatura. Por resiliencia se entiende la magnitud del cambio o perturbación que un sistema puede experimentar sin cambiar a un estado alternativo que tiene diferentes propiedades estructurales y funcionales y suministra diferentes servicios ecosistémicos (The Resilience Alliance, 2010). Esta propiedad ha sido definida también como la capacidad de un SSE para enfrentar el cambio y, mientras tanto, continuar desarrollándose en entornos en constante cambio (Sterk, Leemput & Thm, 2017). Es ésta última definición la que se adopta en la presente investigación. Los estudios de resiliencia en agroecosistemas han venido aumentando en los últimos años (Srinivasa et al., 2020; Linstädter et al., 2016; Ciftcioglu, 2017; Cleves, 2018).

Los agroecosistemas, entendidos como un ecosistema natural que han sido modificados por los seres humanos para la producción de alimentos o materias primas (Fajardo, 2011), o como un ecosistema administrado con la intención de producir, distribuir y consumir alimentos, combustibles y fibras, pueden ser analizados bajo la óptica de los sistemas socio-ecológicos (Cabel & Oelofse, 2012).

Una de las presiones que se pueden considerar en los agroecosistemas en países en vías de desarrollo está asociada el cambio intensivo de uso del suelo. Esto cobra especial relevancia en cuencas hidrográficas estratégicas para la provisión de servicios ecosistémicos cruciales, como la provisión de agua. Este cambio de uso del suelo ha favorecido principalmente la oferta de servicios de provisión como la producción de alimentos a través de sistemas agrícolas y pecuarios. Lo anterior es particularmente importante en cuencas de los Andes tropicales y particularmente en países como Colombia en los que la mayoría de la población y actividades económicas importantes (como agricultura y ganadería) se localizan en áreas montañosas. Dichas actividades son necesarias para suplir el consumo de alimentos de la población (Preston, 1996; Cubasch et al., 2013).

La aplicación del enfoque de resiliencia contribuye a una mejor comprensión de los dilemas técnicos y socioeconómicos que enfrentan los sistemas de producción soportados en las propiedades y procesos de los ecosistemas para enfrentar los desafíos sociales (Ge et al., 2016). Cabel y Oelofse (2012) también argumentan que, en el contexto de los agroecosistemas, la resiliencia es una propiedad que nace de la interacción única entre el administrador del agroecosistema, el agroecosistema en sí mismo y el contexto en que está inmerso. Podemos entender en este caso la resiliencia como *la capacidad del agroecosistema para enfrentar presiones endógenas y exógenas y continuar con su funcionamiento de provisión de NCP y/o sostenimiento de los niveles de bienestar y calidad de vida de las comunidades humanas*.

Una de las posibles razones por las cuales es difícil analizar la resiliencia en un SSE, además de la complejidad de los sistemas, es la ausencia de indicadores para su evaluación (Cai et al., 2018). Evaluar la resiliencia en SSE puede proporcionar información sobre el desarrollo de estrategias para mitigar o hacer frente a cambios conocidos e

inesperados en los ecosistemas (The Resilience Alliance, 2010). Sin embargo, todavía no hay consenso sobre cómo se debe evaluar la resiliencia a pesar de la publicación de numerosos artículos teóricos sobre el tema. Han surgido varios marcos de medición y recomendaciones, pero su aplicabilidad aún no se ha evaluado críticamente (Douxchamps, Debevec, Giordano, & Barron, 2017).

Uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad es asegurar la producción de alimentos y fibras, evitando los impactos negativos a largo plazo en los ecosistemas. La resiliencia se ha utilizado como un marco para comprender los desafíos de sostenibilidad en una variedad de tipos de ecosistemas, pero no se ha aplicado sistemáticamente en los sistemas específicamente utilizados para la producción de alimentos y fibras en ambientes terrestres, de agua dulce y marinos (Roell et al., 2014).

La optimización de la resiliencia en los SSE trae consigo numerosos beneficios para el ser humano y los ecosistemas, como seguir proveyendo la oferta de servicios para las comunidades humanas y como mantenimiento de los ecosistemas (Desjardins, Barker, Dieleman, & Dussault, 2015). Cabel y Oelofse (2012) proponen un conjunto de indicadores basados en el comportamiento del agroecosistema que deberían estar presentes en un SSE resiliente y lo aplican al contexto de agroecosistemas. Estos indicadores identifican conductas que, cuando están presentes, implican que el sistema es más capaz de persistir en su capacidad para satisfacer las necesidades de alimentos, combustibles y fibras requeridos por los seres humanos. Por otro lado la ausencia o la desaparición de estos comportamientos propuestos por Cabel y Oeofse (2012) indican vulnerabilidad en el agroecosistema y una necesidad de intervención (Cabel & Oelofse, 2012). Estos indicadores basados en el comportamiento se exponen más adelante.

Esta tesis contribuye a la literatura existente en dos líneas. Primero, propone el desarrollo de un único índice multidimensional que tenga en cuenta los indicadores propuestos por Cabel y Oelofse (2012) y que sea aplicable a contextos de agroecosistemas en cuencas hidrográficas tropicales. En segundo lugar, propone la evaluación y validación de dicho índice e indicadores en agroecosistemas (de producción ganadera fundamentalmente) en una cuenca hidrográfica en los Andes tropicales. Este tipo de información es relevante en un contexto como el de los Andes tropicales, donde no se ha realizado estudios y

evaluación de la resiliencia bajo el enfoque de SSE, ni desde una perspectiva holística que implica un SSE para hacer frente a los cambios por ciertas intervenciones en los ecosistemas.

Como se mencionó anteriormente los agroecosistemas son sistemas complejos y diversos y por ende, la resiliencia en cada sistema es diferente y está relacionada con los objetivos y limitaciones de cada sistema particular (Peterson, Eviner, & Gaudin, 2018; Cabel & Oelofse, 2012; Darnhofer, 2014). Evaluar la resiliencia de un socio-ecosistema requiere analizar el tipo o naturaleza de la perturbación o amenaza que el sistema enfrenta, es decir resiliencia frente a qué (Carpenter, Walker, Anderies, & Abel, 2001). Para evaluar la resiliencia, se necesita además especificar la escala espacial, la cual depende del problema que se desea investigar (Carpenter, Walker, Anderies, & Abel, 2001; López-Ridaura, Masera, & Astier, 2000; Bennett et al., 2005).

Esta tesis presenta un índice multidimensional de resiliencia de un sistema de producción agraria (agroecosistema) bajo el enfoque de los sistemas socio-ecológicos ante perturbaciones naturales que no pueden controlarse completamente (como cambios en la variabilidad climática) y ante perturbaciones exógenas socioeconómicas como la entrada en vigor de tratado de libre comercio con países reconocidos por su producción agropecuaria.

El presente documento se encuentra estructurado de la siguiente manera. En el capítulo 1 se presenta la introducción y motivación, en el capítulo 2 se presenta el marco teórico y estado del arte en el área de investigación, el capítulo 3 presenta la metodología detallada que se siguió para el cumplimiento del objetivo general. El capítulo 4 presenta y analiza los resultados obtenidos y el capítulo final se presentan las conclusiones. Como información para los evaluadores de la presente tesis, a continuación, se muestran los objetivos aprobados por el comité asesor del programa curricular para esta tesis de maestría:

Objetivo general: Proponer un índice de resiliencia de un sistema de producción agrario bajo el enfoque de SSE.

Objetivos específicos: (i) Identificar las categorías e indicadores que determinan la resiliencia de un sistema de producción agrario. (ii) Identificar para cada indicador las

variables que determinan la resiliencia de un sistema de producción agrario. (iii) Construir el índice de resiliencia a partir de la selección de indicadores y de sus variables. (iv) Evaluar el índice de resiliencia en sistemas de producción agraria en una cuenca de los andes tropicales bajo los escenarios de cambio biofísico y socioeconómico.

1. Marco teórico

Este capítulo presenta los fundamentos conceptuales y avances en investigación en el área de resiliencia, sistemas socio-ecológicos y agroecosistemas como sistemas socio-ecológicos.

1.1 Sistemas socio-ecológicos

Los Sistemas socio-ecológicos (SSE) conceptualizan la relación, el vínculo y las interacciones entre los ecosistemas y los humanos. Las sociedades y la naturaleza son inevitablemente interdependientes y deben considerarse como SSE integrados (Folke y Berkes, 1998). Estas interacciones se dan a través de la adaptación y del uso de los recursos que se producen en múltiples escalas y ciclos. Los procesos e interacciones de los SSE están influenciados por fuerzas de gran escala como las condiciones políticas y económicas y las condiciones biogeoquímicas desde la escala global hasta la local (Virapongse et al., 2016), los procesos (dinámica hidrológica, dinámica energética y dinámica biogeoquímica) de los ecosistemas son dinámicos y están influenciados por muchas formas de estrés (Escobar, Maass, Alcocer, & Azpra-romero, 2009; HASTINGS, 2010).

Resaltando lo dicho anteriormente, los ecosistemas están siendo afectados por las acciones de los seres humanos; dada la importancia de los servicios ecosistémicos en los sistemas socioecológicos se debe contar con una gestión sostenible entre los ecosistemas y los seres humanos, para garantizar el bienestar general (Folke, Colding, & Berkes, 2017; Martín-López et al., 2006). A pesar de lo anterior, los enfoques convencionales que se usan para la gestión ambiental continúan siendo líneas disciplinarias – frecuentemente no interrelacionadas - para abordar los desafíos de la problemática ambiental. Para afrontar

la solución de los problemas ambientales requiere una mayor integración de las ciencias sociales y naturales, nuevos enfoques de gobernanza y una nueva cultura para la gestión ambiental. Una de las soluciones que podría implementar una gestión ambiental sostenible es la mejora de la resiliencia de los sistemas de recursos naturales y de las comunidades inmersas en un territorio (Virapongse et al., 2016).

Desde un enfoque de SSE se busca promover y mantener un buen funcionamiento de los ecosistemas terrestres, mediante iniciativas políticas para evitar, reducir y / o revertir la degradación de la tierra. Esto demanda que los administradores de la tierra aseguren que los seres humanos se relacionen, cuiden y valoren los ecosistemas bajo una asignación eficiente de derechos y privilegios en el tiempo y en los lugares (Cowie et al., 2018). De hecho, la gestión sostenible de la tierra no se puede lograr por separado de los medios de vida de las comunidades dependientes de la tierra (Reed et al., 2015), más que nunca, se necesitan enfoques integrados de SSE para fomentar el desarrollo sostenible (Okpara et al., 2018).

1.2 Resiliencia en los SSE

La primera vez que se habló de resiliencia ecológica lo hizo Holling (Holling, 1973), que lo vinculó con la persistencia de las relaciones dentro de un ecosistema después de una perturbación, y fue una medida de la capacidad de los ecosistemas para absorber los cambios de las variables de estado, las variables de conducción y los parámetros, este autor se basó en estudios de la estabilidad ecologica de los sistemas (May, 1973; Rosenzweig, 1971). Ese concepto aún persiste y los estudios propuestos por Holling (1973) tuvieron continuación por parte de Narpat, Berkes, Folke, & Colding (1998), quienes enfatizaron en la importancia de la vinculación de sistemas sociales y ecológicos, las prácticas de gestión y los mecanismos sociales para construir resiliencia.

Adger (2000) menciona que la resiliencia ecológica y social puede estar vinculada a través de la dependencia de los ecosistemas, de las comunidades y sus actividades económicas; también hace referencia a la importancia de las instituciones en el sentido más amplio para incluir el comportamiento habitual, las reglas y normas que gobiernan la sociedad- que rigen el uso de los recursos naturales creando incentivos para el uso sostenible o

insostenible. Por lo tanto, son un componente central que vincula la resiliencia social y ecológica.

La resiliencia tiene múltiples niveles de significado: como un concepto relacionado con la sostenibilidad, como una propiedad de modelos dinámicos y como una cantidad medible que puede evaluarse en estudios de campo de SSE (Carpenter, Walker, Anderies, & Abel, 2001).

Los indicadores operativos de la resiliencia, sin embargo, han recibido poca atención en la literatura. Para evaluar la resiliencia de un sistema, se debe especificar qué configuración del sistema y qué perturbaciones son de interés (Carpenter et al., 2001). De acuerdo con la teoría del ciclo adaptativo de Gunderson & Holling, (2002), los sistemas dinámicos como los ecosistemas, las sociedades, las corporaciones, las economías, las naciones y los SSE no tienden hacia una condición estable o de equilibrio. En cambio, pasan por las siguientes cuatro fases características; rápido crecimiento y explotación, conservación, colapso o liberación, y renovación o reorganización.

Folke (2006) coloca la resiliencia y la dinámica del sistema en el contexto de sistemas adaptativos complejos, y realza la importancia de trabajar en investigación de la resiliencia para comprender la interacción de la dinámica social y del sistema ecológico y sus implicaciones para la sostenibilidad, una integración que aún es incipiente en la investigación

La resiliencia en los SSE determina la capacidad, la habilidad, la rapidez de respuesta y los límites de los sistemas a los que puede llegar para poder continuar desarrollándose a través de la adaptación y la reorganización (Sterk et al., 2017).

La resiliencia es un enfoque implícito en tratar de resistir el cambio y controlarlo para mantener la estabilidad. En términos simples, la capacidad de recuperación es tener la capacidad de persistir frente al cambio, de continuar desarrollándose en entornos en constante cambio. El pensamiento de resiliencia trata cómo los períodos de cambios graduales interactúan con los cambios abruptos, y la capacidad de las personas, comunidades, sociedades y culturas para adaptarse o incluso transformarse en nuevas vías de desarrollo frente al cambio dinámico (Folke, 2016).

Es de suma importancia comprender la conexión de la resiliencia con la sostenibilidad de la biosfera, la ecología y los ecosistemas (Standish et al., 2014; Folke, 2016). Si se comprende el vínculo mencionado anteriormente, el bienestar del ser humano y el de los ecosistemas se podría maximizar, mediante los mecanismos sociales para construir resiliencia y las formas para gestionar las dinámicas socio-ecológicas (Narpat, 1998; Standish et al., 2014; Sterk et al., 2017).

El término de resiliencia es un indicador indirecto de bienestar del medio ambiente (Desjardins et al., 2015; Harger & Meyer, 1996) por consiguiente la resiliencia tiene un significado más amplio en ciencia de la sostenibilidad, ya que abarca la capacidad de adaptación, transformación y aprendizaje (Walker, 2006).

En el pensamiento de resiliencia, la adaptación se refiere a las acciones humanas que sostienen el desarrollo en las vías actuales, mientras que la transformación se trata de cambiar el desarrollo a otras vías emergentes e incluso crear otras nuevas (Folke, 2016), por estas interacciones y vínculos se contempla la resiliencia como una característica de un SSE.

La mayoría de los estudios acerca de la resiliencia han utilizado el término como una metáfora o una construcción teórica, en unos pocos casos, se ha definido operacionalmente en el contexto de un modelo de un sistema particular (Carpenter et al., 2001; Bennett, Cumming, & Peterson, 2005; Peterson, Eviner, & Gaudin, 2018).

Posterior a la conceptualización algunos autores han evaluado la resiliencia en los SSE. Desjardins et al., (2015) mencionan que el concepto abstracto de resiliencia ha sido difícil de aplicar a situaciones concretas, y sus extensiones cada vez más ambiciosas, ha exacerbado esta dificultad y hace un esfuerzo en presentar estrategias para la implementación de la resiliencia.

Existen desarrollos relativamente recientes del concepto de resiliencia en el marco de los sistemas socio-ecológicos, sin embargo, su operacionalización continúa siendo un reto (Chuang et al., 2018; Cai et al., 2018).

Algunos estudios de operacionalización del concepto de resiliencia y su evaluación se han desarrollado recientemente (Li, Shi, Qureshi, Bruns, & Zhu, 2014). Li et al. (2014) presentaron el concepto de resiliencia espacial y lo aplicaron a la evaluación, planificación y gestión basada en el ecosistema de la interfaz del humedal urbano en la cuenca del lago Taihu en China. Suponiendo que los indicadores espaciales en los patrones y procesos afectan la resiliencia en los SSE, la resiliencia espacial en este caso se centra en la importancia de la sensibilidad ecológica, la calidad del agua y la cubierta vegetal.

En este estudio la escala espacial es a nivel de cuenca hidrográfica y los autores evaluaron la resiliencia espacial con un sistema basado en indicadores, un método de evaluación de criterios múltiples y una visualización espacial basada en un sistema de información geográfica (SIG) para crear zonas. Las zonificaciones espaciales se evalúan en el contexto de diferentes grados de resiliencia espacial. Los resultados se integran con indicadores de sensibilidad ecológica, calidad del agua y cubierta vegetal, se evalúan para determinar la aplicación práctica de la resiliencia espacial (Li et al., 2014).

1.3 Principios para construir resiliencia en sistemas socio-ecológicos

Para construir resiliencia Biggs et al, (2012) establecieron siete principios basados en la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos (SSE):

- Mantener la diversidad y redundancia de especies, paisajes, actores e instituciones: En un contexto SSE, los elementos del sistema que pueden mostrar diversidad son las especies, los parches paisajísticos, los grupos culturales, las estrategias de medios de vida, las instituciones y la gobernanza. La diversidad en SSE por lo tanto abarca la biodiversidad, la heterogeneidad espacial, las estrategias para mantener los medios de vida y la diversidad institucional.

- Gestionar la conectividad de recursos, especies y personas: La conectividad se define como la manera en que los recursos, las especies o los actores sociales se dispersan, migran o interactúan entre los "paisajes" ecológicos y sociales. Los paisajes pueden constar de componentes, como parches, hábitats o agrupaciones sociales. Estos componentes se denominan nodos y las conexiones entre ellos

como enlaces. Algunos ejemplos de enlaces son las interacciones de especies, los corredores a través de hábitats o canales de comunicación entre comunidades humanas. El efecto de la conectividad en la resiliencia depende de la estructura y la fuerza de los vínculos entre los nodos. La estructura se refiere a la presencia o ausencia de enlaces entre componentes y cómo se distribuyen los enlaces dentro de un SSE. La fuerza se refiere a la intensidad con la que están conectados los componentes, determinada por factores como la calidad del corredor entre hábitats, las preferencias de un depredador por una presa específica o la frecuencia de las interacciones entre los actores sociales.

- Manejar variables lentas y retroalimentaciones: La gestión de variables lentas y retroalimentaciones es clave para preservar los sistemas en las configuraciones deseadas y la provisión de servicios esperada. En el caso de los bosques una de estas variables lentas puede ser el manejo coordinado y la planificación de áreas protegidas a largo plazo que debe abordarse para garantiza la conservación del bosque (Agudelo et al., 2020).

- Fomentar el pensamiento de sistemas adaptativos complejos: Un enfoque de sistema adaptativo complejo (CAS, por sus siglas en inglés) significa aceptar que, dentro de un SSE, hay varias conexiones ocurriendo al mismo tiempo en diferentes niveles. También significa aceptar la imprevisibilidad y la incertidumbre. Agudelo et al. (2020) menciona que para aplicar un enfoque CAS también es necesario comprender la fragmentación sectorial e institucional, que se manifiesta en análisis descontextualizados de una serie de instituciones (ministerios, direcciones, municipalidades, programas, etc.) que se encuentran en diferentes niveles sin interacciones entre ellos.

- Fomentar el aprendizaje mediante la adquisición de nueva información, habilidades o comprensión: No puede haber aprendizaje sin lecciones aprendidas, por lo que es fundamental evaluar el impacto y los resultados de las políticas de gestión que tradicionalmente han aplicado a la región. Los SSE siempre están en desarrollo, por lo que existe una necesidad constante de revisar el conocimiento existente y estimular el aprendizaje. El aprendizaje y la experimentación a través de la gestión

adaptativa y colaborativa es un mecanismo clave para desarrollar la resiliencia. Los programas y estrategias de planificación y gestión del uso del suelo consisten en conocimientos conocidos y certezas e incertidumbres desconocidas. Sin embargo, la incertidumbre no debe restringir los procesos de toma de decisiones; más bien es una característica intrínseca con la que debemos aprender a trabajar.

- Fomentar la participación mediante la participación de los interesados en los proyectos: La participación se refiere a la participación de las partes interesadas relevantes en la gestión y proceso de gobernanza. La participación puede variar desde simplemente informar a las partes interesadas hasta completar la devolución del poder y puede ocurrir en diferentes etapas del proceso de gestión: desde la identificación de problemas y metas hasta la implementación de políticas, el monitoreo de resultados y la evaluación resultados. La literatura sobre resiliencia generalmente considera la participación para personas más pragmáticas que razones ideológicas (por ejemplo, derechos humanos), centrándose en las partes interesadas con un interés activo en la gestión de servicios ecosistémicos o con locales relevantes o conocimiento científico.

- Promover sistemas de gobernanza policéntrica: Policéntrica se refiere a un sistema de gobernanza con múltiples autoridades de gobierno en diferentes escalas. La gobernanza se define como el ejercicio de deliberación y toma de decisiones entre grupos de personas que tienen varias fuentes de autoridad para actuar y pueden ser practicadas a través de una variedad de formas organizacionales (por ejemplo, departamento burocrático, consejo de cuenca, organización sin fines de lucro). En los sistemas policéntricos, cada unidad de gobierno tiene independencia dentro de un área geográfica específica y un dominio de autoridad, y cada unidad puede vincularse horizontalmente con otras en temas comunes y estar anidada dentro unidades de gobierno más amplias verticalmente. Uno de los principios clave de la policéntrica es combinar los niveles de gobernanza a la escala del problema.

Por otro lado Folke et al. (2017) propusieron cuatro principios para construir resiliencia en un SSE, los cuales son:

- Aprender a vivir con cambio e incertidumbre.
- Nutrir la diversidad para la reorganización y la renovación.
- Combinando diferentes tipos de conocimiento para aprender.
- Creando oportunidades para la autoorganización.

La propiedad de la resiliencia en algunos casos no es buena o mala, sino que el régimen de un sistema dado puede ser etiquetado por los seres humanos como deseable o no deseable (Cutter, 2016). Esta definición de resiliencia nos ayuda a recordar que para catalogar un sistema de resiliente se debe comprender la naturaleza y los contextos del régimen actual o de los sistemas que se evalúan y entender frente a qué actividad, estado o límite proporciona beneficios y frente a que margina.

La resiliencia se considera una propiedad (emergente) del ecosistema importante para mantener los estados de los ecosistemas deseados (Walker & Salt, 2012). La literatura además de exponer la importancia de los determinantes, resalta la necesidad de contar con indicadores medibles de resiliencia que informen sobre las estrategias de respuestas del sistema social ante los cambios que se presenten para mejorar los estados, haciéndolos estados más resilientes a los deseados (Peterson et al., 2018; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Cutter, 2016; Alessa, Kliskey, Busey, Hinzman, & White, 2008).

Autores han evaluado la resiliencia en SSE por medio del desarrollo de criterios, principios, indicadores e identificaciones de vulnerabilidades en SSE en diferentes estudios (Panpakdee & Limnirankul, 2017; Li et al,. 2014; Alessa, et al,. 2008). Estos estudios dan pie para una mejor toma de decisiones en un sistema que se encuentra bajo cambios, para así desarrollar estrategias para la recuperación del sistema. En secciones más adelante se explican brevemente los estudios que desarrollaron los autores mencionados.

1.4 Agroecosistema como sistemas socio-ecológicos

Cuando el hombre actúa sobre los ecosistemas naturales alterándolos completamente y volviéndolos artificiales en función de la producción de diferentes cultivos, es cuando los llamamos "agroecosistemas". Los agroecosistemas son sistemas socioecológicos constituidos por sistemas agrícolas y sus interacciones con los sistemas sociales y

ecológicos con los que se relacionan, por esa razón los agroecosistemas pueden definirse como totalidades integradas por sistemas agrícolas y los sistemas sociales y ecológicos con los que se relacionan (Ríos-Osorio et al., 2013).

Los sistemas agropecuarios entendidos en este contexto como agroecosistemas son una interacción compleja entre procesos sociales y económicos - externos e internos - y entre procesos biológicos y ambientales; estos pueden ubicarse espacialmente al nivel del terreno de un cultivo, pero a menudo también incluyen una dimensión temporal (ciclo de un cultivo) (Prager, Restrepo, Ángel, Malagón, & Zamorano, 2002).

Dentro de un agroecosistema existen diferentes tipos de sistemas de producción de alimentos, los agroecosistemas son diferentes para cada zona y para cada sistema (prácticas de roce, tumba y quema, tipos de cultivos semi permanentes, cultivos perennes, prácticas de labranza, riego; pastoreo y de rotación de cultivos) ya que son producto de muchas variables como el clima, suelo, relaciones económicas, estructura social y la historia. Estos sistemas están transformándose continuamente, obligados por los cambios poblacionales, los recursos disponibles, la degradación del medio ambiente, el crecimiento o estancamiento económico, los cambios políticos entre otros (Prager et al,. 2002; Fajardo, 2011).

Los agroecosistemas cuentan comúnmente con recursos tales como recurso humano (mano de obra, capacidad de trabajar, flexibilidad de la fuerza de trabajo), recurso natural (tierra, agua, clima y la vegetación natural), recurso capital (bienes y servicios creados, comprados o prestados por las personas relacionadas con la parcela para facilitar el uso de los recursos naturales para la producción agrícola), recursos de producción (comprenden la producción agrícola de la parcela y también la pecuaria); los procesos ecológicos que están inmersos en los agroecosistemas son; procesos energéticos, biogeoquímicos, hidrológicos, y de regulación biótica (Prager et al., 2002).

1.5 Resiliencia en agroecosistemas

En los agroecosistemas, la resiliencia está estrechamente relacionada con los objetivos y limitaciones de cada sistema. Para ser relevante, especialmente en los agroecosistemas intensivos, el análisis de la resiliencia debe usarse en un marco modificado donde las

funciones productivas, los mecanismos reguladores y las escalas importantes para estos sistemas se hagan explícitos (Peterson et al., 2018). Entonces un agroecosistema resiliente podrá continuar proveyendo servicios vitales si es desafiado por perturbaciones naturales, como lo son sequias severas o tormentas que sobresaturan el suelo (Altieri, 2013).

Las bases de recursos naturales y los regímenes transformadores improductivos pueden mejorar la eficiencia en el uso de recursos si se mejoran las características de resiliencia y si se reduce la exposición a las perturbaciones para así mantener la capacidad de producir de manera confiable suficientes alimentos, combustibles y fibras sin efectos perjudiciales en el panorama agrícola más amplio (Peterson et al., 2018).

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, estos sistemas están en capacidad de adaptarse y resistir los efectos de los eventos climáticos, la diversidad se traduce en heterogeneidad ecológica lo que incrementa las opciones de respuesta. Esto se considera como una estrategia a largo plazo para proteger a los agricultores de los efectos ambientales ya que el estado de la estructura y la función de los ecosistemas determinarán la magnitud de respuesta a los disturbios (Taylor, Koohafkan, Altieri, & Gimenez, 2013; Altieri, Nicholls, Henao, & Lana, 2015; Altieri, 2013).

La resiliencia en agroecosistemas se puede entender como la capacidad que tendrían los sistemas agrarios para enfrentar presiones endógenas y exógenas y continuar con su funcionamiento de provisión sostenible de NCP y/o sostenimiento de los niveles de bienestar y calidad de vida de las comunidades humanas.

Estos sistemas deben interactuar con dichas presiones y adaptarse en respuesta a los disturbios naturales y antrópicos (variabilidad climática, fenómeno niña, fenómeno niño) y socioeconómicos (cambio del precio de los productos producidos) mediante el conocimiento del sistema natural para el cuidado y conservación de este, la autoorganización, la disponibilidad de recursos, la asistencia técnica, el acceso a la información, lecciones aprendidas y el uso de tecnología. Estos conocimientos se requieren para implementar prácticas como: fomento de la agrobiodiversidad, fomento de las buenas prácticas agrícolas, articulación con la estructura del paisaje, de tal manera que

les permita a los agricultores continuar con los procesos productivos sin que el ecosistema pierda sus funciones productivas.

Se requiere una mejor comprensión de la vulnerabilidad y la resiliencia de los ecosistemas cuando se enfrentan a presiones externas o cambios abruptos en su dinámica interna para mantener la integridad biótica del bioma y los servicios del ecosistema que ofrece a nivel local, regional, y comunidades globales (Agudelo et al., 2020).

La vulnerabilidad puede ser cuantitativo, midiendo la capacidad de un sistema para permanecer por encima de un umbral crítico, o cualitativo y utilizado para evaluar la exposición de un sistema a perturbaciones y atributos que confieren capacidad de adaptación y sensibilidad a perturbaciones. Como tal, la vulnerabilidad se adapta bien a las evaluaciones de los sistemas socio-ecológicos. Un sistema vulnerable es aquel que gastaría la mayor parte del tiempo en un estado indeseable o aquel que no puede continuar con sus funciones. Puede ocurrir una alta vulnerabilidad porque la exposición es alta, la sensibilidad es alta (baja resiliencia) y / o la capacidad de adaptación es baja. Por lo general, las mediciones de vulnerabilidad se basan en un conjunto de atributos para los tres componentes de la vulnerabilidad, como los factores que confieren capacidad de adaptación, ya sean de naturaleza social o ecológica. Aquellos atributos que tienen el potencial de reducir la vulnerabilidad y se pueden gestionar pueden identificarse y destinada a la intervención (Mumby, Chollett, Bozec, & Wolff, 2013). Estos atributos se relacionan con los implementados para construir resiliencia, por esto se dice que un sistema es vulnerable cuando es poco resiliente.

1.6 Resultados de estudios de resiliencia en agroecosistemas

Panpakdee y Limnirankul (2017) presentan un conjunto de indicadores creados con 53 agricultores orgánicos en cuatro distritos de la provincia de Chiang Mai. Los agricultores fueron seleccionados mediante muestreo de bola de nieve y fueron entrevistados y observados de manera iterativa con respecto a las pautas de resiliencia socioecológica en agroecosistemas y tecnología, identificando los componentes y las características requeridas para lidiar con los cambios dinámicos en la producción de arroz orgánico.

Se identificaron 47 indicadores de resiliencia socioecológica que son más ajustados para servir como evaluación cuantificable y como guía para los agricultores. Estos indicadores se centraron en las propiedades de la resiliencia mencionadas por Berkes y Folke (2003); (1) aprender a vivir con el cambio y la incertidumbre; (2) fomentar la diversidad; (3) Combinar diferentes tipos de conocimiento y aprendizaje; y (4) Crear oportunidades para la autoorganización y la escala cruzada, y en los indicadores basados en el comportamiento propuestas por Cabel y Oelfse (2012).

Li et al. (2014) presentan el concepto de resiliencia espacial y lo aplican a la evaluación, la planificación y el manejo basado en el ecosistema de la interfaz de humedal urbano en la cuenca de Taihu Lakewa en China.

Desde el supuesto de que los indicadores espaciales en los patrones y procesos afectan la resiliencia de la SES, la resiliencia espacial en esta investigación se centra en la importancia de la sensibilidad ecológica, la calidad del agua y la cobertura vegetal. La respuesta a la resiliencia espacial debe ser una consideración importante en la planificación y restauración de la gestión de los ecosistemas debido al efecto considerable de dicha respuesta en la sostenibilidad de los deseados.

Cruz y Prieto (2014) desarrollaron análisis de productividad comparando sistemas de producción pecuaria convencionales en relación con otras formas que implementan la producción orgánica, evaluando variables ambientales, variables productivas y variables económicas, en seis fincas del municipio de Guayabal de Síquima (Colombia). Desde el punto de vista ambiental y sostenible identificaron siete indicadores de sostenibilidad por medio del marco MESMIS; uno de los cuales es el de resiliencia (López-Ridaura, Masera, & Astier, 2000).

Autores como Nicholls, Ríos y Altieri promueven el estudio de la agroecología y resiliencia socioecológica mediante una Red Iberoamericana de Agroecología para el desarrollo de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático (REDAGRES), desarrollan una metodología que permite evaluar la capacidad de los agroecosistemas para resistir y recuperarse de los eventos climáticos severos, con especial énfasis en entender los procesos que explican la resiliencia socio-ecológica (Nicholls et al., 2013). Los estudios

que realizaron para evaluar la metodología fue la selección de sistemas campesinos en regiones seleccionados de siete países para identificar sistemas que han soportado eventos climáticos extremos, de manera de estudiar los mecanismos sociales y ecológicos que permiten o permitieron a los agricultores y sus sistemas productivos resistir y/o recuperarse de los impactos de los eventos.

Cabel & Oelofse (2012) propusieron los siguientes indicadores de comportamiento para evaluar resiliencia en un agroecosistema: Socialmente autoorganizado, ecológicamente autorregulado, apropiadamente conectado, diversidad funcional, óptimamente redundante, heterogeneidad espacial y temporal, expuesto a la perturbación, capital natural, aprendizaje reflexivo y compartido, globalmente autónomo y localmente interdependiente, construir capital humano, honores heredados y razonablemente rentable. En cada descripción de los indicadores se mencionan al menos un ejemplo concreto de cómo se ve esta conducta en la práctica. Los sistemas en los que están presentes dichos indicadores son más propensos a ser resistentes a las perturbaciones de diferentes tipos. La ausencia o desaparición expone vulnerabilidades o indica un alejamiento de la resiliencia (Béné, Godfrey Wood, Newsham & Davies, 2012).

Cleves, (2018) determino la resiliencia a la variabilidad climática (VC), en agroecosistemas citrícolas de Naranja Valencia, con diferentes Estructura Agroecológica Principal (EAP) por medio de un índice de resiliencia agroecosistémico, como resultado obtuvo que los sistemas agrícolas más diversificados son más resilientes a la VC.

Tracy et al., 2018 analizaron los diferentes tipos de forrajes y concluyeron que los efectos de la diversidad en la función del ecosistema se han estudiado ampliamente pero todavía existe un debate sobre qué niveles de forraje y diversidad animal se necesitan para mantener la función del ecosistema.

Los autores Douxchamps et al. (2017), usando una revisión exhaustiva y un enfoque de selección sistemática, revisaron las herramientas de evaluación de la resiliencia desarrolladas para el contexto del cambio climático y el desarrollo agrícola, y sus vínculos con los marcos teóricos, con un enfoque particular en la elección de los indicadores y la escala y los métodos de medición. Se seleccionaron y evaluaron quince herramientas provenientes de diversas organizaciones de acuerdo con un marco de medición. El estudio

encontró que, si bien algunas de las herramientas permanecen integradas en los enfoques clásicos, simplemente agregando una lente de resiliencia a las herramientas anteriores y reciclando indicadores, otras demuestran un verdadero intento de repensar para dar cuenta de las dimensiones de resiliencia. Concluyeron que, para el uso de herramientas de evaluación de resiliencia, un desafío importante es garantizar que las herramientas simples y operativas puedan abordar la complejidad (Douxchamps et al., 2017).

1.7 Índices e indicadores compuestos para la evaluación de la Resiliencia

Según los autores Panpakdee y Limnirankul (2017) evaluar la resiliencia de un sistema específico también requiere un índice específico, porque la naturaleza de la resiliencia depende en gran medida de escalas temporales y espaciales. La literatura menciona que un indicador compuesto es una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente. Puede ser de carácter cuantitativo o cualitativo según los requerimientos del analista (OECD, 2008). En términos técnicos, un indicador se define como una función de una o más variables, que conjuntamente “miden” una característica o atributo de los individuos en estudio (Schuschny & Soto, 2009).

Los indicadores compuestos se construyen con el objetivo de medir el desempeño de una unidad de análisis en un área o tema determinado, lo que puede ser utilizado como punto de partida para el estudio de la situación de la misma ya que proporciona información acerca de una cuestión de relevancia y permite percibir una tendencia o fenómeno (Schuschny & Soto, 2009).

Los índices se derivan combinando una serie de indicadores que se consideran importantes con sus pesos asignados subjetivamente. Su respectiva validación da paso a una herramienta objetiva de toma de decisiones para monitorear el progreso en la resiliencia a través del espacio, tiempo y tipo de peligro (Cai et al., 2018).

Bizikova et al. (2019) identificaron dos usos importantes para los indicadores de resiliencia: i) identificar vulnerabilidades específicas y brechas en la resiliencia con respecto a un

objetivo específico, lo que permite definir políticas específicas y ii) evaluar la efectividad de las acciones o programas de adaptación para conferir mayor resiliencia.

En este contexto, los indicadores de resiliencia ayudan extender los impactos desde la medida disciplinaria única más tradicional a un conjunto más holístico de medidas, lo que aumenta la relevancia para una gama de diferentes objetivos de gobernanza, políticas y planificación (Bizikova, Larkin, Mitchell & Waldick, 2019).

Los indicadores de resiliencia están diseñados para contribuir al sentido de propiedad de una comunidad sobre la planificación, implementación, monitoreo y evaluación de su producción y prácticas de gestión de recursos. Las lecciones y el conocimiento generados por estas actividades se pueden utilizar para comunicar visiones y estrategias locales para paisajes resilientes y ecosistemas productivos como insumo en políticas y programas de alto nivel que afectan los medios de vida de la comunidad, así como una mayor planificación de conservación y gestión de recursos (ONU-IAS, Biodiversity International, IGES, & UNDP, 2014).

1.8 Indicadores de resiliencia basados en el comportamiento del agroecosistema

De acuerdo con los autores Cabel y Oelofse (2012) un agroecosistema es resiliente cuando presente los siguientes indicadores de comportamiento, identificaron los indicadores más representativos que describen las características propias para que un agroecosistema sea resiliente.

En la Tabla 1 se presentan los siguientes indicadores de comportamiento, que compilaron los autores en donde mencionan que si estos están presentes en un agroecosistema significa que es resiliente.

Tabla 1. Indicadores de comportamientos presentes en un agroecosistema resiliente propuestos por Cabel y Oelofse (2012).

Indicador de comportamiento	Definición
Diversidad funcional y de respuesta	La diversidad funcional es la variedad de servicios ecosistémicos que los componentes proporcionan al sistema; La diversidad de respuesta es el rango de respuestas de estos componentes al medio ambiente. La diversidad amortigua las perturbaciones (seguro) y proporciona semillas de renovación después de la perturbación. Heterogeneidad de características dentro del paisaje y en la finca; diversidad de insumos, productos, fuentes de ingresos, mercados, control de plagas, entre otros (Cabel & Oelofse, 2012).
Ecológicamente autorregulado	Los componentes ecológicos se autorregulan a través de mecanismos de retroalimentación estabilizadores que envían información a los elementos de control. Un mayor grado de autorregulación ecológica puede reducir la cantidad de insumos externos necesarios para mantener un sistema, como nutrientes, agua y energía. Las granjas mantienen la cobertura vegetal e incorporan más plantas perennes, proporcionan hábitat para depredadores y parasitoides, utilizan ingenieros de ecosistemas y alinean la producción con los parámetros ecológicos locales.
Socialmente autoorganizado	Los componentes sociales del agroecosistema pueden formar su propia configuración en función de sus necesidades y deseos. Los sistemas que exhiben un mayor nivel de autoorganización necesitan menos comentarios introducidos por los gerentes y tienen una mayor capacidad de adaptación intrínseca. Los agricultores y los consumidores pueden organizarse en redes e instituciones de base tales como cooperativas, mercados de agricultores, asociaciones comunitarias de sostenibilidad, jardines comunitarios y redes de asesoramiento.
Heterogeneidad espacial y temporal	Al igual que la diversidad, la heterogeneidad espacial proporciona semillas de renovación después de la perturbación; A través del tiempo, permite que los parches recuperen y restauren los nutrientes. Parches en la granja y en todo el paisaje, patrón de mosaico de tierras administradas y no gestionadas, prácticas de cultivo diversas, cultivos rotaciones.
Expuesto a disturbios	El sistema está expuesto a eventos discretos de bajo nivel que causan interrupciones sin empujar el sistema más allá de un umbral crítico. Estas perturbaciones frecuentes a pequeña escala pueden aumentar la resistencia y adaptabilidad del sistema a largo plazo al promover la selección natural y las configuraciones novedosas durante la fase de renovación; descrito como “destrucción creativa”. Manejo de plagas que permite una cierta cantidad controlada de invasión, seguido por la selección de plantas que funcionaron bien y muestran signos de resistencia.
Capital natural local	El sistema funciona si los recursos de base naturales y servicios ecosistémicos bio-regionalmente disponibles. El uso responsable de los recursos locales alienta a un sistema a vivir dentro de sus

Indicador de comportamiento	Definición
	posibilidades; esto crea un agroecosistema que recicla desechos, depende de un suelo saludable y conservación del agua.
Aprendizaje reflexivo y compartido	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.
Globalmente autónomo y localmente interdependiente	Un sistema no puede ser completamente autónomo, pero puede esforzarse por ser menos vulnerable a las fuerzas que están fuera de su control; la interdependencia local puede facilitar esto fomentando la colaboración y la cooperación en lugar de la competencia.
Honores heredados	La configuración actual y las trayectorias futuras de los sistemas están influenciadas e informadas por condiciones y experiencias pasadas. También conocido como dependencia de ruta, esto se relaciona con la memoria biológica y cultural incorporada en un sistema y sus componentes.
Razonablemente rentable	Los segmentos de la sociedad que participan en la agricultura pueden ganarse la vida con el trabajo que realizan sin depender demasiado de los subsidios o el empleo secundario. Ser razonablemente rentable permite a los participantes del sistema invertir en el futuro; esto agrega capacidad de almacenamiento en búfer, flexibilidad y crea riqueza que puede ser aprovechado en siguiente lanzamiento.

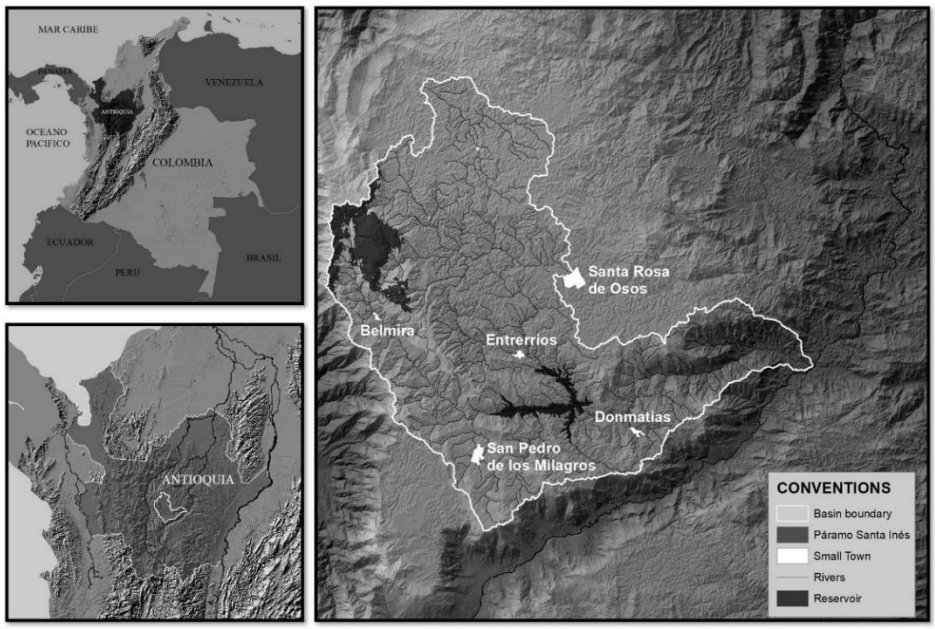
2. Metodología

En este capítulo se presentan los aspectos de orden metodológico que permitieron el cumplimiento del objetivo general de la propuesta de investigación que abarca este proyecto. La ruta metodológica planteada constó de cinco fases y de las respectivas actividades que comprendió cada fase.

2.1 Caso de estudio: Cuenca de Río Grande

La cuenca de Río Grande (CRG) está ubicada en la región noroccidental de Colombia, como se puede observar en la **Figura 1**, cuenta con cinco municipios dentro de ella. El área total de CRG es de aproximadamente 127.896,29 hectáreas (1.278,96 km2), de los cuales 61,62% son pastos dedicados principalmente a la ganadería lechera, 28,99% son áreas de bosques, páramos, plantaciones forestales y arbustos en diferentes etapas de sucesión con usos productivos y protectores, el 1,54% está dedicado a la agricultura de cultivos transitorios como la papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) y cultivos como el tamarillo (*Cyphomandra betacea* Cav. Sendt), el aguacate (*Persea americana* Mill.) y el café (*Coffea arábiga* L.). El 7,85% restante corresponde a infraestructura, procesos mineros pequeños, superficie del agua y áreas degradadas (CORANTIOQUIA y UNAL, 2015).

Figura 1. Ubicación Cuenca Rio Grande



Fuente: Machado, Villegas-Palacio, Loaiza, & Castañeda, (2019).

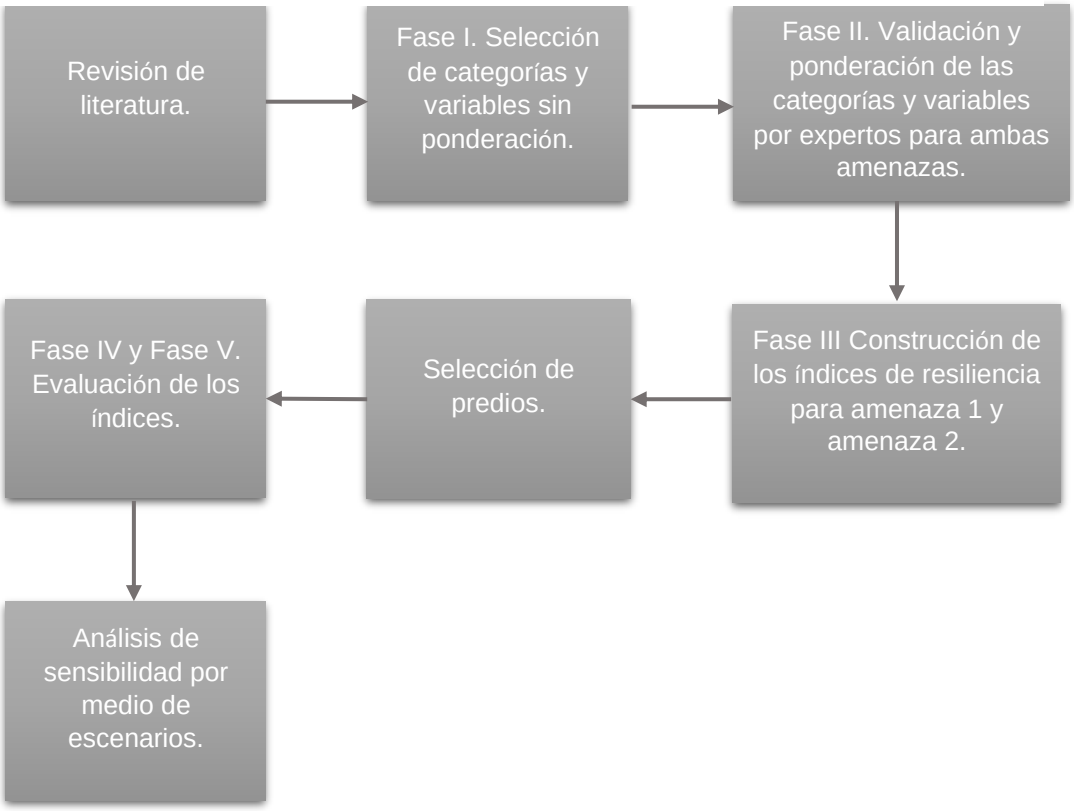
La población total en la CRG es de aproximadamente 68,000 habitantes. Las principales fuentes de ingresos son la ganadería lechera, la avicultura, la crianza de cerdos y en menor proporción las actividades agrícolas como los cultivos de papa, el tomate de árbol y el café en la parte inferior de la cuenca. En las áreas urbanas, el desarrollo de servicios de agroindustria que respaldan las actividades agrícolas y ganaderas es la principal fuente de ingresos. Dentro de CGR se encuentra el embalse de Río Grande II que es fuente del suministro de agua y energía para el 32% de la población en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Dada la importancia estratégica de esta área, desde hace quince años se diseñaron una serie de planes, programas y políticas con el objetivo de restaurar y conservar ecosistemas estratégicos para la región (I. V. Bolaños, 2017).

2.2 Construcción del índice de Resiliencia

El índice de resiliencia es una combinación ponderada de varias categorías y variables. En esta investigación se construye el índice de resiliencia de un agroecosistema frente a la amenaza 1 que corresponde al cambio climático y frente a la amenaza 2 que corresponde

al cambio en los precios. Su construcción inicia a partir de una revisión de literatura en la cual se identifican las categorías y variables que determinan la resiliencia de un agroecosistema, luego se validan y ponderan estas categorías y variables por medio de un grupo focal de expertos con el objetivo de establecer los pesos de importancia y permitir la elaboración de la estructura del índice. Se procede con la selección de los predios en los cuales se hará la evaluación del índice por medio de una base de datos que pertenecen a varias investigaciones del caso de estudio. Una vez sistematizada la información pertinente a cada variable se procede con la evaluación del índice en cada agroecosistema (predio), es decir, la escala espacial del índice es a nivel de predio. En la **Figura 2** se presenta la ruta metodológica usada para construir el índice. En esta sección se presentan las cinco fases que corresponden a la construcción del índice y que se detallan a continuación.

Figura 2. Ruta metodológica para la construcción del índice de resiliencia de un agroecosistema.

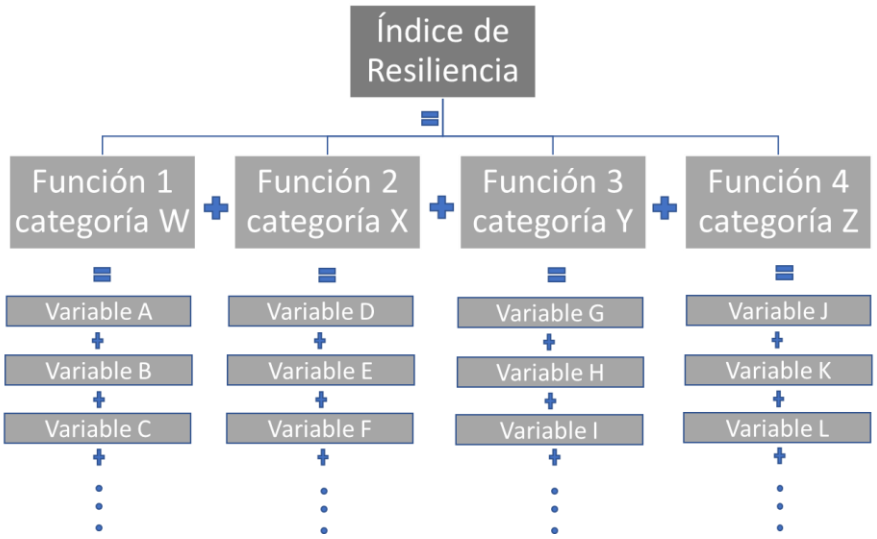


Fuente: Elaboración propia

2.2.1 Fase I. Determinación de categorías y sus variables, adaptadas al contexto de SSE.

El índice de resiliencia se propone como la agregación de categorías y variables. Las categorías son una forma de clasificar las variables en diferentes clases como se muestra en la **Figura 3**.

Figura 3. Componentes del índice de resiliencia



Fuente: Elaboración propia

Para la identificación de categorías y variables, inicialmente se hizo una revisión detallada de literatura relacionada con el concepto de resiliencia en agroecosistemas.

La revisión de literatura se realizó utilizando inicialmente los metabuscadores y la vigilancia tecnológica a través de las herramientas de SCOPUS y Web science, para identificar los enfoques de SSE y resiliencia frente a cambios en el sistema natural y cambios en el sistema socioeconómico.

En esta revisión fue importante identificar las categorías, indicadores y las variables preidentificados en los enfoques mencionados y se realizó un filtro de acuerdo con el marco conceptual desarrollado para obtener la información que se adapte al contexto de SSE.

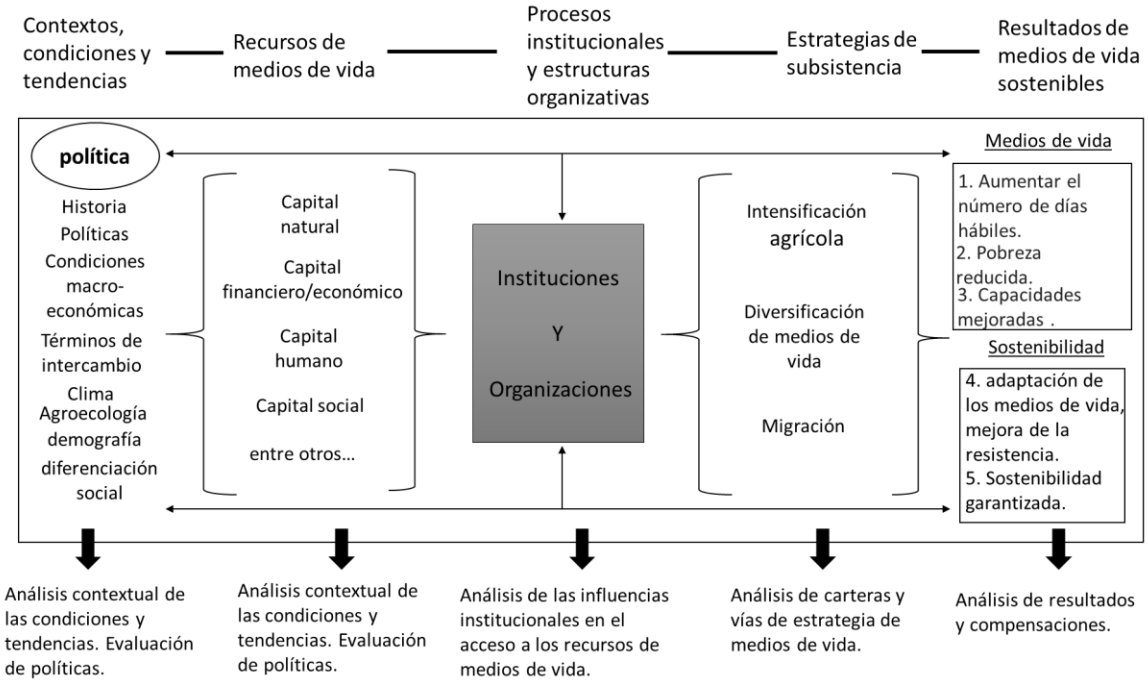
Las categorías definen y limitan el contexto a evaluar, las categorías estuvieron basadas en los capitales compuestos propuestos por el marco conceptual de medios de vida

sostenibles propuesto por Scoones (1998) que se presenta en la **Figura 4** este marco se puede aplicar en una gama de escalas diferentes, desde individual, a hogar, a grupo de hogares, a grupos de parentesco extendidos, a pueblos, regiones o incluso naciones, con resultados de medios de vida sostenibles evaluados en diferentes niveles.

Un medio de vida comprende las capacidades, los activos (incluidos los recursos materiales y sociales) y las actividades necesarias para un medio de vida. Un medio de vida es sostenible cuando puede hacer frente y recuperarse de tensiones y choques, mantener o mejorar sus capacidades y activos, sin socavar la base de recursos naturales. En otras palabras, un medio de vida puede ser resiliente frente a las amenazas. Además estas categorías también son utilizadas en un estudio que realizaron Srinivasa et al. (2020) en donde construyeron indicadores de sostenibilidad basados en el agroecosistema para la agricultura resiliente al clima en la India.

Para esta investigación en primera instancia las variables están estrechamente relacionadas con los indicadores basados en el comportamiento propuestos por Cabell & Oelofse (2012) que se explicaron anteriormente, debido a que exponen las características de un agroecosistema resiliente. Según lo mencionan, las categorías para analizar un agroecosistema son: ecológico, social, económico y político (Darnhofer, 2014).

Figura 4. Medios de vida rurales sostenibles: un marco para el análisis



Fuente: Scoones, (1998).

2.2.2 Fase II. Validación y ponderación de categorías y variables por medio de expertos.

Para dar validez y ponderación a las categorías y variables obtenidas en la fase I se utilizó el método de grupo focal de expertos, el cual se entiende como una técnica sistemática para recopilar la opinión científicamente válida de expertos sobre un tema determinado (Munaretto et al., 2013). Esta técnica es reconocida en la investigación cualitativa y permite que los miembros den su opinión desde las experiencias, la pluralidad y contrastación de las opiniones (Bertoldi et al., 2006). Esta validación se realizó mediante entrevistas individuales en donde se llevó a cabo una comunicación entre investigador y conocedor, se desarrolló la encuesta en donde se presentaba la descripción de cada categoría y cada variable para la construcción de los índices de resiliencia frente a las amenazas de cambio climático y cambio de los precios (ver Anexo 1). En las entrevistas individuales cada experto, de acuerdo con su conocimiento y experiencia, respondió la encuesta con el fin de otorgarle la ponderación a cada categoría y cada variable para ser evaluadas frente a las dos amenazas explicadas en la sección 3.3.

El grupo de nueve expertos fue seleccionado con base en sus conocimientos en SSE, en sistemas de producción agraria, en resiliencia, y conocedores del área de estudio y experiencia frente a temas relacionados con esta investigación en agroecosistemas. De los nueves expertos cinco son profesores de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, y cuatro son profesionales que han trabajado y pertenecen a organizaciones que han desarrollan estrategias de sostenibilidad y restauración para los sistemas agrarios en el caso de estudio, como Grupo HTM (Hábitat, territorio y medio ambiente) y el CIPAV (Centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria).

La encuesta está conformada por tres secciones, en la primera sección se explicó el trabajo de investigación con sus respectivos temas para poner en contexto al experto y el objetivo de la encuesta. La segunda sección describe las categorías y de las variables con el fin de validarlas. En la tercera sección se les explicó a los expertos el sistema de ponderación en el que deben otorgar el peso de importancia de las categorías y variables para la amenaza 1 (A1) y para la amenaza 2 (A2). Los expertos según su criterio realizaron la ponderación.

Cada categoría y cada variable pueden tener dos ponderaciones diferentes, una para cada amenaza. Esto se debe a que un sistema puede ser resiliente de forma diferenciada a cada tipo de amenaza, como la teoría de resiliencia menciona se debe especificar frente a que se es resiliente (Carpenter et al., 2001), además cada categoría y variable puede tener diferente importancia en la resiliencia frente a cada amenaza. La ponderación de las categorías y variables por los nueve expertos se promediaron para asignar el peso correspondiente a cada una para generar la estructura de los índices.

2.2.3 Fase III. Construcción del índice de resiliencia.

En esta fase se construyeron dos índices de resiliencia de un agroecosistema, uno frente al cambio climático (amenaza 1) y otro frente al cambio en los precios (amenaza 2), de acuerdo con los pesos de las variables y las categorías promediados y obtenidos a partir de la fase II.

La amenaza frente al cambio climático en esta investigación consiste en las perturbaciones que se presentan en un agroecosistema debido a los cambios en las variables meteorológicas, la temperatura y precipitación, estos cambios afectan el comportamiento del agroecosistema.

La amenaza frente al cambio en los precios consiste en la fluctuación que se presentan tanto en los precios de venta del producto final y en el valor de los insumos, esto afecta principalmente los ingresos y el manejo del agroecosistema. Estas amenazas se describen con mayor profundidad en la sección 2.3.

Ambos índices están compuestos de las mismas categorías y variables, sin embargo, se diferencian en los pesos de cada una.

En la **Ec. 1** se presenta la estructura general para cada categoría frente a la amenaza 1.

En la **Ec. 2** se presenta la estructura general para cada categoría frente a la amenaza 2.

Ambas ecuaciones (1 y 2) muestran que el valor de cada categoría está dado por la suma ponderada de las variables que la conforman.

$$Cat_j = (W1_{Vari1} * Vari1) + (W1_{Vari2} * Vari2) + \cdots + (W1_{Vari} * Vari) \qquad \text{Ec. 1}$$

$$Cat_j = (W2_{Vari1} * Vari1) + (W2_{Vari2} * Vari2) + \cdots + (W2_{Vari} * Vari) \qquad \text{Ec. 2}$$

En donde,

$\boldsymbol{W1_{Vari}}$ es el peso de la variable $\boldsymbol{i}$ frente la amenaza 1.

$\boldsymbol{W2_{Vari}}$ es el peso de la variable $\boldsymbol{i}$ frente la amenaza 2.

$\boldsymbol{Var_i}$ es el valor de la variable $\boldsymbol{i}$.

$\boldsymbol{i}$ representa las variables de la categoría j.

Se presenta a continuación la estructura general del índice de resiliencia en un agroecosistema para la amenaza del cambio climático -IRA1- (ver **Ec.** 3) y el índice de resiliencia en un agroecosistema para la amenaza del cambio de los precios -IRA2- (ver **Ec.** 4).

$$\boldsymbol{IRA1 = (w1catj1 * Catj1) + (w1Catj2 * Catj2) + (w1Catj3 * Catj3) + \cdots + (w1Catj * Catj)} \qquad \textbf{Ec. 3}$$

$$\boldsymbol{IRA2 = (w2catj1 * Catj1) + (w2Catj2 * Catj2) + (w2Catj3 * Catj3) + \cdots + (w2Catj * Catj)} \qquad \textbf{Ec. 4}$$

En donde,

$w1\text{Cat}\boldsymbol{j}$ es el peso de la categoría $\boldsymbol{j}$ frente la amenaza 1.

$w2\text{Cat}\boldsymbol{j}$ es el peso de la variable $\boldsymbol{j}$ frente la amenaza 2.

$C\text{at}\boldsymbol{j}$ es el valor de la categoría $\boldsymbol{j}$

Una vez obtenida la estructura de las ecuaciones con los pesos de ambos índices se procede con la siguiente fase de la selección de predios y sistematización de la información recolectada para las variables que lo conforman.

2.2.4 Fase IV. Sistematización de la información.

Para realizar esta fase se trabajó con la base de datos que se consolidó a partir de las investigaciones que desarrollaron Berrouet et al., 2018; Machado et al., 2019; Marsiglia Rivera, 2017.

Berrouet utilizó esta base de datos para su trabajo de investigación de doctorado en el cual evaluó la vulnerabilidad de los sistemas sociales frente al cambio en la provisión de servicios ecosistémicos, para eso construyo un índice compuesto por dos parámetros la dependencia y la adaptación, que permite evaluar la vulnerabilidad en el caso de estudio que también se contempla en esta investigación. Esta base de datos está compuesta por 172 predios, que seleccionó en su investigación realizando talleres participativos en los municipios del área de estudio. La información para la evaluación de la vulnerabilidad se recopiló de entrevistas semiestructuradas, talleres y encuestas a personas de la cuenca RG realizadas en dos fases durante el período 2015-2016. Por su lado Marsiglia Rivera construyó un índice de capacidad adaptativa frente a la perdida de servicios ecosistémicos a nivel de hogar evaluado en la cuenca Rio Grande. En cuanto a Machado et al. (2019) cuantificó y caracterizó el estado del capital natural del suelo a través de un índice de vulnerabilidad a los cambios en la cubierta vegetal y su influencia en la provisión de servicios ecosistémicos para la prevención de la erosión del suelo en suelos tropicales. De los trabajos realizados por Marsiglia Rivera (2018) y Machado et al. (2019), se utilizaron en esta investigación algunas de las variables determinadas y evaluadas en la zona de estudio.

La selección de los predios que realizaron los autores mencionados anteriormente se realizó 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.

Una vez definidas las ZHF de la zona, se realiza una identificación de las ZHF con mayor proporción de área dentro de cada municipio. Se seleccionan 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. Un núcleo de trabajo se refiere al agrupamiento de veredas de una zona específica que se caracterizan por su cercanía. En estos núcleos se realizan talleres participativos y encuestas en predios (Berrouet et al., 2018).

La recolección de la información por parte de Berrouet et al. 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, Berrouet, López, Ruiz, & Upegui, 2016).

En esta base de datos 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).

Se recolectó y sistematizó la información necesaria de la base de datos para las variables que se validaron y ponderaron en la fase II por medio del software Excel, con el fin de estandarizar los valores de cada una de las variables para calcular los componentes del índice de resiliencia por medio de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, como se muestra en la fase V a continuación.

2.2.5 *Fase V. Evaluación del índice de resiliencia en sistemas de producción agraria en el caso de estudio*.

En esta fase se seleccionaron algunos de los predios que se encuentran en la base de datos, los predios seleccionados para esta investigación contienen la información de las variables seleccionadas en la fase II, necesarias para la operacionalización de los índices de resiliencia para la amenaza de cambio climático y para la amenaza de cambio en los precios. La escala de la información para las variables es a nivel de predio. Estos predios están situados en el caso de estudio y en esta investigación cada predio es considerado como un agroecosistema. De esta forma se procede con la evaluación que consiste en la operacionalización, es decir en llevar a cabo los cálculos de la estructura de ambos índices (**Ecuaciones 1, 2, 3 y 4**).

2.3 Amenazas el agroecosistema

Los agroecosistemas pueden experimentar presiones y disturbios de diferentes tipos y grados, desde eventos climáticos extremos hasta conmociones del mercado y profundos cambios demográficos e institucionales. Los bosques, las tierras de cultivo, los lagos y otros hábitats se ven afectados por incendios, tormentas y sequías, y casi todos los paisajes se ven afectados en cierto grado por presiones inducidas por el hombre, como la contaminación, la erosión del suelo, la deforestación y la introducción de especies invasoras que pueden provocar degradación del ecosistema. Eventos como los disturbios políticos y las crisis económicas afectan a las sociedades humanas, provocando cambios en la forma en que se utilizan los bienes y servicios del ecosistema. Estas perturbaciones pueden afectar directa e indirectamente los medios de vida de las comunidades locales, por ejemplo, a través de precios de insumos más altos, producción reducida y precios de cosecha más bajos. Además de los impactos de estos choques y perturbaciones a corto

plazo, los ecosistemas están influenciados por cambios relativamente graduales pero continuos en el clima y las prácticas e instituciones socioculturales (ONU-IAS et al., 2014).

Estas amenazas son una perturbación que puede ser exógena o endógena del sistema, esto con el fin de analizar y entender los efectos de estas perturbaciones.

A continuación, se expondrán las dos amenazas que se escogieron para esta investigación, entendidas como perturbaciones exógenas que pueden afectar a un agroecosistema.

2.3.1 Amenaza 1: Cambio Climático

En este proyecto se entiende por clima, al comportamiento medio observado en un periodo de tiempo determinado, de las principales variables meteorológicas que describen el estado del tiempo (IPCC, 1995). Cuando ese comportamiento cambia de manera permanente, se dice que ha ocurrido un cambio climático (Oviedo-Torres, 2010).

El clima regula las actividades agropecuarias, la oferta hídrica, la cobertura vegetal, el hábitat de especies animales y vegetales, los hábitos de las personas, y en casos de cambio extremo, incrementa la vulnerabilidad por el aumento de sequías, inundaciones, incendios forestales, tormentas, heladas (Oviedo Torres, 2010; Poveda Jaramillo, 2006).

La influencia del cambio climático global dentro de la compleja climatología de Colombia puede tener impactos de gran relevancia sobre los patrones en variables ambientales como la precipitación, temperatura, los recursos naturales, los ecosistemas y los sistemas humanos, representando un riesgo para la población (García Múnera, Arias Gómez, & Vieira Agudelo, 2016).

Siguiendo la misma idea en el informe del IPCC (2014) se reafirma que el cambio climático y la variabilidad afectarán la producción de alimentos y fibra en todo el mundo, debido a los efectos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas por el CO2 elevado, temperaturas más altas, precipitación y regímenes de transpiración alterados, y una mayor frecuencia de eventos extremos (Altieri et al., 2015; Lobell et al., 2011).

El concepto de Amenaza climática se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento de magnitud x de parámetros asociados al Cambio Climático que pueden tener un impacto

ambiental en una zona determinada por un cierto período de tiempo (IDEAM & PNUD, 2017).

Hacia mediados del siglo XXI, el cambio climático haría disminuir los recursos hídricos en gran número de islas pequeñas, por ejemplo, del Caribe o del Pacífico, hasta el punto de no ser ya suficientes para cubrir la demanda durante períodos de precipitación escasa (Oviedo Torres, 2010). Se estima que, a finales del siglo, América latina sufrirá un incremento de temperatura entre 1ºC a 6ºC dependiendo de la región de evaluación (Restrepo et al., 2019).

Según IDEAM & PNUD (2017) 1, en Colombia a nivel espacial para el periodo 2011-2040 en relación con el periodo de referencia 1976-2005, se esperaría que la magnitud de los cambios de la temperatura media para Colombia manifieste un aumento de aproximadamente 1.0ºC.

En el informe de nuevos escenarios de cambio climático para Colombia del IDEAM 2, en Antioquia los principales aumentos de temperatura, según los escenarios, podrán presentarse en los bordes y la periferia departamental, particularmente en los territorios con menos altura sobre el nivel del mar. Se estima que para fin de siglo el departamento en promedio pueda aumentar hasta 2,2°C. En los siguientes 25 años (2011-2040) podrá aumentar la temperatura en promedio en 0,8°C. Los escenarios creados por el IDEAM son dos, el escenario base de precipitación y temperatura 1976-2005 –que presenta el comportamiento de estas variables en el territorio durante ese periodo– y el escenario 2011-2040, que presenta los cambios esperados en las dos mismas variables en el corto plazo, al igual que el escenario 2041-2070 y 2071-2100. El IDEAM calculó tendencias a los años 2040, 2070 y 2100 con el multiensamble de modelos.

---

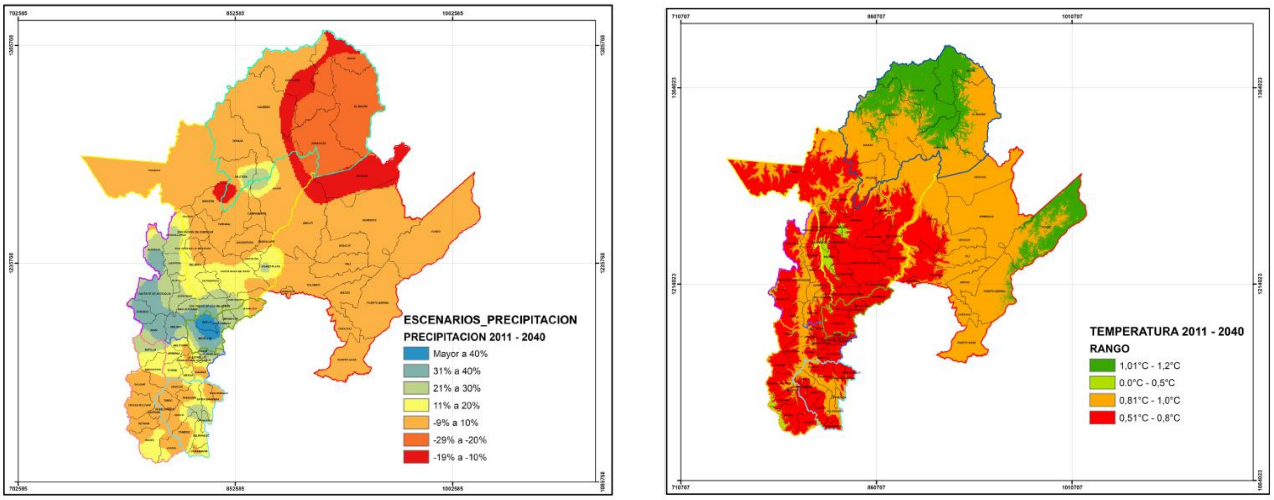
[1] TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA A LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

[2] NUEVOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA COLOMBIA 2011 – 2100 HERRAMIENTAS CIENTÍFICAS PARA LA TOMA DE DECISIONES, FICHAS DEPARTAMENTALES DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO (http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/022963.htm) (http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/fichas_departamentales/antioquia_fichatecnica.pdf).

para distintos escenarios de emisiones, lo cual permite reducir la incertidumbre de los resultados.

Para los ecosistemas de páramo y sus zonas de amortiguamiento –ambos clasificados dentro de las categorías bosques húmedos premontanos y bosques muy húmedos montanos–, se evidencia el cambio en el régimen de precipitación, entre 11 y 20 % y un incremento en la temperatura de 0,8 °C para este periodo de tiempo (Moscoso et al., 2019).

Figura 5. Escenarios de precipitación y Escenarios de temperatura respectivamente en Antioquia



Fuente: Moscoso et al. (2019). Escenarios de precipitación y temperatura 2011-2040 para la jurisdicción de Corantioquia. Fuente: elaboración equipo técnico Tomado de. Convenio CV-1611-214 (Corantioquia, 2017) basada en los escenarios de cambio climático del Ideam (Ideam et al., 2015).

Los riesgos o afectaciones del cambio climático a los sistemas socio ecológicos son especialmente importantes en las cuencas hidrográficas de los Andes tropicales, las cuales proporcionan múltiples servicios ambientales como el agua para consumo humano y donde se localizan las principales actividades productivas y la gran mayoría de la población (García Múnera et al., 2016).

Moscoso et al., (2019) menciona que los aumentos drásticos de la temperatura en los páramos provocarían una migración altitudinal hacia las partes más altas de la montaña;

además, una reducción en las precipitaciones para los humedales podría, aunado con las malas prácticas de manejo de estos, llevarlos a un estado de perturbación irreversible.

Dado que la temperatura y precipitación son las dos variables que marcan las tendencias del cambio climático, la composición natural de los ecosistemas, –específicamente del bosque seco tropical, humedales, páramos y el ecotono con el bosque altoandino podrían verse afectados en diferente medida por las variaciones de dichos parámetros y, por consiguiente, lo haría también la provisión de bienes y servicios ambientales, que son indispensables para el sustento de las comunidades humanas (Moscoso et al., 2019).

En cuanto al caso de estudio abordado en este proyecto, García Múnera et al., (2016) analizaron las tendencias en series de precipitación y temperatura de la cuenca del río Grande en Antioquia, Colombia, con el fin de detectar posibles señales de cambio climático y contribuir a la gestión del riesgo en la región. Obtuvieron los resultados de tendencias de las estaciones de precipitación del IDEAM que muestran una distribución de tendencias crecientes y decrecientes en la cuenca del río Grande, con tendencias estadísticamente significativas para las estaciones Los Llanos De Cuivá, San Pablo y San Isidro, para casi todos los análisis realizados. Mientras para la temperatura los resultados de los análisis de tendencias de temperatura son más contundentes que las tendencias de precipitación, puesto que para ambas bases de datos las tendencias de temperatura son crecientes y estadísticamente significativas en toda la cuenca. Este resultado muestra que efectivamente se está presentando un calentamiento en la región del orden de 0.4°C/década. Este calentamiento puede deberse al cambio climático o a factores locales; sin embargo, es necesario profundizar la investigación al respecto (García Múnera et al., 2016).

La gestión del riesgo por cambio climático y la adaptación al cambio climático se centran, por lo tanto, en la reducción de la exposición y la vulnerabilidad y en aumentar la resiliencia a sus potenciales impactos adversos (IDEAM & PNUD, 2017). De acuerdo con la idea anterior y con los datos evidenciados del cambio climático en la zona de estudio, se evaluó la resiliencia en cada predio frente a la amenaza de cambio climático.

2.3.2 Amenaza 2: Cambio en los precios de insumos y de producto final.

Las fluctuaciones en los precios a corto plazo pueden ser causadas por la cantidad de producto que está a la venta en un día, los cambios en la demanda a corto plazo, la

disponibilidad en el mercado de los productos competitivos y las cooperativas que compran la materia prima que generan los agricultores. Por otro lado, las fluctuaciones en los precios a largo plazo dependen de la oferta y la demanda. La primera es afectada por la cantidad de sembrado los agricultores, el estado del tiempo y las propias necesidades de consumo de los agricultores, la segunda es afectada por el precio de los productos competitivos (FAO, s.f.).

En Colombia en el periodo comprendido entre enero de 1995 y junio de 2005 se evidencia un deterioro de la rentabilidad de los productores lecheros, pues mientras los costos aumentaron un 303%, el precio de la leche lo hizo apenas un 207% cifra menor incluso a la inflación (Ramírez & Vásquez, 2009). La Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN), reportó que el costo de producción de leche por litro en Antioquia para el año 2018 hubo un incremento del 3,4 % en el costo de producción por litro de leche con base al año 2015. Esta amenaza puede repercutir tanto en los precios de venta del producto como en los precios de los insumos para la producción.

2.4 Análisis de sensibilidad del índice de resiliencia.

En esta fase se desea analizar la sensibilidad que presenta el índice de resiliencia cuando se generan cambios en las variables referentes a las amenazas planteadas. Para realizar el análisis se crean diferentes escenarios con base en las dos amenazas en donde se varían variables del índice para poder entender los efectos de estas perturbaciones en el índice, y así comprender la sensibilidad de este.

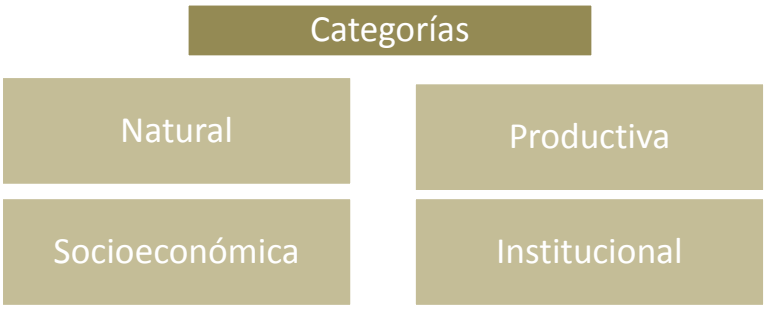
3. Resultados

En esta sección se expondrán los resultados de las fases que se mencionaron en el capítulo 2.

3.1 Fase I. Determinación de categorías y sus variables, adaptadas al contexto de SSE.

Las categorías seleccionadas contextualizan y limitan el agroecosistema; según la literatura estas categorías deben estar presentes en la construcción de la resiliencia. En las categorías se encuentran variables que se consideran más relevantes para evaluar la resiliencia en un agroecosistema. En la Figura 6 se presentan las categorías que conforman el índice de resiliencia, se seleccionaron estas categorías de acuerdo con la literatura y el juicio de expertos.

Figura 6. Categorías que conforman el índice de resiliencia.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se presentan y definen las categorías y variables que conforman el índice de resiliencia. Además, se describe la forma de medición cualitativa o cuantitativa de la

variable y las referencias de literatura científica en las que se basó la selección de las variables

Tabla 2. Categorías y variables con su respectiva definición, forma de medición y referencia.

Categorías	Variable	Definición de variable	Medición de la variable	Referencias
Sistema Natural	Coberturas del suelo	Capa de vegetación que cubre la superficie terrestre: pastizales, bosques, cultivos, rastrojos, entre otros, que tienen características propias. Estas coberturas en términos de diversidad funcional de la vegetación mantienen las funciones del ecosistema para el suministro de los servicios ecosistémicos.	Número de coberturas en el predio	(Biggs et al., 2012; Bizikova et al., 2019; Ciftcioglu, 2017; Srinivasa et al., 2020; Altieri & Koohafkan, 2008).
	Indicador de homogeneidad de las proporciones de las coberturas	En cada predio puede haber diferentes coberturas vegetales. Esta variable captura el grado de qué tan semejante es el área del predio (en porcentaje) cubierta por cada cobertura. Permite identificar si hay una (o varias) cobertura dominante en el predio	Desviación estándar de los porcentajes de aréas de las diferentes coberturas vegetales	(Biggs et al., 2012; Bizikova et al., 2019).
	Aproximado de conectividad de bosques	Se refiere a la relación de la presencia de bosque en los agroecosistemas y la distancia a parches de bosques cercanos a los predios.	Presencia y distancia de predio a parche de bosque.	(Cleves-leguízamo, Toro-calderón, & Martínez-bernal, 2017; Cleves, 2018; León Sicard et al., 2014).
	Grado de vulnerabilidad del suelo	La vulnerabilidad del capital natural del suelo (SNC) se define como la pérdida de la capacidad de SNC para mantener las funciones del ecosistema y sus servicios asociados como el control de erosión, cuando se enfrentan a diferentes amenazas en un espacio y tiempo determinados.	Índice de vulnerabilidad propuesto y medido por Machado et al 2018 para la cuenca.	(Cetinkaya Ciftcioglu, 2017; Machado et al., 2019)
	Capacidad de retención de agua disponible	Ante un evento de sequía los predios ubicados en zonas de alta capacidad de almacenamiento, que dependen de propiedades físicas y química de los suelos y del relieve, tienen una mayor disponibilidad de agua para el mantenimiento de la vegetación durante un periodo de tiempo. Un agroecosistema es resiliente frente a una	Variable determinada por Machado et al 2018.	(Machado et al. 2019)

		sequía cuando tiene alta capacidad de almacenamiento de H2O.		
Sistema Productivo	Uso de agroquímicos	Hace referencia al uso de agroquímicos tales como fertilizantes, herbicidas e insecticidas en el predio. Una dependencia alta a los insumos externos conlleva a que el agroecosistema sea menos resiliente, ya que es más probable cambiar de un sistema productivo a un sistema improductivo.	Si/No	(Peterson et al., 2018)
	Actividades productivas	Se refiere a cuantas actividades económicas o productivas se cuentan en el predio. La diversificación permite solventar dificultades al disminuir los recursos o al tener variaciones en los precios de venta de uno o más productos.	Número de actividades económicas que existen en el predio	(Altieri et al., 2015; Cabel & Oelofse, 2012; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Peterson et al., 2018).
	Homogeneidad de las proporciones de las actividades productivas	Esta variable indica el grado de homogeneidad en la distribución del área de las actividades productivas en un predio. Se asume que un predio que tenga una distribución más homogénea de actividades productivas es más resiliente que un predio que tenga predominancia de una actividad particular.	Desviación estándar de los porcentajes del tamaño del predio dedicados a cada actividad productiva en el predio	(Panpakdee & Limnirankul, 2017)
	Disponibilidad de fuentes de agua	Se refiere al número de fuentes de agua de las que el predio puede hacer uso. Por fuentes se entiende el tipo o forma en que el recurso hídrico se encuentra disponible para el uso.	Número de fuentes de agua disponibles para el predio.	(Cleves, 2018; Panpakdee & Limnirankul, 2017)
	Demanda de agua	Se refiere a la cantidad de agua que el agroecosistema necesita para garantizar el sostenimiento de las actividades productivas.	L/ha	(Berrouet Cadavid, 2018).
Sistema Socioeconómico	Nivel de beneficios	Beneficios (ingresos totales menos costos totales) que el predio genera al año en total. Es un indicador del nivel de recursos con que cuenta un beneficiario.	Ingresos totales menos costos totales.	(Bizikova et al., 2019; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Srinivasa et al., 2020)
	Acceso a tecnología e innovación	Esta variable se evalúa indirectamente por las asesorías en producción agropecuaria, gestión ambiental, manejo de aguas y manejo de suelos que puedan utilizar los beneficiarios para implementar tecnologías y/o actividades en sus procesos.	Calificación medida en términos de implementación de las herramientas.	(Cleves, 2018; Marsiglia Rivera, 2017; Srinivasa et al., 2020)

	Acceso a seguros	Se refiere al acceso a seguros que protejan el agricultor en caso de perdidas por disturbios naturales que no se pueden controlar	Si/No	(Bolaños, 2017; Galarza, 2009; Orduño Torres, Kallas, & Ornelas Herrera, 2018).
	Disponibilidad y acceso al crédito	El predio cuenta con acceso a crédito para inversiones futuras o para responder ante perturbaciones (perdidas en el sistema).	Si/No	(Cetinkaya Ciftcioglu, 2017; Cleves, 2018; Mccune et al., n.d.; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Srinivasa et al., 2020)
	Educación	Medida de las habilidades del beneficiario para acceder a información que le permita adaptarse y facilitar la toma de decisiones.	Medida en términos de nivel de educación	(Cetinkaya Ciftcioglu, 2017; Cleves, 2018; Panpakdee & Limnirankul, 2017)
	Conocimiento ecológico	El conocimiento ecológico es el saber que tienen los beneficiarios del predio sobre la naturaleza es decir el conocimiento de los procesos ecológicos en el territorio además de brindar conocimiento al individuo o beneficiario en cuanto al fenómeno o amenaza.	La medición de esta variable se realizó por la calificación del conocimiento, realizando 3 preguntas.	(Biggs et al., 2012; Cetinkaya Ciftcioglu, 2017)
	Conocimiento de la actividad productiva	Se refiere a las asesorías técnicas o capacitaciones de la actividad productiva en las que el beneficiario participa.	Si/No	(Biggs et al., 2012; Cabel & Oelofse, 2012; Cleves, 2018)
características institucionales	Distribución de la información	Se refiere a los mecanismos de las instituciones para llegar a las comunidades y brindar información pertinente en el contexto de SE	Número de programas y proyectos ejecutados por el ente territorial en el territorio	(Cabel & Oelofse, 2012; Cleves, 2018; Marsiglia Rivera, 2017; Panpakdee & Limnirankul, 2017)
	Mecanismos de conservación	El predio tiene acceso a mecanismos de tipo institucional utilizados por el beneficiario para la conservación del ecosistema	Calificación según el tipo de mecanismo utilizados por el beneficiario	(Marsiglia, 2017; Biggs et al., 2012; Cetinkaya Ciftcioglu, 2017)

	Relación institución beneficiario	Indica las relaciones, la presencia y el apoyo de las instituciones a los beneficiarios.	Calificación de los beneficiarios en cuanto a las relaciones con las instituciones	(Ifejika Speranza, Wiesmann, & Rist, 2014; Marsiglia Rivera, 2017; Panpakdee & Limnirankul, 2017)
	Organización de la comunidad	Es decir, las redes sociales en las que participa un beneficiario. En estas redes (asociaciones de mujeres, juntas de acción comunal, grupos de mesas ambientales entre otras) se generan lazos que facilitan la cooperación y el acceso a oportunidades y recursos.	Número de asociaciones a la que pertenece un beneficiario.	(Ifejika Speranza et al., 2014; Marsiglia Rivera, 2017; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Srinivasa et al., 2020).

Para todas las variables cuya escala de medición esté conformada por números mayores a uno se normalizan de la siguiente forma como se presentan en **(Ec. 5** (Saranya & Manikandan, 2013). Esto se realiza debido a que los valores del índice se establecen entre (0-1) permitiendo así comparaciones entre los diferentes valores y determinar los valores extremos de todos los datos.

$$X = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \qquad \textbf{(Ec. 5)}$$

Donde:

xi es el valor evaluado

$xmin$ es el valor mínimo dentro de los datos

$xmax$ es el valor máximo dentro de los datos.

3.1.1 Definición de categorías y variables

A continuación, se definirá en más detalle las categorías con sus respectivas variables y la forma de medición de cada una.

A) Sistema natural

En esta categoría se incluyen características referentes al suelo (su composición y vulnerabilidad), la vegetación que se encuentra en el ecosistema y capacidades

propias del suelo. Factores ecológicos involucrados en el sistema a evaluar (predio), y caracterización ecológica, es decir las características biofísicas en el que se encuentra el agroecosistema. Está categoría incluye variables relacionadas los componentes bióticos y abióticos, la dimensión física del ecosistema o medio natural.

- **Coberturas del suelo**

Las coberturas del suelo son la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, que comprende diferentes tipos de cobertura (pastizales, bosques, cultivos, rastrojos ente otros) con características funcionales propias. La cobertura del suelo en términos de diversidad funcional de la vegetación mantiene las funciones del ecosistema para el suministro de los SE. Al igual que la diversidad, la heterogeneidad espacial (diferentes coberturas) proporciona opciones de respuesta ante un cambio o un disturbio en el agroecosistema que se puede observar a través del tiempo, y permite que las coberturas se recuperen y restauren los nutrientes (Altieri & Koohafkan, 2008; Altieri et al., 2015).

A nivel de paisaje, la heterogeneidad espacial ayuda a garantizar que algunos parches de paisaje permanezcan intactos y proporcionen refugios para el mantenimiento de servicios ecosistémicos (SE) particulares, por ejemplo, los sitios, como bosques o áreas de reserva a menudo funcionan como fuentes remanentes de SE críticos, como el agua y el forraje, durante sequías severas o incendios posteriores. De esta forma el número de coberturas vegetales en el agroecosistema ligado con la diversidad y la capacidad de respuesta contribuye a la resiliencia del sistema. La medición de esta variable se dará en términos de número de coberturas en el predio (Altieri & Koohafkan, 2008; Biggs et al., 2012; Bizikova et al., 2019; Cetinkaya Ciftcioglu, 2017; Peterson et al., 2018; Srinivasa et al., 2020). La **Tabla 3** índica la forma de medir la variable coberturas del suelo, con su respectiva escala y descripción.

Tabla 3. Forma de medir la variable cobertura del suelo.

Variable	Medición de la variable
Coberturas del suelo.	Número de coberturas en el predio.
Escala	**Descripción**
0	0 cobertura vegetal
1	1 coberturas vegetales
2	2 coberturas vegetales
3	3 o más coberturas vegetales

- **Indicador de homogeneidad de las proporciones de las coberturas**

El indicador de homogeneidad de las proporciones de las coberturas vegetales se refiere a la semejanza del área en porcentaje de cada una de las diferentes coberturas vegetales que se encuentra en el predio. La homogeneidad de las proporciones permite un balance del sistema en cuanto a la distribución de recursos y usos del suelo, ante la perturbación de alguna de las coberturas vegetales el sistema no se verá altamente afectado, lo que aporta a la resiliencia del agroecosistema.

Para determinar el indicador se identifican los porcentajes de cada tipo de cobertura y se analiza la desviación estándar. La medición se realizó por medio de la desviación estándar entre los porcentajes de áreas de las diferentes coberturas vegetales que se encuentran en el predio. (Biggs et al., 2012; Bizikova et al., 2019). La **Tabla 4** índica la forma de medir la variable Indicador de homogeneidad de las proporciones de las coberturas, con su respectiva escala y descripción.

Tabla 4. Forma de medir la variable: indicador de homogeneidad de las proporciones de las coberturas.

Variable	Medición de la variable
Indicador de homogeneidad de las proporciones de las coberturas.	Desviación estándar entre los porcentajes de áreas de las diferentes coberturas vegetales que se encuentran en el predio.
Escala	**Descripción**

0	Desviación >60
1	Desviación >40 y < 60
2	Desviación >20 y < 40
3	Desviación < 20

- **Aproximado de conectividad de bosques**

Se refiere a la relación de la presencia de bosque en los agroecosistemas y la distancia a parches de bosques cercanos a los predios. El manejo de parches altamente conectados puede contribuir a la provisión sostenida y resiliente del sistema productivo. La conectividad facilita la capacidad de respuesta de los paisajes y las especies ante perturbaciones naturales y antropogénicas, debido a que facilita el intercambio de material o información necesaria para la preservación y conservación del funcionamiento ecológico del agroecosistema, de esta forma un sistema conectado es más resiliente. Esta variable está ligada con el principio dos de conectividad de la resiliencia, que comprende los componentes de conectividad vegetal o de paisaje. Esta variable se centra en dos de los cinco parámetros de "conexión con la estructura ecológica principal del paisaje" propuesta por León Sicard et al. (2014).

Las métricas del paisaje permiten valorar la incidencia de la densidad y las distancias de los parches, relictos o corredores de vegetación natural sobre las dinámicas internas de las fincas (Cleves-leguízamo, Toro-calderón, & Martínez-bernal, 2017; Cleves, 2018; León Sicard et al., 2014). La **Tabla 5** indica la forma de medir la variable de aproximado de conectividad de bosques.

Tabla 5. Forma de medir la variable aproximado de conectividad de bosques.

Variable	Medición de la variable
Aproximado de conectividad de bosques.	Presencia y distancia de predio a parche de bosque.
Escala	**Descripción /Presenta bosque**

0	No presencia de bosque, bosque a > 600 m
1	Bosque cercano entre 300 m - 600 m
2	Bosque cercano a < 300 m
3	Presenta bosque en predio

- **Grado de vulnerabilidad del suelo**

La vulnerabilidad del capital natural del suelo (CNS) se define como la pérdida de la capacidad de CNS para mantener las funciones del ecosistema cuando se enfrentan a diferentes amenazas en un espacio y tiempo determinados (Machado et al., 2019). La vulnerabilidad está relacionada con la presencia de erosión del suelo ya que el suelo es la fuente principal de insumo para el desarrollo de la vida y para la producción de alimentos. De esta forma, una alta presencia de erosión es directamente proporcional al grado de vulnerabilidad del suelo.

La degradación, en términos de productividad, es un proceso que reduce la capacidad actual y potencial del suelo para producir bienes o servicios. El control de la erosión del suelo se clasifica como un servicio de regulación ya que un mayor grado de autorregulación ecológica puede reducir la cantidad de insumos externos necesarios para mantener un sistema resiliente. La medición de esta variable se realizará por medio del índice de vulnerabilidad propuesto por Machado et al (2018). Con respecto al resultado del índice, este en cada predio arrojaba diferentes resultados, se tomó el resultado del área mayor en el predio (Cetinkaya Ciftcioglu, 2017; Machado et al., 2019). La

Tabla **6** presentan la forma de medir la variable y su descripción.

Tabla 6. Forma de medir la variable Grado de vulnerabilidad del suelo.

Variable	Medición de la variable
Grado de vulnerabilidad del suelo.	índice determinado por Machado et al 2018.
Escala	**Descripción**
1	Bajo
2	Medio

3	Alto

- **Capacidad de retención de agua disponible**

Un agroecosistema es resiliente frente a una sequía cuando tiene alta capacidad de almacenamiento de agua, esta capacidad está determinada de forma natural por la textura (punto de marchitez y capacidad de saturación), la pendiente, el contenido de materia orgánica y la compactación (densidad aparente). Los agroecosistemas localizados en suelos con mayor materia orgánica, mayor textura, menor pendiente y menor compactación favorecen el almacenamiento o retención del agua en el suelo, por tanto, ante un evento de sequía los predios ubicados en zonas de alta capacidad de almacenamiento tienen una mayor disponibilidad de agua para el mantenimiento de cultivos o coberturas.

Un ecosistema con mayor capacidad de almacenamiento puede sobrellevar mejor la perturbación de sequía al durar más tiempo sin el riego de agua, debido a su condición natural. Por otro lado, un agroecosistema que cuente con baja capacidad de almacenamiento no podría durar tanto tiempo ante una sequía. Esta variable fue calculada por Machado et al. (2019) en el caso de estudio, la **Tabla 7** índica la forma de medir la variable.

Tabla 7. Forma de medir la variable capacidad de retención del agua y su descripción.

Variable	Medición de la variable
Capacidad de retención del agua.	Variable calculada por Machado et al. (2018).
Escala	**Descripción**
1	Bajo
2	Medio
3	Alto

Fuente Machado et al.

B) Sistema productivo

Esta categoría incluye las características principales que una actividad agraria requiere para su funcionamiento, tales como uso de agroquímicos, la disponibilidad de fuentes de agua, y la demanda de agua, además es indispensable conocer cuantas actividades agrarias se realizan por predio. Estas características inciden sobre la resiliencia de un agroecosistema. Considerar las funciones productivas de un agroecosistema es una forma de operacionalizar la resiliencia (Peterson et al., 2018).

- **Uso de insumos químicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas)**

Hace referencia al uso de agroquímicos para llevar a cabo las funciones productivas en el predio. Un fertilizante es una sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo. El uso de estos insumos puede estar relacionado con la fertilidad del suelo para el uso deseado. Un herbicida es un producto químico, o no, que se utiliza para inhibir o interrumpir el desarrollo de plantas indeseadas, también conocidas como malas hierbas, en terrenos que han sido o van a ser cultivados. El uso continuo de este insumo puede deteriorar la capa vegetal, interrumpiendo el desarrollo de vida, afectando la resiliencia del sistema. Los insecticidas son compuestos químicos utilizados para controlar o eliminar insectos portadores de enfermedades. El uso en exceso de estos insecticidas trae maleficios para la salud de los humanos y de ciertos animales indispensables para la función del ecosistema. Un fungicida son unas sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento o eliminar los hongos y mohos perjudiciales para las plantas, o los animales. Todo fungicida, por más eficaz que sea, si se utiliza en exceso puede causar daños fisiológicos a la planta. Una dependencia alta a los insumos externos conlleva a que el agroecosistema sea menos resiliente, ya que es más probable cambiar de un sistema productivo a un sistema improductivo (Peterson et al., 2018). La **Tabla 8** índica la forma de medir la variable de uso de agroquímicos.

Tabla 8. Forma de medir la variable uso de agroquímicos.

Variable	Medición de la variable

Uso de agroquímicos.	Uso de agroquímicos para las actividades económicas del predio.
Escala	**Descripción**
0	Usan agroquímicos
1	No usan agroquímicos

- **Actividades productivas**

Se refiere a cuántas actividades económicas o productivas se cuentan en el predio. La diversificación permite solventar dificultades al disminuir los recursos o al tener variaciones en los precios de venta de uno o más productos. Además, esta variable está ligada al principio de mantenimiento de la diversidad y redundancia como parte de las estrategias de subsistencia del sistema.

La medición de esta variable será por el número de actividades económicas que existen en el predio (Altieri et al., 2015; Cabel & Oelofse, 2012; ONU-IAS et al., 2014; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Peterson et al., 2018). La **Tabla 9** índica la forma de medir la variable de uso de agroquímicos

Tabla 9. Forma de medir la variable actividades productivas en el predio

Variable	Medición de la variable
Actividades productivas	Número de actividades económicas que existen en el predio.
Escala	**Descripción/ Cantidad de usos del suelo**
1	Una actividad productiva
2	Dos actividades productivas
3	tres actividades productivas
4	cuatro actividades productivas

- **Homogeneidad del área de las actividades productivas**

Esta variable indica el grado de homogeneidad en la distribución de las actividades productivas en un predio. Se asume que un predio que tenga una composición más diversa de actividades productivas (las proporciones del predio destinadas a cada actividad son más o menos equivalentes, es decir, la desviación estándar es menor) es más resiliente que un predio que tenga predominancia de una actividad particular.

La evaluación de esta variable se hizo por medio de la desviación estándar de los porcentajes del tamaño del predio dedicados a cada actividad productiva en el predio, es decir cuanta área del predio se tiene destinada a cada actividad (Panpakdee & Limnirankul, 2017). La **Tabla 10** índica la forma de medir la variable.

Tabla 10. Forma de medir la variable Homogeneidad de las actividades productivas.

Variable	Medición de la variable
Homogeneidad de las proporciones de las actividades productivas.	Desviación estándar de los porcentajes del tamaño del predio dedicados a cada actividad productiva en el predio.
Escala	**Descripción**
0	Desviación >60
1	Desviación >40 y < 60
2	Desviación >20 y < 40
3	Desviación < 20

- **Disponibilidad de fuentes de agua**

Se refiere al número de fuentes de agua que se encuentran disponible en el predio. Por fuentes se entiende el tipo o forma en que el recurso hídrico se encuentra disponible para el uso (fuentes superficiales en el predio, fuentes subterráneas en el

predio, acueducto veredal, fuentes superficiales en predios vecinos, fuentes subterráneas en predios vecinos y nacimientos en el predio).

Contar con acceso a varias fuentes de agua potencialmente mejora la capacidad de respuesta frente a una perturbación como una sequía. La medición se realizará por el número de fuentes disponibles en el predio (L. Berrouet, Villegas-palacio, & Botero, 2020; Cleves, 2018; Panpakdee & Limnirankul, 2017). La Tabla 11 indica la forma de medir la variable.

Tabla 11 Forma de medir la variable disponibilidad de fuentes de agua.

Variable	Medición de la variable
Disponibilidad de fuentes de agua.	Número de fuentes de agua disponibles en el predio.
Escala	**Descripción**
0	Cero fuentes de agua en el predio
1	Una fuente de agua en el predio
2	Dos fuentes de agua en el predio
3	Tres fuentes de agua en el predio
4	Cuatro fuentes de agua en el predio

- **Demanda de agua**

Se refiere a la cantidad de agua que el agroecosistema necesita para garantizar el sostenimiento de las actividades productivas. La cantidad de agua en m^3/área que se utiliza por predio se categorizó teniendo en cuenta la dispersión de los datos por medio de un histograma para comprender donde se ubicaban la mayoría de los datos (Berrouet Cadavid, 2018).

Berrouet (2018) estableció los requisitos de agua para cada actividad de producción: rendimientos de producción (L, kg, t por m^3) o módulos de consumo de agua (m^3 / seg) por tipo de actividad de producción en el área de estudio. Estos los estableció con base en una revisión de información técnica y varios estudios disponibles, como el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico y el Estudio de la Demanda de Agua en la Cuenca

del Río Porce. Todos los valores se llevaron a una cifra de demanda anual (m^3 $año^{-1}$) de acuerdo con la producción. La **Tabla 12** indica la forma de medir la variable.

Tabla 12. Forma de medir la variable demanda de agua.

Variable	Medición de la variable
Demanda de agua.	L/ha
Escala	**Descripción**
0	Demanda > a 350,000 m^3
1	Demanda 180,000 – 350,000 m^3
2	Demanda entre 90,000 – 180,000 m^3
3	Demanda < 90,000 m^3

C) Sistema socioeconómico

Esta categoría informa sobre ciertos aspectos de la condición de vida de un individuo en cuanto a nivel social y económico, integra también alguno de los mecanismos formativos y no formativos, como capacitaciones, conocimientos y tecnologías que permiten a los individuos tener conciencia del entorno en el que viven, así como de las consecuencias de sus actividades. Las condiciones socioeconómicas brindan información relevante para el mantenimiento de los beneficios brindados por los servicios del agroecosistema (Lescourret et al., 2015).

Siguiendo con la idea anterior hay una necesidad constante de revisar el conocimiento existente para permitir la adaptación a la evolución y al cambio en el SSE, así como para mantener los servicios ecosistémicos ante la perturbación y el cambio (Chapin, Kofinas, & Grove, 2009). Mejorando las condiciones sociales de los trabajadores de los sistemas agrícolas mejorará la toma de decisiones para hacer frente a los dilemas enfrentados, según Biggs et al. (2012) sugieren que el aprendizaje puede contribuir a mejorar los procesos de gobierno que afectan la capacidad de recuperación de los servicios ecosistémicos.

- **Nivel de beneficios**

Beneficios (ingresos totales menos costos totales) que el predio genera al año en total. Es un indicador del nivel de recursos con que cuenta un beneficiario. Ser razonablemente rentable permite a los participantes del sistema invertir en el futuro; esto agrega capacidad de ahorro, flexibilidad y crea riqueza que puede ser aprovechada en el futuro. La medición se hará teniendo en cuenta los ingresos netos al año por hectárea (Bizikova et al., 2019; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Srinivasa et al., 2020). La **Tabla** 13 indica la forma de medir la variable nivel de beneficios.

Tabla 13. Forma de medir la variable Nivel de beneficios.

Variable	**Medición de la variable**
Nivel de beneficios.	Es el total de Ingresos menos costos que genera el predio. El beneficio total se clasifica como se presenta en la descripción.
Escala	**Descripción**
0	Menor de 1 SMMLV
1	Entre 1 y 2 SMMLV
2	Entre 2 y 3 SMMLV
3	Entre 3 y 4 SMMLV
4	Mayor a 4 SMMLV

- **Acceso a tecnología e innovación**

Esta variable se evalúa indirectamente por las asesorías en producción agropecuaria, gestión ambiental, manejo de aguas y manejo de suelos que puedan utilizar los beneficiarios para implementar tecnologías y/o actividades en sus procesos. Las tecnologías implementadas fueron: Recolección de agua lluvia, pilas de compost, lombricultura, biodigestores y por último tratamiento de gallinaza y /o porquinaza.

Se evaluarán las tecnologías implementadas en el predio mediante una calificación de cero a tres. Los datos de esta variable fueron tomados por Marsiglia (2017). (Cleves,

2018; Marsiglia Rivera, 2017; Mccune et al., 2012; Srinivasa et al., 2020). La **Tabla 14** indica la forma en que se midió la variable.

Tabla 14. Forma en que se midió la variable acceso a tecnología e innovación.

Variable	Medición de la variable
Acceso a tecnología e innovación.	Calificación medida en términos de implementación de herramientas adquiridas en asesorías en gestión ambiental, manejo de aguas y manejo de suelos en que haya participado el beneficiario.
Escala	**Descripción**
0	Ningún tipo de asesoría y ninguna practica tecnológica empleada por el beneficiario.
1	Una asesoría recibida o alguna práctica implementada por el beneficiario.
2	Dos o más asesorías recibidas o dos prácticas tecnológicas implementadas por el beneficiario.
3	Tres o más asesorías recibidas o tres o más prácticas tecnológicas implementadas por el beneficiario implementadas por el beneficiario.

- **Educación**

La educación es una medida de las habilidades del beneficiario para acceder a información que le permita adaptarse y facilitar la toma de decisiones. En cuanto mayor nivel educativo presente un individuo, mayor es la habilidad de acceder a la información, lo que hace que pueda apropiarse y comprender lo que pasa a su alrededor, permitiendo que pueda implementar estrategias de adaptación ante diferentes fenómenos. Esta variable se califica de acuerdo el máximo nivel alcanzado por cada beneficiario (primaria, bachillerato, universidad) (Cetinkaya Ciftcioglu, 2017;

Cleves, 2018; Panpakdee & Limnirankul, 2017). Los datos de esta variable se tomaron de Marsiglia (2017). La **Tabla 15** presenta la forma de medir la variable.

Tabla 15. Forma de medir la variable Educación.

Variable	Medición de la variable
Educación	Medida en términos de nivel de educación (primaria, bachillerato, universidad).
Escala	**Descripción**
0	Beneficiarios con estudio máximo de primaria o menos
1	Beneficiarios con estudio máximo de bachillerato
2	Beneficiarios con estudio tecnológico, universitarios o profesional

- **Acceso a seguros**

Se refiere al acceso a seguros que protejan el 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 (I. Bolaños, 2017; Galarza, 2009; Orduño Torres, Kallas, & Ornelas Herrera, 2018). La **Tabla 16** indica la forma de medir la variable.

Tabla 16. Forma de medir la variable acceso a seguros.

Variable	Medición de la variable
Acceso a seguros.	Si/No
Escala	**Descripción**
0	No posee acceso a seguro
1	Si posee acceso a seguro

- **Disponibilidad y acceso al crédito**

El predio cuenta con acceso a crédito para inversiones futuras o para responder ante perturbaciones (pérdidas en el sistema). La capacidad de recuperación de un sistema social se puede lograr cuando se proporciona un alto acceso a esos factores: acceso al crédito, acceso a programas públicos, acceso a mercados, acceso a tecnologías alternativas y acceso a la educación.

La medición de esta variable se realizó mediante la disponibilidad de crédito. (Cetinkaya Ciftcioglu, 2017; Cleves, 2018; Mccune et al., 2012; Panpakdee & Limnirankul, 2017; Srinivasa et al., 2020). La **Tabla 17** indica la forma de medir la variable.

Tabla 17. Forma de medir la variable Acceso al crédito.

Variable	Medición de la variable
Acceso al crédito.	Si/No
Escala	**Descripción**
0	No posee acceso a crédito
1	Si posee acceso a crédito

- **Conocimiento ecológico**

El conocimiento ecológico es el saber que tienen los beneficiarios del predio sobre la naturaleza, es decir el conocimiento de los procesos ecológicos en el territorio. Se incluye además el conocimiento que el individuo o beneficiario tienen cuanto a fenómenos o procesos que amenazan la provisión de servicios ecosistémicos en la zona donde habita. El conocimiento ecológico favorece la gestión de los ecosistemas y de los servicios que prestan. Este conocimiento puede ser adquirido a través de participaciones en espacios de temáticas ambientales.

Esta variable está relacionada con los principios de la resiliencia de aprendizaje colectivo y de participación (Biggs et al., 2012; Cetinkaya Ciftcioglu, 2017). La medición de esta variable se tomó de Marsiglia (2017). La **Tabla 18** indica la forma de medir la variable.

Tabla 18. Forma de medir la variable conocimiento ecológico.

Variable	Medición de la variable
Conocimiento ecológico	Calificación del conocimiento.
Escala	**Descripción**
0	El beneficiario informa no tener conocimiento acerca de las tres preguntas
1	El beneficiario responde a una pregunta
2	El beneficiario responde a dos preguntas
3	El beneficiario responde a tres preguntas

Las preguntas que realizo Marsiglia fueron las siguientes:

- Estado de conservación del bosque y cómo ha cambiado a lo largo del tiempo.
- Estado del suelo y cómo ha cambiado en el tiempo.
- Estado de las fuentes de agua y cómo han cambiado en el tiempo.

- **Capacitaciones sobre las actividades productivas**

Se refiere a las asesorías técnicas o capacitaciones de la actividad productiva en las que el beneficiario participa. 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). La Tabla 19 indica la forma de medir la variable.

Tabla 19. Forma de medir la variable capacitaciones sobre la actividad productiva

Variable	Medición de la variable
Capacitaciones sobre la actividad productiva.	Si/No
Escala	**Descripción**
0	No cuenta con capacitaciones
1	Si cuenta con capacitaciones

D) Sistema institucional

Esta categoría recoge las interacciones entre las instituciones y la población. Las instituciones se refieren a las organizaciones públicas y privadas que actúan en el territorio. Estas incluyen normas y reglas sociales, las cuales pueden indicar autoorganización en un SSE. Además, esta categoría informa los mecanismos y formas de organización dentro de las comunidades para lograr objetivos, que aportan a nivel individual y facilitan las acciones colectivas.

El sistema institucional es esencialmente una fuerza vinculante para las otras categorías (Cabel & Oelofse, 2012; Ifejika Speranza, Wiesmann, & Rist, 2014; Marsiglia Rivera, 2017; Srinivasa et al., 2020). Las variables y resultados de esta categoría fueron tomadas de Marsiglia (2017).

- **Distribución de la información**

Se refiere a los mecanismos de las instituciones para llegar a las comunidades y brindar información pertinente en el contexto de SE. Esta variable hace referencia a las respuestas individuales o colectivas que se generen en el contexto socio-ecológico que están determinadas por el acceso a información pertinente por parte de los

beneficiarios. De ahí la importancia de contar con información que les ayude a implementar estrategias, mejorar actividades de sus medios de vida y obtener conocimiento. Para esto, 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). Para evaluar esta variable, Marsiglia (2017) tuvo en cuenta los informes de gestión y planes de desarrollo de los municipios que conforman la CRG en cuanto a programas y actividades que permiten al beneficiario obtener información relevante para hacer frente al deterioro de los servicios ecosistémicos. Las líneas de proyectos y programas que planteo son los que tienen mayor incidencia en la conservación de los recursos y en el mantenimiento de los servicios evaluados:

- Programas de huertas caseras
- Proyectos productivos y/o programas de asistencia técnica realizados.
- Programas formativos y/o campañas educativas para estimular el uso racional del agua.
- Capacitaciones sobre compostaje y abono orgánico.
- Capacitaciones en cuidado y sostenibilidad del medio ambiente.

Se calificaron de acuerdo con la cantidad de programas ejecutados por los entes territoriales. La medición se dará por medio de número de programas y proyectos ejecutados por el ente territorial en el territorio. La **Tabla 20** indica la forma en que se midió la variable.

Tabla 20. Forma de medir la variable distribución de la información.

Variable	Medición de la variable
Distribución de la información.	Número de programas y proyectos ejecutados por el ente territorial en el territorio.
Escala	**Descripción**
0.	Programa de huertas caseras
1.	Asistencia técnica y apoyo en cuidado y sostenibilidad del medio ambiente.
2.	Programas formativos en uso del agua, capacitaciones en compostaje y abono orgánico

- **Mecanismos de conservación**

El predio tiene acceso a mecanismos de tipo institucional utilizados por el beneficiario para la conservación del ecosistema (políticas públicas, incentivos, créditos financieros y los pagos por conservación de los ecosistemas) (Marsiglia Rivera, 2017).

La disponibilidad e implementación de estos mecanismos promueve la mejora de la resiliencia en cuanto a la conectividad, el aprendizaje y el manejo de variables lentas del sistema (Biggs et al., 2012; Cetinkaya Ciftcioglu, 2017). Marsiglia midió esta variable en la zona de estudio como se presenta en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Forma de medir la variable mecanismos de conservación.

Variable	Medición de la variable
Mecanismos de conservación.	Tipos de mecanismo utilizados por el beneficiario
Escala	**Descripción**
0	No participa de ningún mecanismo
1	Créditos e incentivos para mejorar producción

2	Usuario de esquema de pago de servicios ambientales y/o beneficiarios del programa de cuenca verde

- **Relación institución beneficiario**

Esta variable incide en las relaciones de los beneficiarios e instituciones que tienen presencia en la zona. El grado de apoyo de las instituciones en los diferentes eventos como capacitaciones, generación de conocimiento, apropiación de espacios, genera una mayor retroalimentación entre la institución y el beneficiario Los hogares que interactúan con una mayor variedad de instituciones tendrán mayor capacidad de adaptación frente al fenómeno (Ifejika Speranza et al., 2014; Marsiglia Rivera, 2017; Panpakdee & Limnirankul, 2017).

Marsiglia (2017) evaluó esta variable a través de la relación, presencia y apoyo de las diferentes instituciones que se desarrollan en el territorio y los beneficiarios que hacen parte de este. Esta variable fue evaluada teniendo en cuenta cuatro instituciones de gran influencia en las comunidades de la zona de estudio. Se realiza un promedio de calificación de cada beneficiario frente a las cuatro instituciones:

- Las juntas de acción comunal (JAC)
- Los entes territoriales
- La Umata (unidad municipal de asistencia técnica agropecuaria) descentralizada del ente territorial
- Autoridad ambiental, CORANTIOQUIA

La **Tabla 22** muestra la escala utilizada para evaluar esta variable.

Tabla 22. Forma de medir la variable relación institución beneficiario.

Variable	Medición de la variable
Relación institución beneficiario.	Esta variable se evalúa a través de la relación, presencia y apoyo de las diferentes instituciones que se desarrollan en el territorio y los beneficiarios que hacen parte de este.
Escala	**Descripción**
0	El beneficiario no presenta ninguna relación con la institución
1	Poco contacto o presencia de la institución en el territorio
2	Institución con algún nivel de presencia o información en el territorio.
3	Acompañamiento ocasional de la institución con programas
4	Presencia permanente y efectiva de la institución en el territorio.

- **Organización de la comunidad**

Esta variable 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 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). Esta variable fue evaluada por Marsiglia (2017) por medio del número de asociaciones a la que pertenece un beneficiario (ver **Tabla 23**).

Tabla 23. Forma de medir la variable organización de la comunidad.

Variable	Medición de la variable
Organización de la comunidad.	Número de asociaciones a la que pertenece un beneficiario.

3.2 Fase II. Validación y ponderación de categorías y variables por medio de expertos

En esta sección se presentan los resultados de las ponderaciones que asignaron los expertos para cada categoría y variable frente al cambio climático y al cambio en los precios. Para términos de simplicidad en la operacionalización del índice se decidió utilizar dos decimales como cifra significativa por peso en las categorías y variables, de esta forma el resultado del índice también se expresa en dos decimales.

3.2.1 Ponderación de expertos frente a cada amenaza.

Los expertos validaron y ponderaron las categorías y variables respectivas que conforman el índice de resiliencia frente cada amenaza, cambio climático y cambio en los precios. El valor total de los pesos asignados por cada experto suma 100, tanto en la suma del total de las cuatro categorías y en el total de las variables por categoría, es decir que los valores que podían asignar comprenden el rango entre 0 – 100. Las ponderaciones se agruparon, promediaron y se obtuvo la desviación estándar con el fin de comprender que tan diferentes son las ponderaciones entre expertos. El promedio de todas las ponderaciones realizadas por los expertos se utilizó para determinar el peso de cada variable y cada categoría frente a ambas amenazas.

El peso se normalizó dividiéndolo entre 100 para así obtener el peso en un rango entre 0 – 1, estos pesos fueron asignados para el cálculo numérico del índice en las ecuaciones correspondientes a cada categoría, de tal forma que permite operacionalizar el índice de resiliencia. Los valores del índice varían entre 0 y 1, es decir que entre más cercano a 1 es más resiliente y entre más cercano a 0 menos resiliente frente a las amenazas.

3.2.2 Ponderación de categorías y variables por medio de expertos.

En esta subsección se presenta el promedio de las ponderaciones que asignaron los expertos y la desviación estándar respectiva de cada categoría y variable. La **Tabla 24** presenta el promedio de las ponderaciones de los expertos y la desviación estándar de las categorías frente a las amenazas de cambio climático y cambio en los precios. El promedio de las ponderaciones es usado como el peso que corresponde a cada variable frente a cada amenaza. Las categorías son una contribución para el índice de resiliencia.

Tabla 24. Promedio y desviación estándar de las categorías frente a las amenazas respectivas.

		Amenaza 1: Cambio Climático		Amenaza 2: Cambio de Precios	
		Promedio	**Desviación estándar**	**Promedio**	**Desviación estándar**
Categorías	**Sistema Natural**	29,44	15,30	15,56	8,82
	Sistema Productivo	25,56	8,08	29,44	10,44
	Sistema Socioeconómico	25,00	8,66	32,22	9,72
	Sistema Institucional	20,00	9,35	22,78	10,64

En la **Tabla 24** se observa que frente a la amenaza de cambio climático la categoría de mayor importancia para los expertos es el sistema natural. Esto se debe a que para la resiliencia en agroecosistemas es fundamental las características que se tomaron en cuenta del sistema natural. Sin embargo, esta categoría también presenta mayor desviación estándar, esto se traduce en que no todos los expertos asignaron el mismo valor de importancia, lo contrario se puede observar en las categorías de sistema productivo y sistema socioeconómico, las cuales presentan promedios similares y una menor desviación estándar, ya que los expertos ponderaron de una forma similar la importancia de estas categorías frente al cambio climático. La categoría de sistema institucional presenta el menor valor de importancia frente al cambio climático, y una desviación medianamente baja.

En cuanto a la amenaza de cambio en los precios, la categoría de mayor importancia fue sistema socioeconómico seguida del sistema productivo, lo que traduce que para continuar con las funciones del agroecosistema frente a esta amenaza se debe prestar atención a estas categorías, por otro lado, el sistema institucional tiene mayor importancia frente esta amenaza que frente al cambio climático, sin embargo, la desviación estándar incremento en esta. Se observa que la categoría de sistema natural es la de menor importancia frente al cambio en los precios, esto se puede deber a que esta amenaza no influye directamente sobre el sistema natural.

A continuación, se expondrán los resultados de los promedios de las ponderaciones, la desviación estándar y el peso asignado por cada categoría con sus respectivas variables.

A) Sistema Natural

En la **Tabla 25** se presenta el promedio de las ponderaciones que los expertos asignaron a las variables correspondientes de esta categoría frente a cada amenaza, a su vez se presenta la desviación estándar de estas ponderaciones. En el sistema natural la variable de coberturas del suelo es la de mayor importancia para los expertos frente a la amenaza de cambio climático seguida de la capacidad de retención del agua; esto se debe a que el número de coberturas del suelo contribuye con dos principios para construir resiliencia en SSE, el primero es mantener la diversidad y redundancia de especies, paisajes, actores e instituciones, siempre y cuando su respuesta en la medición sea alta y el segundo es aprender a vivir con cambio e incertidumbre.

Algunas de las estrategias diseñadas para mejorar la supervivencia frente a la incertidumbre y la sorpresa de los recursos incluyen prácticas que manejan la biodiversidad a través de la redundancia en varios niveles, desde la especie hasta el nivel del paisaje, conservar parches en el paisaje para servir como suministro de recursos de emergencia ante el cambio es una práctica común (Folke et al., 2017).

Por ~~el~~ otro lado, la variable que tuvo mayor importancia frente a la amenaza de cambio en los precios es la de vulnerabilidad del suelo, este se debe a que entre más vulnerable se encuentre el suelo, mayor son los esfuerzos monetarios para la preparación de la condición deseada del suelo para la producción.

Tabla 25. Variables de la categoría sistema natural con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza.

		Cambio climático		Cambio de precios	
Variables	**abreviación**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**Promedio**	**Desviación estándar**
Coberturas del suelo	CS	24,78	10,45	19,22	8,83
Indicador de homogeneidad de las proporciones de CS	HCS	15,22	4,79	14,89	6,05
Aproximado de conectividad de bosques	ACO	17,78	4,41	14,78	4,66
Grado de vulnerabilidad del suelo	VS	20,56	9,50	28,33	10,61
Capacidad de retención de agua	CRA	21,67	9,68	22,78	8,70
		100,00		100,00	

Con base en la **Tabla 25** se presenta la **Tabla 26** la cual muestra el resultado de los pesos de cada variable frente a cada amenaza los cuales fueron calculados dividiendo el promedio por cien y utilizando dos decimales, esto para calcular la contribución del sistema natural para el índice de resiliencia frente a cada amenaza se calcula el promedio ponderado de cada una de las variables que conforman la categoría como se muestra en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y en la ¡Error! No se encuentra el origen de la re ferencia..

Tabla 26. Pesos de las variables de la categoría sistema natural frente a las amenazas.

		Amenazas	
		Cambio climático	**Cambio de precios**
Variables	**abreviación**	**Peso**	**Peso**
Coberturas del suelo	CS	0,25	0,19
Indicador de homogeneidad de las proporciones de CS	HCS	0,15	0,15

Aproximado de conectividad de bosques	ACB	0,18	0,15
Grado de vulnerabilidad del suelo	VS	0,21	0,28
Capacidad de retención de agua	CRA	0,22	0,23
	Total	1,00	1,00

$$\boldsymbol{NAT\ A1} = 0{,}25(\mathrm{CS}) + 0{,}15(\mathrm{HCS}) + 0{,}18(\mathrm{ACB}) + 0{,}21(\mathrm{VS}) + 0{,}22(\mathrm{CRA})\ldots \textbf{(Ec. 6)}$$

$$\boldsymbol{NAT\ A2} = 0{,}19(\mathrm{CS}) + 0{,}15(\mathrm{HCS}) + 0{,}15(\mathrm{ACB}) + 0{,}28(\mathrm{VS}) + 0{,}23(\mathrm{CRA})\ldots \textbf{(Ec. 7)}$$

Donde

NAT A1 es la ecuación de la categoría sistema natural frente a la amenaza de cambio climático.

NAT A2 es la ecuación de la categoría sistema natural frente a la amenaza de cambio en los precios.

Estas ecuaciones son el resultado de la categoría natural dentro del índice de resiliencia.

B) Sistema productivo

La **Tabla 27** presenta el promedio de las ponderaciones que los expertos asignaron a las variables correspondientes de esta categoría frente a cada amenaza, a su vez se presenta la desviación estándar de estas ponderaciones. Se puede observar que para la amenaza de cambio climático las ponderaciones de las variables tienen valores y pesos semejantes, variando en un rango de valores entre 15 – 23.

En este caso dos variables tienen el mismo peso, siendo el mayor peso de la categoría, las cuales son actividades productivas y demanda de agua. Es decir que para los expertos tienen mayor importancia frente a las otras, este resultado se debe a que un agroecosistema puede hacer mejor frente a la amenaza del cambio climático si es diverso en sus actividades productivas (Altieri et al., 2015).

Por el otro lado, el promedio de las variables frente a la amenaza de cambio en los precios varía en un rango de 16 – 29, siendo la de mayor importancia para los expertos el uso de agroquímicos, esto se debe a que el cambio de precios en los insumos afecta directamente el costo monetario de los agroquímicos, al igual que el cambio en los precios de venta afecta el ingreso monetario, lo cual repercutiría en la adquisición de los agroquímicos.

Tabla 27. Variables de la categoría sistema productivo con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza.

		Cambio Climático		**Cambio Precios**	
Variables	**Abreviación**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**Promedio**	**Desviación estándar**
Uso de agroquímicos	UA	18,33	10,61	28,89	11,67
Actividades productivas	AP	23,11	10,41	20,78	4,66
Homogeneidad de las proporciones de las AP	HAP	15,00	4,33	16,67	5,59
Disponibilidad de fuentes de agua	DFA	20,00	9,01	17,78	10,34
Demanda de agua	DA	23,33	11,73	15,56	6,35
		100		100	

Con base en la **Tabla 27** se presenta la **Tabla 28** la cual muestra el resultado de los pesos de cada variable frente a cada amenaza los cuales fueron calculados dividiendo el promedio por cien y utilizando dos decimales, esto para calcular la función de contribución del sistema productivo para el índice de resiliencia frente a cada amenaza se usa el promedio ponderado de las variables de esta categoría como se indica en la **… (Ec. 6** y en la **(**Ec**. 7**.

Tabla 28. Pesos de las variables de la categoría sistema productivo frente a las amenazas.

		Amenazas	
		Cambio climático	**Cambio de precios**
Variables	**abreviación**	**Peso**	**Peso**
Uso de agroquímicos	UA	0,18	0,29
Actividades productivas	AP	0,23	0,21
Homogeneidad de las proporciones de las AP	HAP	0,15	0,17
Disponibilidad de fuentes de agua	DFA	0,20	0,18
Demanda de agua	DA	0,23	0,16

$$\boldsymbol{PRO\ A1} = 0{,}18(\mathrm{UA}) + 0{,}23(\mathrm{AP}) + 0{,}15(\mathrm{HAP}) + 0{,}20(\mathrm{DFA}) + 0{,}23(\mathrm{DA})\ldots \quad \textbf{(Ec. 6)}$$

$$\boldsymbol{PRO\ A2} = 0{,}29(\mathrm{UA}) + 0{,}21(\mathrm{AP}) + 0{,}17(\mathrm{HAP}) + 0{,}18(\mathrm{DFA}) + 0{,}16(\mathrm{DA})\ldots \quad \textbf{(Ec. 7)}$$

Donde

PRO A1 es la ecuación de la categoría sistema productivo frente a la amenaza de cambio climático.

PRO A2 es la ecuación de la categoría sistema productivo frente a la amenaza de cambio en los precios.

Estas ecuaciones son el resultado de la categoría productiva dentro del índice de resiliencia.

C) Sistema socio-económico

La **Tabla 29** presenta el promedio de las ponderaciones que los expertos asignaron a las variables correspondientes de esta categoría frente a cada amenaza, a su vez se presenta la desviación estándar de estas ponderaciones. Para esta categoría los expertos asignaron ponderaciones variando el rango entre 8 – 20 frente a la amenaza de cambio climático, y un rango entre 5 – 20 para la amenaza de cambio en los precios. Sin embargo, es notorio cuales variables tienen más importancia frente a las amenazas.

En el caso de la amenaza de cambio climático la variable de mayor importancia es la de acceso a tecnología e innovación, seguida de conocimiento ecológico, estas variables contribuyen con los principios de fomentar el aprendizaje mediante la adquisición de nueva información y combinar diferentes tipos de conocimiento para aprender, las habilidades deben reunir todas las formas de información relevante para aumentar el conocimiento y la comprensión para una mejor gestión de los ecosistemas complejos, incluidos los diferentes sistemas de conocimiento y su combinación (Berkes y Folke, 1998).

En el caso de la amenaza de cambio en los precios la variable de mayor importancia para los expertos fue nivel de beneficios, seguida de acceso a tecnología, el cambio en los precios afecta directamente a la variable de nivel de beneficios, debido a que afecta directamente los ingresos y egresos del agroecosistema. Con respecto a la desviación estándar en ambas amenazas, es menor frente a las categorías anteriores.

Tabla 29. Variables de la categoría sistema socioeconómico con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza.

		Cambio Climático		Cambio Precios	
Variables	**Abreviación**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**Promedio**	**Desviación estándar**
Nivel de beneficios	NB	13,89	5,46	20,56	8,46
Acceso a tecnología e innovación	ATI	20,00	7,91	18,89	7,41
Conocimiento ecológico	CE	19,44	6,82	13,33	10,00
Acceso a seguros	AS	8,33	3,54	10,33	5,89
Acceso a créditos	AC	10,56	4,64	12,44	6,89

Capacitaciones de la actividad productiva	CAP	15,00	4,33	12,78	5,65
Educación	E	12,78	7,12	11,67	6,12
		100		100	

Con base en la **Tabla 29** se presenta la **Tabla 30** la cual muestra el resultado de los pesos de cada variable frente a cada amenaza los cuales fueron calculados dividiendo el promedio por cien y utilizando dos decimales, esto para calcular la función de contribución del sistema socioeconómico para el índice de resiliencia frente a cada amenaza se usa el promedio ponderado de las variables en esta categoría como se indica en la **… (Ec. 8** y en la **(Ec. 9**.

Tabla 30. Pesos de las variables de la categoría sistema socioeconómico frente a las amenazas.

		Amenazas	
		Cambio climático	**Cambio de precios**
Variables	**abreviación**	**Peso**	**Peso**
Nivel de beneficios	NB	0,14	0,21
Acceso a tecnología e innovación	ATI	0,20	0,19
Conocimiento ecológico	CE	0,19	0,13
Acceso a seguros	AS	0,08	0,10
Acceso a créditos	AC	0,11	0,12
Capacitaciones de la actividad productiva	CAP	0,15	0,13
Educación	E	0,13	0,12
		1	1

$$\boldsymbol{SOC\ A1} = 0{,}14(\mathrm{NB}) + 0{,}20(\mathrm{ATI}) + 0{,}19(\mathrm{CE}) + 0{,}8(\mathrm{AS}) + 0{,}11(\mathrm{AC}) + 0{,}15(\mathrm{CAP}) + 0{,}13(E)\ldots$$ **(Ec. 8)**

$$\boldsymbol{SOC\ A2} = 0{,}21(\mathrm{NB}) + 0{,}19(\mathrm{ATI}) + 0{,}13(\mathrm{CAE}) + 0{,}10(\mathrm{AS}) + 0{,}12(\mathrm{AC}) + 0{,}13(\mathrm{CAP}) + 0{,}12(E)\ \ldots$$ **(Ec. 9)**

Donde

SOC A1 es la ecuación de la categoría sistema socioeconómico frente a la amenaza de cambio climático.

SOC A2 es la ecuación de la categoría sistema socioeconómico frente a la amenaza de cambio en los precios.

Estas ecuaciones son el resultado de la categoría socioeconómico dentro del índice de resiliencia.

D) Sistema institucional

La **Tabla 31** presenta el promedio de las ponderaciones que los expertos asignaron a las variables correspondientes de esta categoría frente a cada amenaza, a su vez se presenta la desviación estándar de estas ponderaciones. En esta categoría los expertos asignaron ponderaciones semejantes en tres de las cuatro variables frente a las amenazas, en ambas amenazas la variable de mayor importancia fue organización de la comunidad, sin embargo, esta variable es la de mayor desviación estándar a diferencia de las otras, es decir que los valores que los expertos le otorgaron son divergentes entre sí. La organización de la comunidad permite crear lazos de confianzas, acceso a información e intercambio de experiencia y conocimiento (Folke et al., 2017).

Tabla 31. Variables de la categoría sistema institucional con su respectivo promedio y desviación estándar frente a cada amenaza.

		Cambio Climático		Cambio Precios	
Variables	**Abreviación**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**Promedio**	**Desviación estándar**
Distribución de la Información	DI	21,11	6,01	22,78	6,67
Mecanismos de conservación	MC	23,89	8,58	22,22	7,55
Relación institución beneficiario	RIB	23,33	5,00	22,78	4,41
Organización de la comunidad	OC	31,67	11,46	32,22	10,93
		100		100	

Con base en la **Tabla 31** se presenta la **Tabla 32** la cual muestra el resultado de los pesos de cada variable frente a cada amenaza los cuales fueron calculados dividiendo el promedio por cien y utilizando dos decimales, esto para calcular la función de contribución del sistema institucional para el índice de resiliencia frente a cada amenaza se usa el promedio ponderado de las variables en cada categoría como se indica en la **(Ec. 10** y en la **(Ec. 11**.

Tabla 32. Pesos de las variables de la categoría sistema institucional frente a las amenazas.

		Amenazas	
		Cambio climático	**Cambio de precios**
Variables	**abreviación**	**Peso**	**Peso**
Distribución de la Información	DI	0,21	0,23
Mecanismos de conservación	MC	0,24	0,22
Relación institución beneficiario	RIB	0,23	0,23
Organización de la comunidad	OC	0,32	0,32

$$\boldsymbol{INST\ A1} = 0{,}21(\mathrm{DI}) + 0{,}24(MC) + 0{,}23(\mathrm{RIB}) + 0{,}32(\mathrm{OC}) \ldots \textbf{(Ec. 10)}$$

$$\boldsymbol{INST\ A2} = 0{,}23(\mathrm{DI}) + 0{,}22(MC) + 0{,}23(\mathrm{RIB}) + 0{,}32(\mathrm{OC}) \ldots \textbf{(Ec. 11)}$$

Donde

INST A1 es la ecuación de la categoría sistema socioeconómico frente a la amenaza de cambio climático.

INST A2 es la ecuación de la categoría sistema socioeconómico frente a la amenaza de cambio en los precios.

Estas ecuaciones son el resultado de la categoría institucional dentro del índice de resiliencia.

E) Índice de resiliencia

En la **Tabla 33** podemos observar el peso de cada categoría frente a cada amenaza. Estos pesos son empleados para el cálculo del índice. El peso fue calculado con base en los promedios de las ponderaciones divido por 100 para así obtener el peso de cada categoría en un rango entre 0 y 1, tomando dos decimales como cifra significativa.

Tabla 33. Pesos de las categorías frente a cada amenaza.

	Cambio climático	**Cambio de precios**
Categorías	Peso	Peso
Sistema Natural	0,29	0,16
Sistema Productivo	0,26	0,29
Sistema Socioeconómico	0,25	0,32
Sistema Institucional	0,20	0,23
Total	1	1

Como se observa en la **Tabla 33**, frente al cambio climático la categoría con mayor peso es sistema natural, seguida de sistema productivo, sistema socioeconómico y por último sistema institucional, los valores que asumen las categorías frente esta amenaza se encuentra en un rango entre 0,20 y 0,29.

Por el otro lado frente a la amenaza de cambio en los precios la categoría de mayor peso es sistema socioeconómico, seguida de sistema productivo, sistema institucional y por último sistema natural, los valores que asumen las categorías frente esta amenaza se encuentra en un rango entre 0,16 y 0,32, siendo este rango el de mayor amplitud.

Un resultado para resaltar es que frente a cada amenaza hay una categoría que representa mayor peso en el índice, en este caso frente a la amenaza de cambio climático es el sistema natural y frente a la amenaza de cambio en los precios es el sistema socioeconómico, tal vez porque las amenazas indicen directamente en las variables de estas categorías.

Otro resultado que se destaca el sistema productivo es la categoría de segunda importancia frente a ambas amenazas, este se debe a que se está inmerso en el contexto de un agroecosistema, las funciones productivas de los sistemas deben continuar con su desarrollo en ambas amenazas.

También se puede observar que frente la amenaza de cambio en los precios el sistema institucional tiene mayor peso que frente la amenaza de cambio climático, este sistema también influye en la respuesta del agroecosistema frente la amenaza de cambio en los precios.

La **(Ec. 12** y la **(Ec. 13** son las ecuaciones para calcular el índice de resiliencia frente a cada amenaza.

$$\boldsymbol{IR\ A1} = 0{,}29(\mathrm{Nat}) + 0{,}26(\mathrm{Pro}) + 0{,}25(Soc) + 0{,}20(Inst) \quad \textbf{(Ec. 12)}$$

$$\boldsymbol{IR\ A2} = 0{,}16(\mathrm{Nat}) + 0{,}29(\mathrm{Pro}) + 0{,}32(Soc) + 0{,}23(Inst) \quad \textbf{(Ec. 13)}$$

Donde

IR A1 Es el índice de resiliencia frente la amenaza de cambio climático.

IR A2 Es el índice de resiliencia frente la amenaza de cambio en los precios.

3.3 Evaluación del índice de resiliencia

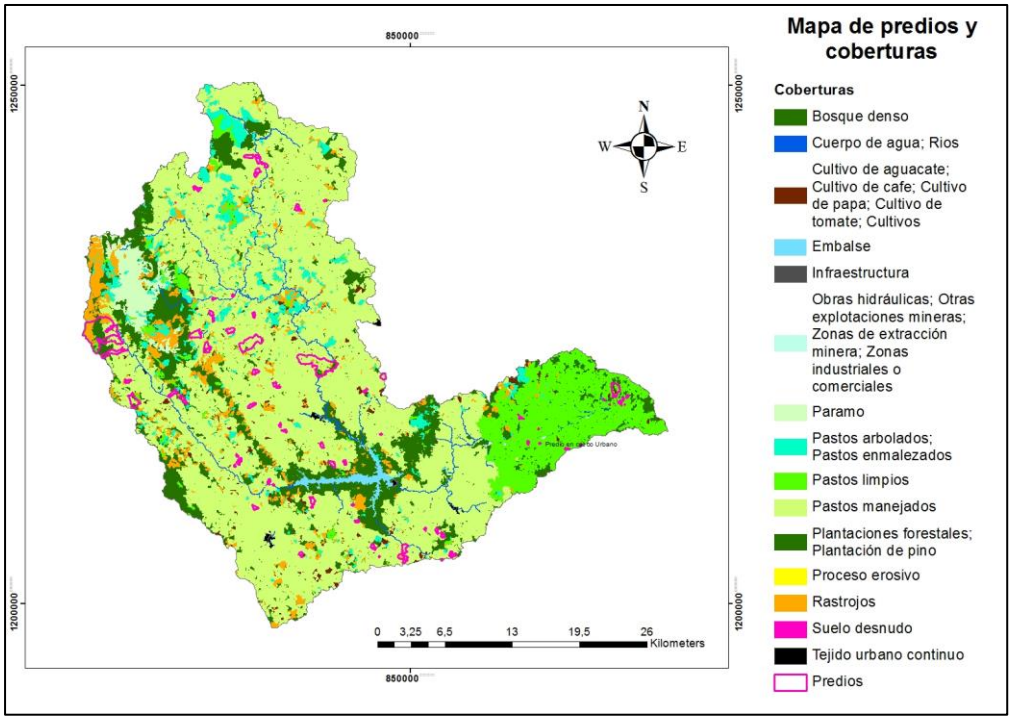
Se procede con la evaluación del índice de resiliencia en el caso de estudio frente a las amenazas por medio de la selección de los predios y con la sistematización de la información recolectada previamente por Berrouet (2018) en los predios.

3.3.1 Selección de predios y levantamiento de la información

Los predios usados en esta investigación fueron trabajados anteriormente por Berrouet (2018), en donde realizó su trabajo de investigación de doctorado (Vulnerabilidad de sistemas sociales frente a la modificación de servicios ecosistémicos en cuencas

hidrográficas de media montaña), en estos predio se recolectó la información mediante encuestas y talleres. Para la obtención de la información de interés para esta investigación se revisaron las bases de datos y se extrajeron los datos relevantes para las variables de interés. Se procedió con la sistematización de la información por medio de Excel. Los predios seleccionados, en este caso 99, cumplían con la información de todas las variables descritas anteriormente, la base de datos de Berrouet (2018) proporciona una muestra de 167 predios distribuidos en toda la cuenca. Los predios seleccionados (99) cuentan con representatividad espacial y de perfiles por beneficiarios, siendo el 60% de la muestra total, los 99 predios presentan todos los diferentes perfiles. En esta fase se obtuvo la información pertinente para obtener el índice de resiliencia en agroecosistemas. La **Figura 7** presenta el mapa de la cuenca Rio Grande, la cual muestra las coberturas y los predios que fueron seleccionados para esta investigación.

Figura 7. Mapa de la cuenca rio grande presentando las coberturas y los predios seleccionados.



Fuente: Elaboración propia a partir de la geo data del POMCA.

Los predios seleccionados se categorizaron con base en los perfiles de los beneficiarios, la **Tabla 34** muestra esta categorización de perfiles, esta fue realizada por Berrouet (2018). Un perfil de beneficiarios es una agrupación de individuos bajo características

socioeconómicas homogéneas (L. M. Berrouet et al., 2018). Berrouet por medio de los talleres y entrevistas semiestructuradas, determinó qué tipo de beneficiarios (perfil del beneficiario) hay en el territorio de estudio.

En el caso de los territorios con una multiplicidad de actividades económicas y características socioeconómicas, los perfiles de los beneficiarios se pueden definir en función de la actividad económica principal, el tamaño de la tierra que posee cada beneficiario, la diversificación de los usos de la tierra (porcentaje de la tierra dedicada a un uso dado), el nivel de producción y la actividad económica de la que obtienen la mayor parte de sus ingresos. Esta identificación de los perfiles de los beneficiarios es relevante, ya que permite establecer los mecanismos para recopilar información de cada perfil y cada predio.

Tabla 34. Perfiles de los beneficiarios que se encuentran en la zona de estudio. Tomado de Berrouet et al. (2018).

Código	Beneficiarios por actividad económica	Descripción
PB4	Pequeños ganaderos	Ganadería lechera, nivel de producción entre 0 y 410 litros / día de leche, áreas de tierra inferiores a 10 ha con aproximadamente el 70% en pasturas y el 30% restante dedicado a actividades agrícolas para la subsistencia.
PB5	Medianos ganaderos	Ganadería lechera, nivel de producción entre 410 - 1,000 litros / día de leche, áreas de tierra entre 10 y 30ha, con aproximadamente el 80% en pasturas y el 20% restante dedicado a otras actividades agrícolas y ganaderas.
PB6	Grandes ganaderos	Ganadería lechera, nivel de producción mayor a 1,000 litros / día de leche, áreas de tierra mayores a 30ha con más del 90% de ellas dedicadas a pasturas.
PB16	Pequeños agricultores de cultivos comerciales	Pequeños agricultores que producen maíz, frijoles, hortalizas y árboles frutales para el comercio local en la aldea y el municipio. Estos agricultores no están organizados en cooperativas.

Código	Beneficiarios por actividad económica	Descripción
PB17	Medianos y grandes agricultores de monocultivo extranjero	Una práctica muy común es alquilar una parte de las fincas a los productores de papa, que vienen de fuera de la región, durante dos o tres años para que talen el bosque, adapten la tierra al sistema agrícola y dejen otros cultivos preparados, como el tamarillo y luego dedicarlo a pasturas. Los productores de papa de fuera de la región hacen un uso muy intenso de agroquímicos que descargan sus aguas residuales directamente a los ríos.
PB24	Agricultura familiar en zona rural	En la cuenca, las familias con pequeñas áreas de tierra llevan a cabo actividades agrícolas de baja escala para producir maíz y frijoles, verduras y árboles frutales destinados a consumir en el hogar. (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia y Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2015)
PB29	Pequeños y medianos ganaderos	Propietarios o inquilinos de la tierra, con áreas de tierra entre 1-35 ha, con una dedicación a otras actividades ganaderas: avicultura, piscicultura, cerdo, cría de vaquillas, ganado vacuno. Los niveles de producción permiten el autoconsumo y un nivel de comercialización a nivel de aldea y municipio.
PB30	Grandes criadores de ganado	Propietarios o inquilinos de la tierra, con áreas de tierra de más de 35ha, dedicadas a otras actividades ganaderas: avicultura, piscicultura, cría de cerdos, cría de vaquillas, ganado vacuno. Los niveles de producción permiten la comercialización a otros municipios y a la región metropolitana.
PB31	Beneficiarios indirectos de otras actividades	Propietarios o inquilinos con menos de 10 ha que obtienen sus ingresos de actividades económicas no relacionadas con el sector agrícola: comercio, trabajadores en el sector público o privado. Suelen tener pequeños huertos para su propio consumo. Pueden instalarse en la zona rural o en los centros urbanos de los municipios.
PB32	Beneficiarios indirectos: derivación	Los propietarios o inquilinos obtienen sus ingresos indirectamente de las actividades agrícolas, principalmente mediante el arrendamiento de tierras para el ganado o la agricultura.

3.3.2 Resultados de las categorías del índice de resiliencia

A continuación, se expondrán los resultados que componen el índice de resiliencia por cada categoría. Como se mencionó anteriormente, el índice está comprendido entre los valores de 0 a 1, por ende, las categorías también se encuentran en ese mismo rango.

A) Sistema Natural

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de la categoría de sistema natural frente a las amenazas de cambio climático y cambio en los precios. La **Tabla 35** presenta el promedio, el valor mínimo, el valor máximo y la desviación de los resultados de la evaluación de esta categoría frente a las amenazas mencionadas para todos los predios. La **Figura 8** (A y B) presenta la distribución de los resultados de los 99 predios en los diferentes rangos de valores frente cada amenaza respectivamente.

Tabla 35. Resultados resumidos de la categoría sistema natural frente a cada amenaza.

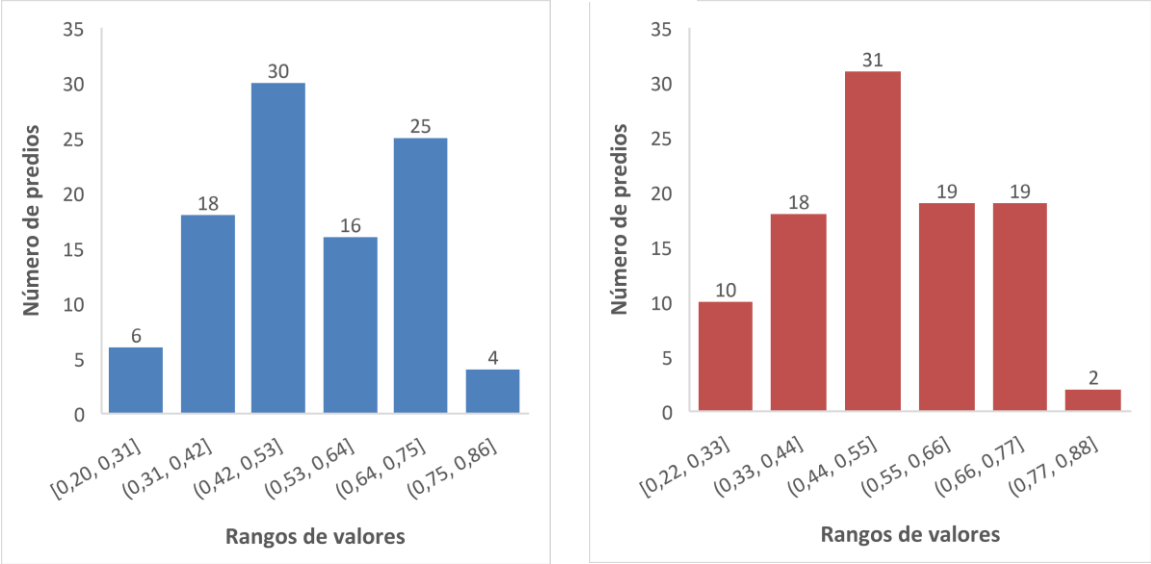
	Cambio climático	Cambio de precios
Límite Inferior	0,20	0,22
Límite Superior	0,82	0,80
Promedio	0,53	0,52
Desviación estándar	0,1399	0,1406

La **Figura 8** con parte A y B presentan la distribución de los resultados de los predios en los rangos de valores frente a la amenaza de cambio climático (A) y cambio en los precios (B), el eje vertical hace referencia al número de predios y el eje horizontal a los valores resultantes de esta categoría. Los números superiores que acompañan las barras son el número de predios que se encuentran en ese rango de valor.

Si se observa la **Figura 8** (A) se puede apreciar dos altas concentraciones de predios en dos rangos de valores, una de 30 predios en el rango de 0,42 - 0,53, este rango puede contribuir a una resiliencia media, la otra concentración de 25 predios en el rango de 0,64 - 0,75, este rango contribuye a una resiliencia alta. Por el otro lado, si se observa la parte B, se puede apreciar una distribución más uniforme en los rangos de valoras salvo por un

pico alto de 31 predios en el rango de 0,44 – 0,55, estos valores contribuyen a una resiliencia media.

Figura 8. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema natural (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente elaboración propia.



Frente a ambas amenazas esta categoría presenta predios en valores bajos (0,20 – 0,40), medios y altos, sin embargo, frente a la amenaza de cambio climático en la **Figura 8** (A) se presentan más predios en un rango de valor (0,64 – 0,86) que podría contribuir a una resiliencia alta. No obstante, el promedio de esta categoría frente a ambas amenazas no presenta una diferencia alta, al igual que la desviación estándar como se puede observar en la **Tabla 35.**

B) Sistema Productivo

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de la categoría sistema productivo frente a las amenazas de cambio climático y cambio en los precios. La **Tabla 36** presenta el promedio, el valor mínimo, el valor máximo y la desviación de los resultados de la evaluación de esta categoría frente a las amenazas mencionadas para todos los predios.

La **Figura 9** (A y B) presenta la distribución de los resultados de los 99 predios en los diferentes rangos de valores frente cada amenaza respectivamente.

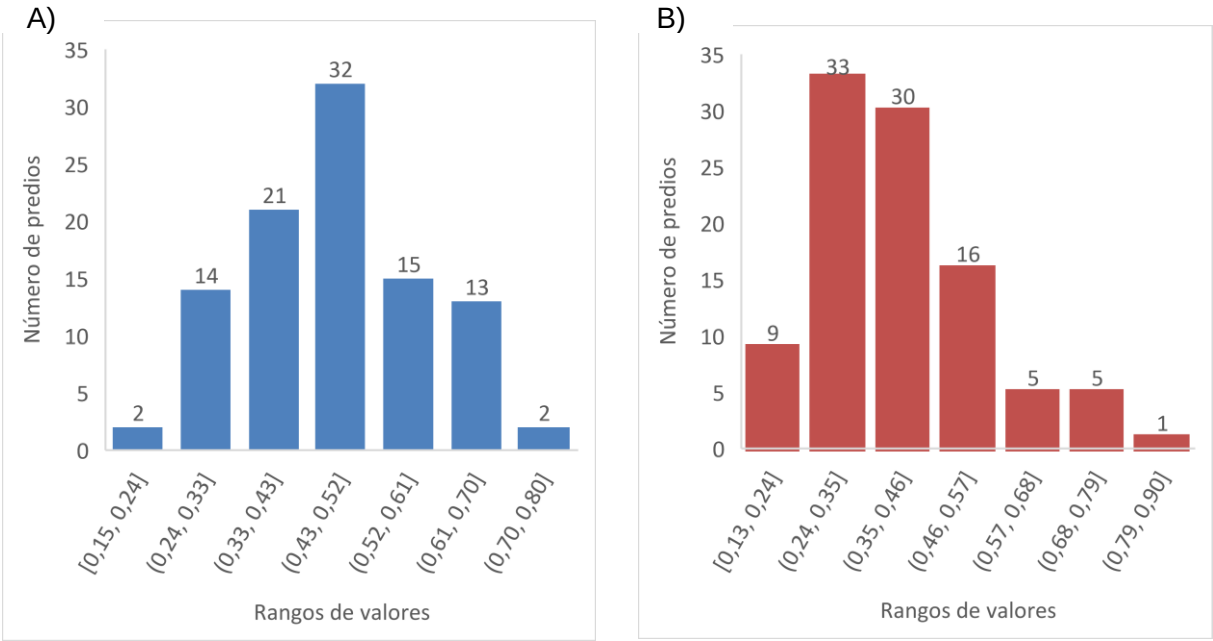
Tabla 36. Resultados resumidos de la categoría sistema productivo frente a cada amenaza.

	Cambio climático	Cambio de precios
Límite mínimo	0,15	0,13
Límite Máximo	0,79	0,81
Promedio	0,46	0,40
Desviación estándar	0,1223	0,1394

De la **Tabla 36** se observa un promedio mayor frente al cambio climático y un promedio menor frente al cambio de precios, esto se debe a que frente al cambio climático los predios presentaron valores más altos que frente al cambio de precios.

La **Figura 9** (A y B) presenta la distribución de los resultados de los predios en los rangos de valores frente a la amenaza de cambio climático (A) y cambio en los precios (B), el eje vertical hace referencia al número de predios y el eje horizontal a los valores resultantes de esta categoría. Los números superiores que acompañan las barras son el número de predios que se encuentran en ese rango de valor.

Figura 9. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema productivo (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente: Construcción propia.



La **Figura 9** (A) presenta una distribución más uniforme a lo largo de los rangos de valores salvo por un pico alto, el cual es de 32 predios en el rango entre 0,43 y 0,52, este rango aportaría una resiliencia media frente esta amenaza, sin embargo, tiene una tendencia hacía los valores más bajos dado que hay más predios hacía estos valores que hacía valores altos.

En la **Figura 9** (B) es evidente la tendencia hacía los valores bajos, debido a que son más de 60 predios que se encuentran en los valores menores a 0,46. Analizando ambas partes A y B, se puede inferir que frente a la amenaza de cambio climático esta categoría tiene mejor respuesta que frente a la amenaza de cambio en los precios, es decir que la amenaza de cambio en los precios afectaría considerablemente a esta categoría, afectando así el índice de resiliencia. Este resultado se debe al cambio de los pesos de las variables frente a las amenazas, una variable que cambia considerablemente de peso frente a cada amenaza es la de uso de agroquímicos, ya que frente al cambio climático tiene un peso de 0,18 y frente al cambio de precios un peso de 0,29, esto se traduce en que un agroecosistema puede responder mejor ante un cambio de precios si este no hiciera uso o dependiera de estos agroquímicos.

C) Sistema socioeconómico

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de la categoría sistema socioeconómico frente a las amenazas de cambio climático y cambio en los precios. La **Tabla 37** presenta el promedio, el valor mínimo, el valor máximo y la desviación de los resultados de la evaluación de esta categoría frente a las amenazas mencionadas para todos los predios.

La **Figura 10** (A y B) presenta la distribución de los resultados de los 99 predios en los diferentes rangos de valores frente cada amenaza respectivamente.

Tabla 37. Resultados resumidos de la categoría sistema socioeconómico frente a cada amenaza.

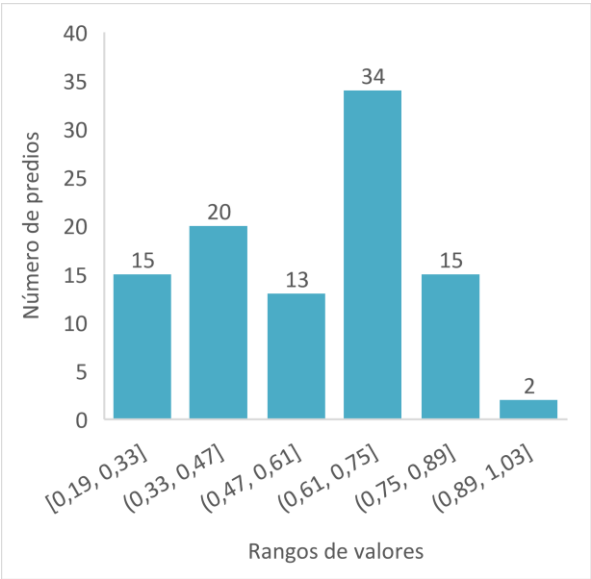
	Cambio climático	Cambio de precios
Límite mínimo	0,19	0,13
Límite Máximo	0,90	0,98
Promedio	0,57	0,55

Desviación estándar	0,1873	0,1928

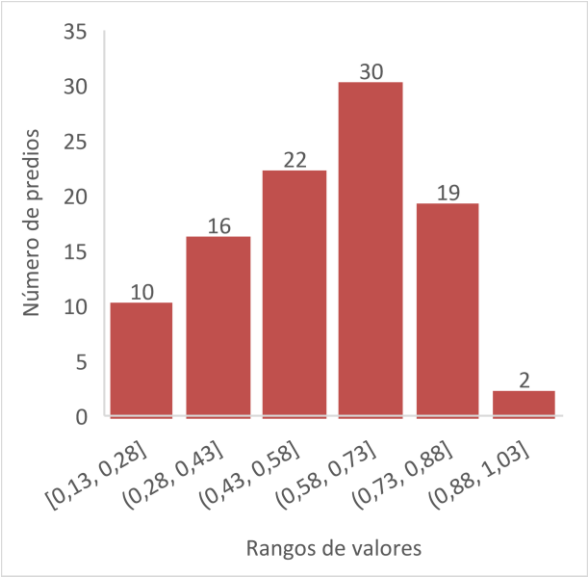
De la **Tabla 37** se observa un promedio mayor frente al cambio climático y un promedio menor frente al cambio de precios, sin embargo, la diferencia entre estos dos promedios no es mayor a 0,02 y la desviación estándar es similar entre las amenazas (aproximadamente 0,19 para ambos). Esto se debe a que frente al cambio climático los predios presentaron valores más altos que frente al cambio de precios. La **Figura 10** (A y B) presenta la distribución de los resultados de los predios en los rangos de valores frente a la amenaza de cambio climático (A) y cambio en los precios (B) respectivamente, el eje vertical hace referencia al número de predios y el eje horizontal a los valores resultantes de esta categoría. Los números superiores que acompañan las barras son el número de predios que se encuentran en ese rango de valor.

Figura 10. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema socioeconómico (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente construcción propia.

A)



B)



En la **Figura 10** (A) se puede observar una distribución medianamente homogénea en casi todos los rangos de valores exceptuando un rango, ya que presenta una concentración mayor de 34 predios en el rango entre 0,61 y 0,75, los valores en este rango aportan una mejor respuesta frente esta amenaza para la resiliencia del agroecosistema.

En la **Figura 10** (B) se observa un comportamiento creciente y decreciente, el pico más alto se sitúa en el rango de 0,58 a 0,73, el cual presenta 30 predios, si observamos los picos más alto en A y B, el rango de estas es diferente, en la **Figura 10 (B)** el rango toma valores más bajos frente a esta amenaza que frente a la amenaza de cambio climático.

D) Sistema Institucional

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de la categoría sistema institucional frente a las amenazas de cambio climático y cambio en los precios. La **Tabla 38** presenta el promedio, el valor mínimo, el valor máximo y la desviación de los resultados de la evaluación de esta categoría frente a las amenazas mencionadas para todos los predios.

La **Figura 11** (A y B) presentan la distribución de los resultados de los 99 predios en los diferentes rangos de valores frente cada amenaza respectivamente.

Tabla 38. Resultados resumidos de la categoría sistema institucional frente a cada amenaza.

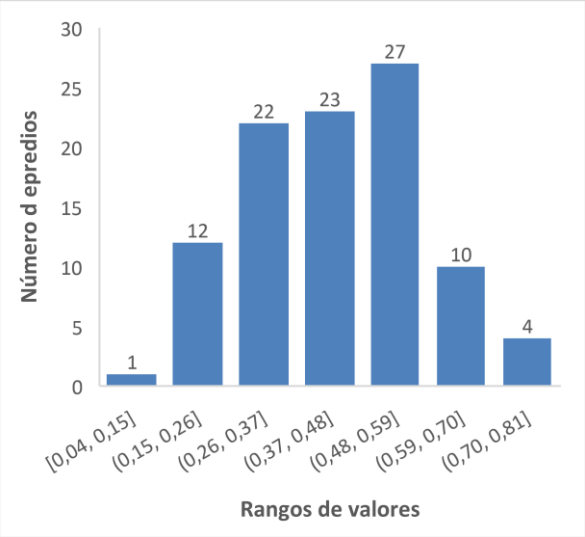
	Cambio climático	Cambio de precios
Límite mínimo	0,04	0,04
Límite máximo	0,78	0,78
Promedio	0,44	0,45
Desviación estándar	0,1517	0,1506

De la **Tabla 38** se observa un promedio semejante entre las dos amenazas, sin embargo, la diferencia entre estos dos promedios no es mayor a 0,01 y la desviación estándar es igual entre las amenazas (0,15 para ambas). Frente al cambio climático y al cambio en los precios los predios presentaron valores similares, esto se debe a que los pesos de las variables de esta categoría son muy similares entre las amenazas.

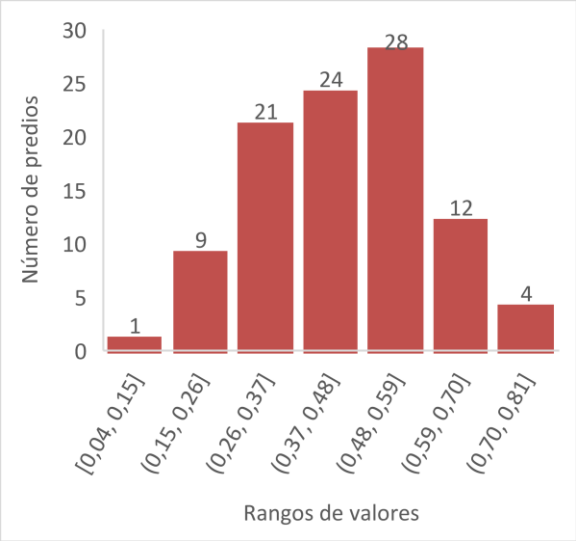
La **Figura 11** (A y B) presentan la distribución de los resultados de los predios en los rangos de valores frente a la amenaza de cambio climático y cambio en los precios respectivamente, el eje vertical hace referencia al número de predios y el eje horizontal a los valores resultantes de esta categoría. Los números superiores que acompañan las barras son el número de predios que se encuentran en ese rango de valor.

Figura 11. Resultados por predio de los valores obtenidos en la categoría sistema institucional (A) ante cambio climático (amenaza 1) y (B) ante cambio de precios (amenaza 2). Fuente construcción propia.

A)



B)



La **Figura 11** (A y B) presentan una distribución similar entre ambas, los rangos de valores son iguales para las dos gráficas. Esta categoría se comporta de manera similar frente ambas amenazas debido a que el peso de las variables es semejante para las dos amenazas.

3.3.3 Resultados del índice de resiliencia frente las amenazas

En esta subsección se presentan los resultados que se obtuvieron del índice de resiliencia evaluado en ambas amenazas. Como se explicó en la construcción del índice de resiliencia, el resultado de este varía entre los valores de 0 a 1, también se mencionó que se era más resiliente si se acercaba a 1 y menos resiliente si se acercaba a 0.

Para términos de comprensión en cuanto al estado de resiliencia en el que el sistema se encuentra ya sea cercano a 1 o cercano a 0 se establecieron niveles de resiliencia comprendidos por los límites. Esta categorización por niveles permite entender los límites de resiliencia en el que se encuentra cada uno de los predios que permite determinar el de nivel de resiliencia bajo ciertas perturbaciones. La **Tabla 39** presenta los niveles de resiliencia y los límites en los que está comprendida, así mismo se asignan los colores por nivel de resiliencia bajo los límites expuestos en la

Tabla 39, y los resultados del índice se mostrarán de acuerdo con esta clasificación.

Tabla 39. Niveles de resiliencia con respectivos límites.

	Límite inferior	Límite superior
Resiliencia muy baja	0	0,2
Resiliencia baja	0,21	0,4
Resiliencia media	0,41	0,6
Resiliencia alta	0,61	0,8
Resiliencia muy alta	0,81	1

A continuación, la **Tabla 40** presenta las definiciones que comprende cada nivel del índice de resiliencia.

Tabla 40. Niveles de resiliencia dentro del índice y sus respectivas definiciones.

Nivel de resiliencia	Definición
Resiliencia muy baja	Ante la materialización de una de las amenazas, el agroecosistema no es capaz de continuar con las funciones productivas. Es un sistema que no está en condiciones de soportar perturbaciones. Además, el bienestar social del beneficiario del agroecosistema se afecta considerablemente
Resiliencia baja	El agroecosistema presenta dificultades para continuar con las funciones productivas, ya que se ve afectado considerablemente por las amenazas, esto dificulta la respuesta del agroecosistema para continuar con su desarrollo. Cuando un agroecosistema se encuentra en este nivel de resiliencia por lo general no cumple con los atributos que hacen un agroecosistema resiliente, la ausencia de los atributos tienden a una cercanía del valor a 0 de la resiliencia cuando se somete a disturbios en el sistema. Los agroecosistemas que se encuentran en este estado por lo general tienen una combinación baja en las cuatro categorías.
Resiliencia media	Cuando el agroecosistema se enfrenta a amenazas las funciones productivas se ven afectadas medianamente. El agroecosistema puede continuar con las funciones a pesar de las perturbaciones, sin embargo, este es sensible frente a los cambios o perturbaciones, debido a que tiene facilidad de cambiar de nivel de resiliencia por lo general el cambio tiende hacia los niveles inferiores. Aun así, los predios de este nivel pueden persistir y mantenerse en una resiliencia media, ya que en la combinación de las categorías por lo general hay una categoría alta en su valor, dos medias en su valor y una baja.
Resiliencia alta	El agroecosistema bajo las amenazas puede continuar con las funciones productivas sin dificultad, sin embargo, se pueden presentar alteraciones de cambios de nivel de resiliencia frente a perturbaciones con mayor impacto, no obstante, no se verá altamente afectado. En este estado por lo general las combinaciones de las cuatro categorías se encuentran en un valor alto.

Nivel de resiliencia	Definición
Resiliencia muy alta	El predio no se ve afectado por estas amenazas, no presenta cambios significantes en la producción. Puede continuar bajo las perturbaciones mencionadas y seguir provisionando servicios ecosistémicos.

La **Tabla 41** presenta el resultado del índice evaluado en los predios que se seleccionaron, en la tabla se puede observar el número de predios pertenecientes a cada nivel de resiliencia frente a la amenaza de cambio climático y a la amenaza de cambio en los precios. Como puede observarse ningún predio ocupó los niveles de resiliencia muy baja y resiliencia muy alta, los resultados se concentraron en 3 niveles, resiliencia baja, media y alta.

Tabla 41. Resultados del índice de resiliencia. Número de predios por nivel frente la amenaza de cambio climático.

	Índice de resiliencia	
Nivel de resiliencia	**cambio climático**	**cambio de precios**
	Número de predios	Número de predios
Resiliencia muy baja	0	0
Resiliencia baja	19	23
Resiliencia media	64	65
Resiliencia alta	16	11
Resiliencia muy alta	0	0
Total	99	99

Cabe resaltar que frente al cambio climático hay un número mayor de predios con un nivel de resiliencia alta y un menor número de predios con resiliencia baja comparado con los resultados frente al cambio en los precios. Sin embargo, los resultados en ambas amenazas presentan el mismo número similar de predios en el nivel de resiliencia media.

La amenaza de cambio en los precios tiene mayor impacto en los predios, esto se puede deber a un mayor peso en las variables (Ecuación 11 y 15) claves que inciden en esta amenaza tales como, el nivel de beneficios, el uso de agroquímicos, y la vulnerabilidad del suelo, además si las demás variables que comprenden el índice presentan un valor bajo será mayor la afectación.

Una vez identificada la cantidad de predios presentes por nivel de resiliencia en cada amenaza es importante diferenciar los perfiles de los beneficiarios (ver **Tabla 34**) de dichos

niveles, ya que permite evidenciar las características por perfiles que presenta un agroecosistema para determinar su resiliencia.

La **Tabla 42** y la **Tabla 43** presentan los perfiles de los beneficiarios, el nivel de resiliencia, el número de predios que conforma dicho nivel por perfil y el porcentaje que estos representan frente a la amenaza de cambio climático y a la amenaza de cambio de precios respectivamente.

Se puede observar que, del total de los predios, es decir 99 predios evaluados, 48 predios corresponden al perfil PB4 (pequeños ganaderos), 12 corresponden al perfil PB5 (medianos ganaderos), 8 al perfil PB6 (grandes ganaderos), 9 al perfil PB16 (pequeños agricultores de cultivos comerciales), 1 al perfil PB17 (medianos y grandes agricultores de monocultivo extranjero), 5 al perfil PB24 (agricultura familiar en zona rural), 6 al perfil PB29 (pequeños y medianos ganaderos con más actividades), 1 al perfil PB30 (grandes criadores de ganado con más actividades), 5 al perfil PB31 (beneficiarios indirectos de otras actividades), y 4 al perfil PB32 (beneficiarios indirectos: derivación).

En la **Tabla 42** se observa que los perfiles de pequeños ganaderos (PB4), medianos ganaderos (PB5), pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16) y beneficiarios indirectos de otras actividades (PB31) presentan alrededor del 60% de los predios en resiliencia media, sin embargo, la mayoría de los perfiles restantes presentan predios con una resiliencia media salvo por los perfiles de medianos y grandes agricultores de monocultivo extranjero (PB17) y grandes criadores de ganado con más actividades (PB30), los cuales solo presentan predios en resiliencia baja. Por el lado del nivel de resiliencia alta, cuatro perfiles presentan predios en este nivel, los cuales son pequeños ganaderos (PB4), medianos ganaderos (PB5), pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16) y pequeños y medianos ganaderos con más actividades (PB29).

Tabla 42. Estados de resiliencia por perfiles de beneficiarios y sus debidos porcentajes frente al cambio climático.

	Índice de resiliencia evaluado frente al cambio climático						
Perfiles Beneficiario	**Resiliencia baja (Rb)**	**% Rb**	**Resiliencia media (Rm)**	**% Rm**	**Resiliencia alta (Ra)**	**% Ra**	**Predios totales**
PB4	8	17%	29	60%	11	23%	48
PB5	1	8%	8	67%	3	25%	12
PB6	1	13%	7	88%	0	0%	8

PB16	2	22%	6	67%	1	11%	9
PB17	1	100%	0	0%	0	0%	1
PB24	3	60%	2	40%	0	0%	5
PB29	0	0%	5	83%	1	17%	6
PB30	1	100%	0	0%	0	0%	1
PB31	2	40%	3	60%	0	0%	5
PB32	0	0%	4	100%	0	0%	4
Total	19		64		16		99

PB4: Pequeños ganaderos, PB5: Medianos ganaderos, PB6: Grandes ganaderos,
PB16: Pequeños agricultores de cultivos comerciales, PB17: Medianos y grandes agricultores de monocultivo extranjero,
PB24: Agricultura familiar en zona rural, PB29: Pequeños y medianos ganaderos (con más actividades),
PB30: Grandes criadores de ganado (con más actividades),
PB31: Beneficiarios indirectos de otras actividades, PB32: Beneficiarios indirectos: derivación.

En la **Tabla 43** se observa que los perfiles de pequeños ganaderos (PB4), medianos ganaderos (PB5), pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16) y beneficiarios indirectos de otras actividades (PB31) presentan alrededor del 60% de los predios en resiliencia media, sin embargo, la mayoría de los perfiles restantes presentan predios con una resiliencia media salvo por los perfiles de medianos y grandes agricultores de monocultivo extranjero (PB17) y grandes criadores de ganado con más actividades (PB30), los cuales solo presentan predios en resiliencia baja. Por el lado del nivel de resiliencia alta, cuatro perfiles presentan predios en este nivel, los cuales son pequeños ganaderos (PB4), medianos ganaderos (PB5), pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16) y pequeños y medianos ganaderos con más actividades (PB29), siendo los perfiles PB4 y PB5 los que presenta mayores porcentajes de predios en este nivel con un 23% y 25% respectivamente.

Tabla 43. Estados de resiliencia por perfiles de beneficiarios y sus debidos porcentajes frente amenaza de cambio en precios.

	Índice de resiliencia evaluado frente al cambio de precios						
Perfiles Beneficiario	**Resiliencia baja (Rb)**	**% Rb**	**Resiliencia media (Rm)**	**% Rm**	**Resiliencia alta (Ra)**	**% Ra**	**Predios totales**
PB4	8	17%	33	69%	7	15%	48
PB5	1	8%	8	67%	3	25%	12
PB6	1	13%	7	88%	0	0%	8
PB16	2	22%	6	67%	1	11%	9
PB17	1	100 %	0	0%	0	0%	1
PB24	4	80%	1	20%	0	0%	5
PB29	0	0%	6	100%	0	0%	6

PB30	1	100 %	0	0%	0	0%	1
PB31	2	40%	3	60%	0	0%	5
PB32	3	75%	1	25%	0	0%	4
Total	23		65		11		99

PB4: Pequeños ganaderos, PB5: Medianos ganaderos, PB6: Grandes ganaderos, PB16: Pequeños agricultores de cultivos comerciales, PB17: Medianos y grandes agricultores de monocultivo extranjero, PB24: Agricultura familiar en zona rural, PB29: Pequeños y medianos ganaderos (con más actividades), PB30: Grandes criadores de ganado (con más actividades), PB31: Beneficiarios indirectos de otras actividades, PB32: Beneficiarios indirectos: derivación.

Los resultados en cuanto a la amenaza de cambio en los precios de la **Tabla 43** presentan diferencias con respecto a la **Tabla 42** en los perfiles por nivel de resiliencia, como es el caso del perfil de pequeños ganaderos (PB4) en donde hubo un aumento en los predios que presentan resiliencia media y un decremento de los predios en resiliencia alta, es decir que la amenaza de cambio de precios tiene mayor impacto sobre estos. Otro caso interesante que se presenta es en el perfil Beneficiarios indirectos: derivación (PB32) en la **Tabla 43**, el cual aumentó los predios en resiliencia baja y disminuyeron los predios en resiliencia media, esto se debe a que las características de este perfil son beneficiarios que arriendan la tierra para que otros la trabajen, estos solo obtienen ingresos por arrendamiento. Siguiendo la idea anterior si los arrendatarios presentan una disminución en los ingresos, esto también repercute en los ingresos del dueño (beneficiario).

En cuanto al perfil de pequeños y medianos ganaderos con más actividades (PB29) en la **Tabla 42** presentaba un predio en resiliencia alta y en la **Tabla 43** paso a presentar resiliencia media, esto se debe a que los cambios en los precios repercuten directamente en los ingresos posiblemente porque los costos fueron mayores a los ingresos, sin embargo, es el único perfil que no presenta predios en resiliencia baja, tal vez se deba a que este perfil presenta diversificación de actividades económica de pequeña y mediana escala. Para concluir todos los perfiles excepto el perfil de pequeños y medianos ganaderos con más actividades (PB29) presentan predios con una resiliencia baja.

Cabe resaltar que hay perfiles que presentan una mayor resiliencia frente a las dos amenazas, como se pudo observar con el perfil pequeños y medianos ganaderos con más actividades (PB29). En los perfiles de pequeños ganaderos (PB4) y medianos ganaderos (PB5) se pudo observar que hay predios que se presentan en todos los niveles de resiliencia, esto se puede deber a la combinación de las variables que presentan mayor valor y al peso que las acompaña, lo cual ayuda a la construcción de la resiliencia. Los

porcentajes en las tablas anteriores (% Rb, % Rm y %Ra) ayudan a esclarecer la representatividad de los niveles de resiliencia por perfil, ya que el número de predios no es homogéneo por perfil del beneficiario.

3.4 Escenarios de cambio

En esta subsección se construirá escenarios de cambio teóricos para evaluar el índice de resiliencia frente a las dos amenazas por medio de perturbaciones puntuales en las variables, estas perturbaciones se entenderán como los casos hipotéticos dentro de cada escenario que se pueden presentar en el agroecosistema. El objetivo de estos escenarios es analizar la sensibilidad de la herramienta del índice de resiliencia y poder observar el comportamiento de este frente a ciertas variaciones en las variables seleccionadas, lo que permite entender el estado de resiliencia en el que se encuentra el agroecosistema.

3.4.1 Amenaza de cambio de precios

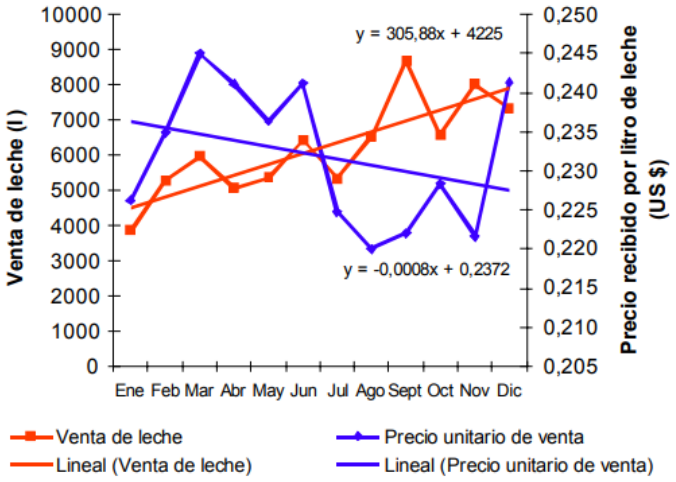
3.4.1.1. Escenario 1: Cambio en el precio de los productos de venta.

Un cambio en el precio de venta de los productos finales de cada sistema productivo tiene un impacto directo en los ingresos de los productores, por ejemplo, al aumentar los precios de venta del producto sus ingresos aumentarán, pero cuando estos disminuyen sus ingresos netos se verán afectados negativamente.

Como ejemplo podemos tomar el cambio de precio de venta de la leche, el estudio de la variabilidad del precio ha tenido lugar en varias investigaciones y se ha demostrado su importancia (Botero & Rodríguez, 2006; Jaramillo Londoño & Areiza Segura, 2012), el cambio de precio del producto de la leche está influenciado por variables relacionadas con la fluctuación del dólar debido a las exportaciones, la demanda y/o la oferta del producto y las condiciones climáticas (Berrio 2020; Zuluaga et al., 2009).

En la **Figura 12** se muestra el comportamiento para el precio pagado al productor y los totales de venta de leche durante el año 1998, este comportamiento no siempre es lineal, como se puede observar en el periodo comprendido entre julio y diciembre que, aunque hubo más venta de leche el precio de venta disminuyó.

Figura 12. Relación: volumen de leche vendida mes/ precio recibido por el productor.



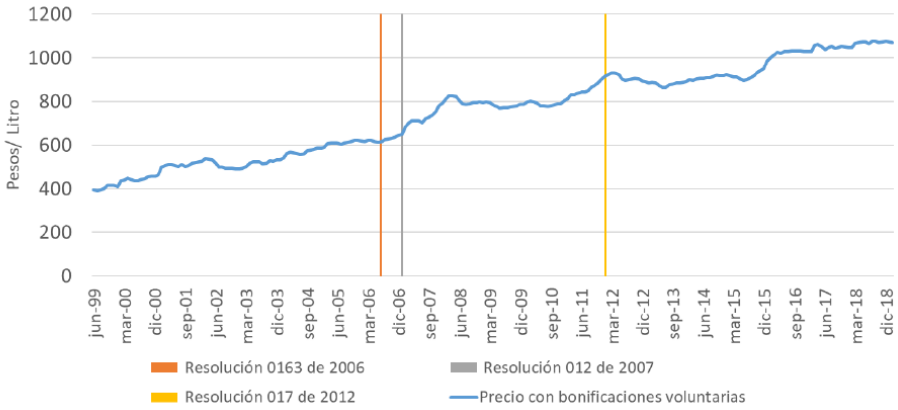
Tomada de Botero MR, Botero ALM, Zapata OJ. Memorias seminario taller "La eficiencia de la empresa ganadera: un reto para el siglo XXI" (1998).

En un mismo año se pueden presentar reducciones y aumento del precio de venta, esto se evidencia en el periodo comprendido entre agosto y diciembre (**Figura 12**) con un porcentaje de reducción del precio de venta del 9%.

La **Figura 13** presenta la información del precio pagado al productor por litro de leche desde el año 1999 hasta el 2019 (Cadena, Reina, & Rivera, 2019), se puede observar que se sigue presentando el mismo comportamiento del año 1990, en donde durante un año se presentan diferentes precios, ya sea con incremento o reducción. De acuerdo con el módulo económico de los precios de venta de los productos que se manejan en la cuenca hidrográfica Rio Grande (leche, papa, tomate de árbol, aguacate, café, entre otros) construido por Berrio (2020) en donde recolectó los datos históricos de la base de datos (DANE) a nivel municipal desde el año 1986, los precios a partir del 2018 fueron precios que calculó replicando el comportamiento de los precios pasados.

La **Tabla 44** muestra un fragmento del módulo económico creado por Berrio (2020) del municipio de Belmira a partir del año 2012, donde se observa que el precio de venta fluctúa en entre un mínimo, medio y máximo en un mismo año, estos precios pueden variar en rango entre 10 % a 30%, generando cambios en los ingresos de los agricultores durante el año.

Figura 13. Precio pagado al productor por litro de leche.



Tomada de Cadena et al. (2019). Precio regulado de la leche: ineficiencias, costos y alternativas, octubre de 2019.

Tabla 44. Cambio de precios de venta de la leche entre 2012-2030 en el municipio de Belmira. Tomado de Berrio (2020).

	BELMIRA		
	Mínimo	**Medio**	**Máximo**
Año	**Precio ($/L)**		
2012	$ 832,7	$ 908,0	$ 1.038,7
2013	$ 789,9	$ 926,6	$ 1.051,3
2014	$ 843,3	$ 964,8	$ 1.080,0
2015	$ 843,9	$ 940,2	$ 1.014,8
2016	$ 904,2	$ 1.044,9	$ 1.150,3
2017	$ 936,1	$ 1.089,6	$ 1.189,3
2018	$ 981,8	$ 1.142,8	$ 1.247,3
2019	$ 1.029,7	$ 1.198,5	$ 1.308,2
2020	$ 1.079,9	$ 1.257,0	$ 1.372,0
2021	$ 1.132,6	$ 1.318,4	$ 1.438,9
2022	$ 1.187,9	$ 1.382,7	$ 1.509,2
2023	$ 1.245,9	$ 1.450,2	$ 1.582,8
2024	$ 1.306,7	$ 1.520,9	$ 1.660,1
2025	$ 1.370,4	$ 1.595,2	$ 1.741,1
2026	$ 1.437,3	$ 1.673,0	$ 1.826,0

2027	$ 1.507,4	$ 1.754,6	$ 1.915,1
2028	$ 1.581,0	$ 1.840,3	$ 2.008,6
2029	$ 1.658,2	$ 1.930,1	$ 2.106,6
2030	$ 1.739,1	$ 2.024,3	$ 2.209,4

En esta investigación se utiliza como casos hipotéticos los porcentajes de reducción en los precios de venta que se han presentado en la cuenca hidrográfica del Rio Grande. En este escenario el precio de venta tendrá incidencia directa sobre la variable nivel de beneficios, ya que en esta variable se encuentran los ingresos por los precios de venta y los egresos por los costos de producción generados por el sistema productivo.

El objetivo de este escenario es observar cómo varía el índice de resiliencia con el cambio en la variable de nivel de beneficios mediante la modificación de los precios de venta del producto. Es importante mencionar que esta amenaza puede afectar más variables, pero solamente se modifica la variable nivel de beneficios. Además, se mantendrá constante las demás variables ligadas a esta, tales como productividad del sistema y costos de producción.

En este escenario se presentan tres casos hipotéticos de reducción en el precio de venta por medio de porcentajes como se presenta a continuación. Estos porcentajes están sustentados por medio de datos históricos.

Casos hipotéticos: Reducción del precio de venta en un 10%, 20% y 30%.

La **Tabla 45** presenta los resultados compilados del índice de resiliencia frente el cambio de precios y los resultados del escenario 1 en los tres casos hipotéticos evaluados en la amenaza (Ecuación 15) por nivel de resiliencia, debido a que solo hubo resultados en tres de los cinco niveles que se establecieron en la **Tabla 39** solo se presentan los 3 niveles con resultados. La tabla permite comparar y observar los comportamientos.

Tabla 45. Resultados consolidados del índice frente al cambio de precios y escenario 1 evaluado en cambio de precios.

	Índice A2	Índice A2 ESC 1: 10%	Índice A2 ESC 1: 20%	Índice A2 ESC 1: 30%
Nivel de resiliencia	Número de predios	Número de predios	Número de predios	Número de predios

Resiliencia baja	23	26	36	40
Resiliencia media	65	65	59	56
Resiliencia alta	11	8	4	3
Total	99	99	99	99

Índice A2: Índice de resiliencia frente el cambio de precios, ESC 1:10%: Escenario 1 bajo el caso hipotético de reducción del 10% en el precio de venta evaluado en índice frente cambio de precios. ESC 1:20%: Escenario 1 bajo el caso hipotético de reducción del 20% en el precio de venta evaluado en índice frente cambio de precios. ESC 1:30%: Escenario 1 bajo el caso hipotético de reducción del 30% en el precio de venta evaluado en índice frente cambio de precios.

Como resultado se puede observar que en este escenario bajo los diferentes casos hipotéticos se genera un cambio en los resultados del índice de resiliencia en los predios evaluados, es decir que hay un movimiento del nivel de resiliencia en el que se encuentran los predios. Si se observa la primera columna en esta se encuentra el resultado del índice en la amenaza de cambio de precios, en donde se presentan 23 predios con resiliencia baja, ahora si se siguen los resultados columna por columna se incrementa el número de predios pasando a 26 en el caso hipotético con porcentaje de reducción en el precio de venta del 10%, luego 36 bajo el caso del 20% de reducción y finalizando con 40 predios en el caso del 30%.

El comportamiento opuesto se puede observar en el nivel de resiliencia alta, en donde inicialmente se encontraban 11 predios, conforme incrementa el porcentaje en los casos hipotéticos, decrecen los números de predios pertenecientes a ese estado finalizando con 3 predios en el último caso hipotético del 30% de reducción del precio de venta. Los cambios de nivel de resiliencia se generan desde el primer caso hipotético, es decir que el índice es sensible frente a las perturbaciones, algunos predios a pesar de ser sometidos a cambios logran mantener una resiliencia alta.

3.4.1.2. Escenario 2: Cambio en el costo de los insumos.

En un sistema de producción se generan costos de producción, estos costos están influenciados por ciertas variables, una de estas variables son 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 agroinsumos para que sus negocios prosperen, sin embargo, en muchas ocasiones estos productos 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). Según un informe del Contexto Ganadero (2013), Colombia es uno de los países con insumos más costosos, por ejemplo, en abril y junio de 2013, los precios comparados con los de 2012 aumentaron del 31 al 41%, tanto para productores agrícolas como pecuarios, mientras que los costos de producción se mantuvieron en 26%.

En este escenario se entiende por cambio en el costo de los insumos, cuando estos costos incrementan o decrecen en su precio. Este cambio, afecta directamente los egresos de los agricultores, dado que pueden incrementar o disminuir. Los egresos del sistema tendrán incidencia directa en el nivel de beneficios.

Al igual que en el escenario 1, se mantendrá constante la productividad, por consiguiente, solo se variará el costo de los insumos. El DANE presenta los precios de los insumos agrícolas históricos desde el año 2013 hasta el 2020, en estas bases de datos se puede observar la fluctuación de estos precios, algunos de los precios de los insumos pueden fluctuar entre un 3% y 30%. Los porcentajes de los casos hipotéticas que se seleccionaron para este escenario están sustentados por medios de datos históricos del DANE.

Casos hipotéticos; Incremento del 10%, 20% y 30% en el costo de los insumos para la producción.

La **Tabla 46** presenta los resultados compilados del índice de resiliencia frente el cambio de precios y los resultados del escenario 2 en los tres casos hipotéticos evaluados en la amenaza (Ecuación 15) por nivel de resiliencia, debido a que solo hubo resultados en tres de los cinco niveles que se establecieron en la **Tabla 39** solo se presentan los 3 niveles con resultados. La tabla permite comparar y observar los comportamientos.

Tabla 46. Resultados consolidados del índice frente al cambio de precios y escenario 2 evaluado en cambio de precios

	Índice A2	Índice A2 ESC 2: +10%	Índice A2 ESC 2: +20%	Índice A2 ESC 2: +30%
Nivel de resiliencia	Número de predios	Número de predios	Número de predios	Número de predios
Resiliencia baja	23	25	33	37
Resiliencia media	65	64	59	58
Resiliencia alta	11	10	7	4
Total	99	99	99	99

Como resultado se puede observar que en este escenario bajo los diferentes casos hipotéticos se genera un cambio en los resultados del índice de resiliencia en los predios evaluados, es decir que hay un movimiento del nivel de resiliencia en el que se encuentran los predios.

Al observar la primera columna en la izquierda (número de predios) se encuentra el resultado del índice en la amenaza de cambio de precios, en donde se presentan 23 predios con resiliencia baja, ahora si se siguen los resultados columna por columna se incrementa el número de predios pasando a 25 en el caso hipotético con porcentaje de incremento en los costos de insumos del 10%, luego paso a 33 predios bajo el caso del 20% de incremento y finalizando con 37 predios en el caso del 30%.

El comportamiento opuesto se puede observar en el nivel de resiliencia alta, en donde inicialmente se encontraban 11 predios, conforme incrementa el porcentaje en los casos hipotéticos, decrecen los números de predios pertenecientes a ese estado finalizando con 4 predios en el último caso hipotético del 30% de incremento en los costos de insumos. Los cambios de nivel de resiliencia se generan desde el primer caso hipotético, es decir que el índice es sensible frente a las perturbaciones, algunos predios a pesar de ser sometidos a cambios logran mantener una resiliencia alta.

Se puede concluir que el caso hipotético de incremento del 30% en el costo de insumos tuvo más impacto en la resiliencia de los predios frente la amenaza de cambio de precios.

Por medio de estos cambios se comprueba la sensibilidad del índice ya que al igual que en el escenario 1, solo se perturbo la variable de nivel de beneficios, en este caso incrementando los egresos del sistema, es decir que el valor numérico de esta variable tiende a disminuir según la escala de medición de la variable, por consiguiente si esta variable presenta inicialmente un valor alto tal vez no repercutiría negativamente la perturbación planteada en el cambio del nivel de resiliencia, manteniéndose en un nivel de resiliencia alta, como se puede observar en los predios que presentan resiliencia alta. Finalmente, si es posible mantener un nivel de resiliencia alta a pesar de las perturbaciones manteniendo una combinación de valores altos en las variables que caracterizan la resiliencia de un agroecosistema.

3.4.2 Amenaza de cambio climático

3.4.2.1. Escenario 3: Cambio en la productividad del predio

El cambio climático puede tener incidencia en la productividad de los cultivos, así lo concluyeron Altieri et al. (2015) en donde esta puede disminuir debido a las altas temperaturas y estrés relacionado con la sequía, pero estos efectos variarán entre regiones.

Algunas de las razones por las que se pueden presentar cambios en la productividad de un sistema de producción agraria además de estar influenciado por el cambio climático, son el cambio en la precipitación, el uso de tecnologías de manejo, y el acceso a los centros de mercado y población (Holmann et al., 2003).

Si la precipitación incrementa, por lo general suele incrementar la productividad en estos sistemas, es decir que la producción de leche se afecta por los cambios meteorológicos, y en el caso contrario en donde la precipitación decrementa la productividad también decrementa lo que coincide con lo reportado por otros autores en sus investigaciones, (Martínez et al., 2014; Zuluaga et al., 2009; WingChing-Jones et al,. 2015; Arce-Carriel & Pozo-Rivera, 2015; DANE, 2016), lo que se analizó en este escenario es el cambio en la productividad y el cambio en la disponibilidad de fuentes de agua.

Un cambio en la productividad se refiere a una diferencia en la cantidad de producto por hectárea (ha) que el sistema puede generar, es decir, que en un predio donde se producían

20 toneladas por hectárea (t/ha) ahora se producen 30t/ha, lo que significa que hubo un incremento del 50%. Por otro lado, este cambio puede ser una disminución en la productividad, se pasó de 20t/ha a 10t/ha, esto indica que hubo una reducción del 50% en la productividad. Un cambio en la disponibilidad de fuentes de agua significa que varía el número de fuentes de agua disponible, es decir que, un predio que tenía disponibilidad con acceso a 5 fuentes de agua ahora va a tener solamente una fuente disponible, debido a que se redujo el recurso de agua.

Este escenario tendrá impacto en la disponibilidad de agua y en los ingresos del sistema dado que se va a modificar el componente de productividad, este componente tiene incidencia en los ingresos, en este sentido, las variables a perturbar son el nivel de beneficios del sistema y la disponibilidad de fuentes de agua. Respectivamente a los impactos de este escenario las únicas variables que se van a modificar es la de productividad y la de disponibilidad de fuentes agua, dejando constante el precio del producto y los costos.

Vale la pena aclarar que existen casos en donde el aumento de la productividad no significa un aumento en los ingresos, por la influencia de otras variables como el precio de compra de los productos, la demanda y la oferta. Un claro ejemplo es cuando hay una alta producción de leche asociada frecuentemente con épocas de mayores precipitaciones, este fenómeno se conoce por los productores lecheros como “enlechada”. Cuando este fenómeno ocurre, los compradores de la leche no tienen la capacidad de adquirir el total de la producción y/o incluso pagan un menor precio de compra, por esto muchas veces cuando hay alta productividad no significa que incrementen los ingresos (Martínez et al., 2014).

Los porcentajes se establecieron variando la productividad y observando desde que porcentaje se presentaba cambios en el agroecosistema.

Casos hipotéticos: Reducción de la productividad del 40 %, del 60 % y del 80 %, y disminución de la disponibilidad de fuentes de agua a 1 sola fuente para todos los porcentajes.

La **Tabla 47** presenta los resultados compilados del índice frente el cambio climático y los resultados del escenario 3 bajo los casos hipotéticos del 40%, 60% y 80% de reducción en

la productividad frente a la amenaza de cambio climático (Ecuación 14), esto con el fin de comparar y observar los comportamientos en cada resultado.

En esta tabla se puede observar el cambio generado por estos casos en los niveles de resiliencia dado el número de predios en cada nivel, el cambio a medida que aumenta el porcentaje aumenta, la primera columna presenta el resultado del índice evaluado en la amenaza de cambio climático, bajo el primer caso hipotético de reducción de la productividad del 40% se generan cambios en los niveles de resiliencia. En el nivel de resiliencia baja inicialmente se encontraban 19 predios, pasando a 23 predios y finalizando con 24 predios bajo una reducción del 80%, cabe resaltar que los predios se mantienen estables en los porcentajes del 40% y del 60% de reducción de la productividad. En cuanto al nivel de resiliencia media este presenta no presento cambios, manteniéndose con 64 predios a lo largo de las perturbaciones. Por último, en el nivel de resiliencia baja inicialmente se presentaban 16 predios y finalizo con 11 en el caso de reducción del 80%.

Aunque si se generaron cambios en los niveles de resiliencia de los predios en este escenario, estos no fueron de igual magnitud que en los escenario anteriores, una de las razones que puede determinar este comportamiento se debe a la evaluación frente la amenaza de cambio climático, en el cual la variable de nivel de beneficios no tiene un peso tan representativo como en la amenaza de cambio de precios, si se observa la ecuación de la categoría sistema socioeconómica frente a la amenaza de cambio de precios (Ecuación 10) esta variable tiene un peso de 0,14 y la categoría un peso de 0,25, esto puede explicar los cambios que se presentan en este escenario.

Si se analiza la productividad del agroecosistema bajo la amenaza de cambio climático, esta tiende a depender más de las condiciones naturales y las características físicas (coberturas del suelo, vulnerabilidad del suelo, capacidad de retención del agua) que de los agentes externos como los cambios de precios (precios de venta y costos de insumos), aunque una reducción en la productividad afecta directamente a los ingresos del sistema bajo la amenaza de cambio climático no tendría la misma afectación que bajo la amenaza de cambio en los precios.

Con respecto a la variable de disponibilidad de fuentes de agua, esta frente al cambio climático tiene un peso de 0,2 siendo este peso el segundo más alto de la categoría sistema natural. Algunos de los predios evaluados no poseían fuentes de agua y otros disponían

de una fuente, a esos predios no les afecto la reducción de disponibilidad de fuentes de agua ya que se encontraban en el valor más bajo de la variable.

Tabla 47. Resultados consolidados del índice frente al cambio climático y escenario 3 evaluado en cambio climático.

	Índice A1	Índice A1 ESC 3:40%	Índice A1 ESC 3:60%	Índice A1 ESC 3:80%
Nivel de resiliencia	Número de predios	Número de predios	Número de predios	Número de predios
Resiliencia baja	19	23	23	24
Resiliencia media	64	64	64	64
Resiliencia alta	16	12	12	11
Total	99	99	99	99

Donde Índice A1: índice de resiliencia frente la amenaza de cambio climático. ESC 3: 40%: Escenario 3 reducción del 40 % en la productividad. ESC 3: 60%: Escenario 3 reducción del 60 % en la productividad. ESC 3: 80%: Escenario 3 reducción del 80 % en la productividad. Reducción en todos los casos de disponibilidad a una sola fuente de agua.

Es claro que los escenarios 1 y 2 tienen mayor afectación en la resiliencia de los predios que el escenario 3, esto se puede deber a que los escenarios 1 y 2 están ligados con las ponderaciones de la amenaza de cambio de precios, la cual tiene mayor peso en la variable que se afecta en estos escenarios (nivel de beneficios). Por otro lado, el escenario 3, tiene afectación en dos variables del índice, sin embargo, el peso que representan estas variables en el índice frente la amenaza de cambio climático es menor que el peso que representa la variable afectada en los escenarios 1 y 2, frente los pesos de la amenaza 2.

3.5 Análisis del índice frente los escenarios y los perfiles de los beneficiarios.

Se puede concluir que hay predios que presentan cambios y movimiento en los niveles de resiliencia cuando se someten a perturbaciones puntuales, a continuación, se expondrán

los predios que experimentaron movimiento en los niveles frente a los escenarios anteriores.

Las siguientes tablas 48, 50 y 52 presentan la información anterior frente a los escenarios 1, 2 y 3 respectivamente. Los colores en las celdas hacen referencia al estado de resiliencia en el que se encuentra. Si en la fila de un predio (ID) cambia de color bajo los casos del escenario respectivo, se entiende que es porque cambio de nivel de resiliencia, claro está comparándolo con la columna del índice evaluado en la amenaza indicada. Los predios que se encontraban en los límites de los niveles de resiliencia cuando se sometieron a las perturbaciones presentaban un cambio pasando al siguiente nivel más cercano, es decir un predio con un valor de resiliencia de 0,41 está en un nivel de resiliencia media, sin embargo, bajo una perturbación este cambia su nivel de media por un nivel bajo de resiliencia.

Como se puede observar en la **Tabla 48,** en total bajo el escenario 1, 25 predios presentaron cambio de estado de nivel, algunos predios solo presentaron cambios en el último caso hipotético del porcentaje más alto de afectación. Los predios con ID 12,17, 38 y 145, en estos predios se encuentran perfiles de medianos ganaderos (PB5) y grandes ganaderos (PB6), los cuales presentaban una resiliencia media bajo el índice de resiliencia frente cambios en los precios.

Se puede concluir que los perfiles PB5 y PB6 con una resiliencia media pueden mantenerse en este nivel por más tiempo, se analizó si estos predios presentaban algún patrón en las características para establecer cuales determinaban una resiliencia media, esto no fue concluyente debido a que los cinco predios presentaban combinaciones de los valores de las variables y categorías diferentes, algunos presentaban un valor alto frente a la categoría de sistema socioeconómica, un valor bajo en las categorías de sistema natural y sistema productivo y por último un valor medio en la categoría de sistema institucional, otro predio presentaba un valor alto en la categoría de sistema natural y un valor bajo en las categorías de sistema socioeconómico y sistema institucional y por último un valor medio en la categoría de sistema productivo. Tal vez el único patrón que sigan estos predios es la combinación de categorías en donde una de estas presente un valor alto, dos un valor bajo y una un valor medio.

Si se observa los predios que presentaron una resiliencia alta en el resultado del índice frente a la amenaza de cambio de precios (índice A2), estos bajo los casos hipotéticos cambiaban de nivel de resiliencia, algunos predios cambian de nivel de resiliencia bajo el primer caso hipotético del 10% de reducción del precio de venta, otros bajo el segundo caso del 20% de reducción del precio de venta y solamente uno cambio de nivel en el caso del 30% de reducción. Si se observa los predios que cambian de este estado bajo el primer caso hipotético correspondería a los predios 74, 154 y 172, con perfil de pequeños ganaderos (PB4), pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16) y pequeños ganaderos (PB4) respectivamente, se analizó si estos predios presentaban algún patrón en las características para establecer cuales determinaban una resiliencia alta, estos predios tenían en común las variables tales como coberturas del suelo (más de dos coberturas), homogeneidad de estas coberturas, actividades productivas (más de una actividad), disponibilidad de fuentes de agua, baja demanda de agua, acceso a tecnología e innovación, capacitaciones productivas, conocimiento ecológico y distribución de la información. Estos predios podían estar compuestos por categorías con valores altos y medios, ninguna con valor bajo.

Tabla 48. Predios que presentan cambios de estado de resiliencia frente al escenario 1.

ID	Perfil Beneficiario	Índice A2	Índice A2 ESC 1:10%	Índice A2 ESC 1:20%	Índice A2 ESC 1:30%
12	PB6	0,45	0,45	0,45	0,38
17	PB5	0,46	0,46	0,46	0,39
24	PB4	0,45	0,45	0,38	0,38
35	PB4	0,46	0,46	0,40	0,40
38	PB5	0,41	0,41	0,41	0,34
39	PB4	0,61	0,61	0,55	0,55
44	PB4	0,46	0,46	0,39	0,39
49	PB4	0,45	0,45	0,38	0,38
52	PB5	0,47	0,47	0,40	0,40
61	PB4	0,42	0,36	0,36	0,36
63	PB4	0,44	0,44	0,39	0,38
64	PB4	0,42	0,40	0,40	0,40
74	PB4	0,63	0,58	0,57	0,57
101	PB4	0,41	0,41	0,37	0,34
102	PB4	0,47	0,42	0,40	0,40

103	PB4	0,61	0,61	0,60	0,55
130	PB32	0,42	0,40	0,40	0,40
143	PB5	0,66	0,66	0,59	0,59
145	PB6	0,45	0,45	0,45	0,38
154	PB16	0,62	0,60	0,55	0,55
161	PB6	0,46	0,46	0,39	0,39
163	PB5	0,62	0,62	0,62	0,55
164	PB4	0,45	0,42	0,38	0,38
171	PB4	0,64	0,64	0,57	0,57
172	PB4	0,61	0,59	0,59	0,59
Total		25	25	25	25

ID: identificación del predio evaluado, Índice A2: Índice de resiliencia frente el cambio de precios, ESC 1:10%: Escenario 1 bajo el caso hipotético de reducción del 10% en el precio de venta evaluado en índice frente cambio de precios. ESC 1:20%: Escenario 1 bajo el caso hipotético de reducción del 20% en el precio de venta evaluado en índice frente cambio de precios. ESC 1:30%: Escenario 1 bajo el caso hipotético de reducción del 30% en el precio de venta evaluado en índice frente cambio de precios.

Ahora si se observa en la misma **Tabla 48** los predios que cambian de este estado de resiliencia alta a resiliencia media bajo el segundo caso hipotético (20%) correspondería a los predios 39, 103, 143 y 171 con perfil pequeños ganaderos (PB4) salvo por el predio 143 con perfil medianos ganaderos (PB5).

A estos predios se analizó si presentaban características en común que determinara la resiliencia alta, se encontró que estos predios tenían en común las variables tales como coberturas del suelo (más de dos coberturas), un grado de vulnerabilidad bajo o medio, actividades productivas (más de una actividad), dos o más fuentes de agua, nivel de beneficio alto, acceso a tecnología e innovación, capacitaciones productivas, conocimiento ecológico, relación institución beneficiario y distribución de la información. Estos predios también podían estar compuestos por categorías con valores altos y medios, ninguna con valor bajo.

Tabla 49. Perfiles de los beneficiarios que presentaron cambios de nivel frente el escenario 1.

Perfiles	Número de predios	Porcentaje
PB4	15	60%
PB5	5	20%

PB6	3	12%
PB16	1	4%
PB32	1	4%
Total	25	100%

La **Tabla 49** presenta los perfiles de los predios que presentaron cambio de nivel de resiliencia y el porcentaje de estos. En total son 25 predios los que presentan cambios de estado de resiliencia. En los cuales el 60% de los predios son perfiles PB4, es decir pequeños ganaderos, el 20% son medianos ganaderos (PB5), el 12% grandes ganaderos (PB6), el 4% son beneficiarios indirectos por derivación y el 4% son pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16).

El agroecosistema es sensible a los cambios en los niveles de resiliencia cuando se encuentra en los límites del estado actual, es por esto por lo que los predios frente a una amenaza o perturbación puede cambiar de estado.

Como se puede observar en la tabla 48 los predios que se encuentran en los límites cuando se enfrentan a una perturbación o amenaza cambian de estado de nivel. Sin embargo, se percibió un comportamiento interesante, cuando los predios presentan el valor mínimo en las variables que se perturbaron en los escenarios, los predios no presentan cambios en los niveles de resiliencia, debido a que ese valor ya toma el valor más bajo.

Si se observa la **Tabla 50**, la cual presenta los predios que mostraron cambios de nivel de resiliencia bajo el escenario 2 en total son 21 predios, algunos predios cambiaron de nivel de estado en el último caso hipotético de incremento del 30% en los costos de insumos, otros en el segundo caso y otros desde el primer caso.

Los predios que presentaron resiliencia media frente el índice bajo la amenaza de cambio de precios (índice A2) y cambiaron de nivel en el caso hipotético del 30% son los predios con ID 17 con perfil medianos ganaderos (PB5), 44 con perfil pequeños ganaderos (PB4), 52 con perfil medianos ganaderos (PB5) y 63 con perfil pequeños ganaderos (PB4).

El análisis para establecer las características que determinaban el nivel de resiliencia en estos reveló que estos predios presentaban diversas coberturas del suelo (más de dos), más de una actividad productiva, más de una fuente de disponibilidad de agua, un alto

nivel de beneficios, contaban con acceso a la tecnología e innovación y con conocimiento ecológico.

Los valores de las categorías estaban compuestos por valores altos medios y bajos, en general presentaban bajo valor en el sistema natural y en el sistema productivo, un alto valor en el sistema socioeconómico y un bajo y medio valor en el sistema institucional.

Tabla 50. Predios que presentan cambios de estado de resiliencia frente al escenarios 2.

ID	Perfil Beneficiario	Índice A2	Índice A2 ESC 2:10%	Índice A2 ESC 2:20%	Índice A2 ESC 2:30%
17	PB5	0,46	0,46	0,46	0,39
24	PB4	0,45	0,45	0,38	0,38
35	PB4	0,46	0,46	0,40	0,40
39	PB4	0,61	0,61	0,61	0,55
44	PB4	0,46	0,46	0,42	0,39
49	PB4	0,45	0,45	0,38	0,38
52	PB5	0,47	0,47	0,45	0,40
61	PB4	0,42	0,42	0,36	0,36
63	PB4	0,44	0,44	0,44	0,38
64	PB4	0,42	0,40	0,40	0,40
74	PB4	0,63	0,63	0,57	0,57
101	PB4	0,41	0,41	0,39	0,36
102	PB4	0,47	0,47	0,40	0,40
103	PB4	0,61	0,61	0,61	0,58
130	PB32	0,42	0,40	0,40	0,40
143	PB5	0,66	0,66	0,66	0,59
154	PB16	0,62	0,62	0,57	0,55
161	PB6	0,46	0,46	0,39	0,39
164	PB4	0,45	0,45	0,38	0,38
171	PB4	0,64	0,64	0,57	0,57
172	PB4	0,61	0,59	0,59	0,59
Total		21	21	21	21

ID: identificación del predio evaluado, Índice A2: Índice de resiliencia frente el cambio de precios, ESC 2:10%: Escenario 2 bajo el caso hipotético de incremento del 10% en el costo de insumos evaluado en índice frente cambio de precios. ESC 2:20%: Escenario 2 bajo el caso hipotético de incremento del 20% en el costo de insumos evaluado en índice frente cambio de precios. ESC

2:30%: Escenario 2 bajo el caso hipotético de incremento del 30% en el costo de insumos evaluado en índice frente cambio de precios.

Los predios que presentaron resiliencia media frente el índice bajo la amenaza de cambio de precios (índice A2) y cambiaron de nivel en el caso hipotético del 20% son los predios con ID 24, 35, 49, 61, 101, 102, 161 y 164, con perfil pequeños ganaderos (PB4) a excepción del predio 161 con perfil grandes ganaderos (PB6).

El análisis en las características que determinaban el nivel de resiliencia en estos predios arrojó que presentaban diversas coberturas del suelo, mínimo una actividad económica, contaban con disponibilidad de fuentes de agua, un alto nivel de beneficios, acceso a tecnología e innovación, conocimiento ecológico y algunos presentaban mecanismos de conversación o distribución de la información. Los valores en las categorías no presentaron ningún patrón.

Ahora si se observa los predios que cambian de este estado de resiliencia alta a resiliencia media bajo el tercer caso hipotético del incremento del 30% en los costos de insumos son los predios con ID son 39, 103 y 143 ambos con perfil pequeños ganaderos (PB4) y 143 con perfil medianos ganaderos (PB5).

El análisis en las características que determinaban el nivel de resiliencia en estos predios arrojó que presentaban variables como diversas coberturas del suelo (mínimo tres), un grado de vulnerabilidad medio, mínimo una actividad económica, contaban con disponibilidad de fuentes de agua (mínimo tres fuentes), un alto nivel de beneficios, acceso a tecnología e innovación, capacitación de la actividad productiva, conocimiento ecológico y algunos presentaban mecanismos de conversación o distribución de la información. El patrón que seguía los predios bajo este nivel eran dos categorías con valores altos, las demás variaban presentando valores bajos o medios.

La **Tabla 51** presenta los perfiles de los beneficiarios que presentaron cambios de nivel frente la tabla 50. La mayoría de los perfiles que presentaron cambios de nivel de resiliencia son el perfil de pequeños ganaderos (PB4), ya que abarca el 71% de los predios.

Tabla 51. Perfiles de los beneficiarios que presentaron cambios de nivel frente el escenario 2.

Perfiles	Número de predios	Porcentaje

PB4	15	71%
PB5	3	14%
PB6	1	5%
PB16	1	5%
PB32	1	5%
Total	21	100%

Frente a los escenarios 1 y 2, una variable que fue clave es el nivel de beneficios, los predios que presentaban un nivel alto en esta variable podían responder a las perturbaciones a pesar de que la combinación de las demás variables fuera bajas. Como se ve en el caso del nivel de resiliencia media.

La **Tabla 52** presenta los predios que bajo el escenario 3 presentaron cambio de nivel de resiliencia frente el índice evaluado en la amenaza de cambio climático. En total presentaron cambio 10 predios.

Al observar los predios que pasaron de una resiliencia media como se observa en la columna de índice A1 a una resiliencia baja frente el primero caso hipotético, estos son los predios con ID 38, 50, 122, 168, con perfiles medianos ganaderos (PB5), beneficiarios indirectos: derivación (PB32), agricultura familiar en zona rural (PB24) y beneficiarios indirectos: derivación (PB32) respectivamente.

Estos predios bajo el índice evaluado en la amenaza de cambio climático presentaron un valor similar, con valores en un rango de 0,41 a 0,42, siendo 0,41 el límite inferior del nivel de resiliencia media. El análisis para establecer las características que determinaban los predios en este nivel de resiliencia mostro que estos predios presentaban variables tales como mínimo una actividad productiva, mínimo dos fuentes de agua disponible, una baja demanda de agua, contaban con conocimiento ecológico y distribución de información. Los predios en las categorías ninguno presento un valor alto, estas estaban compuestas de valores bajos y medios.

Tabla 52. Predios que presentan cambios de estado de resiliencia frente al escenario 3.

ID	Perfil Beneficiario	Índice A1	Índice A1 ESC 3: 40% 1 DFA	Índice A1 ESC 3:60% 1 DFA	Índice A1 ESC 3:80% 1 DFA

38	PB5	0,42	0,39	0,39	0,39
39	PB4	0,61	0,57	0,57	0,57
50	PB32	0,42	0,40	0,40	0,40
51	PB4	0,61	0,59	0,59	0,57
61	PB4	0,43	0,41	0,41	0,40
100	PB4	0,61	0,58	0,58	0,58
122	PB24	0,41	0,38	0,38	0,38
154	PB16	0,62	0,62	0,61	0,60
166	PB4	0,61	0,57	0,57	0,57
168	PB32	0,42	0,40	0,40	0,40
Total		10	10	10	10

ID: identificación del predio evaluado, Índice A1: Índice de resiliencia frente el cambio climático, ESC 3:40%: Escenario 3 bajo el caso hipotético de reducción del 40% en la productividad evaluado en índice frente cambio climático, ESC 3:60%: Escenario 3 bajo el caso hipotético de reducción del 60% en la productividad evaluado en índice frente cambio climático, ESC 3:80%: Escenario 3 bajo el caso hipotético de reducción del 80% en la productividad evaluado en índice frente cambio climático. 1 DFA: Una fuente de agua disponible.

Los predios que presentaron una resiliencia alta frente el índice evaluado en la amenaza de cambio climático (índice A1), los cuales cambiaron de estado bajo el caso hipotético de reducción del 40% en la productividad tales serían los predios con ID 39, 51, 100 y 166, todos los predios presentan perfil de pequeños ganaderos (PB4). Estos predios presentaban un valor de 0,61, siendo este el límite inferior del nivel de resiliencia alta, debido a perturbaciones este puede cambiar de estado.

El análisis para establecer cuales características determinaban los predios en este nivel arrojo que presentaban variables tales como coberturas del suelo (mínimo 3), por lo menos una actividad productiva, baja demanda de agua, alto nivel de beneficios, acceso a tecnología e innovación, capacitaciones de la actividad productiva, conocimiento ecológico, mecanismos de conservación, relación institución beneficiario y distribución de la información.

Cabe resaltar que todos los predios presentaban mínimo 3 fuentes de disponibilidad de agua, sin embargo, en el escenario 3, en todos los casos hipotéticos se redujo a solamente una fuente de agua disponible. Esta perturbación logro impactar en los predios, ya que pasaron de una resiliencia alta a una media.

Ahora si se observan el único predio que logró mantener una resiliencia alta en los dos primeros casos hipotéticos y solamente cambio de nivel de resiliencia en el último caso hipotético de reducción de la productividad únicamente es el predio con ID 154, con perfil pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16). En total son 10 predios los que en este escenario presentan cambio de estado de resiliencia.

La **Tabla 53** presenta la distribución de los perfiles por predio que presentaron cambio de nivel de resiliencia. Si se observa el perfil del beneficiario, el perfil de pequeños ganaderos (PB4) ocupa el 50% del total de los predios que cambian de estado de resiliencia.

Tabla 53. Perfiles de los beneficiarios que presentaron cambios de nivel frente el escenario 3.

Perfiles	Número de predios	Porcentaje
PB4	5	50%
PB5	1	10%
PB16	1	10%
PB24	1	10%
PB32	2	20%
Total	10	100%

La información presentada en las tablas anteriores permite concluir que el índice de resiliencia es sensible frente a las perturbaciones establecidas bajo las respectivas amenazas en las que se evaluó el índice. Hay una mayor afectación frente al índice por los escenarios 1 y 2, ya que presentan mayores cambios en los niveles de resiliencia, que frente al escenario 3, ya que este solo presenta un total de 10 predios.

4. Discusión

Esta investigación presenta la construcción de un índice de resiliencia en agroecosistemas frente a amenazas como el cambio climático y el cambio en los precios. Es un índice conformado por categorías que están en línea con los medios de vida y de variables desarrolladas en conjunto con los indicadores propuestos por Cabel y Oelofse (2012). Si bien hay autores (Darnhofer et al., 2010) que afirman que el desarrollo de indicadores, como lo sugieren otros autores (Bennett et al., 2005) es un enfoque más útil para evaluar la resiliencia que tratar de medir la resiliencia en sí, en este proyecto se tuvo en cuenta tanto los indicadores como la medición de la resiliencia. Ya que las categorías y variables dentro de estas categorías estaban sustentadas por medio de los indicadores y principios para construir resiliencia en un agroecosistema.

Altieri & Koohafkan, (2008) mencionan que los sistemas agrícolas tradicionales con diversidad de cultivos son más adaptables a los eventos climáticos, la variabilidad y el cambio climático y más resistente a los efectos adversos de las plagas y enfermedades, y al mismo tiempo estabiliza los rendimientos a largo plazo, promueve la diversidad de la dieta y maximiza los rendimientos incluso con bajos niveles de tecnología y recursos limitados. Dichas granjas están dotadas de plantas que enriquecen los nutrientes, depredadores de insectos, polinizadores, bacterias fijadoras de nitrógeno y descomposición de nitrógeno, y una variedad de otros organismos que realizan diversas funciones ecológicas beneficiosas. Al ensamblar adecuadamente una biodiversidad funcional (es decir, una colección de organismos que desempeñan funciones clave en la granja), es posible promover la sinergia que mejora los procesos agrícolas, como la activación de la biología del suelo, el reciclaje de nutrientes, la mejora de la biología supresión de plagas, entre otros, todos son importantes para determinar el desempeño de los agroecosistemas.

De acuerdo con Altieri et al. (2015) y Altieri (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 diversidad se traduce en heterogeneidad ecológica lo que incrementa las opciones de respuesta. En este proyecto de investigación se encontró con dos resultados puntuales siguiendo la idea de los autores mencionados, en donde los perfiles y los predios que presentaban diversificación de cultivos y actividades tenían un nivel de resiliencia más alto que frente a los predios que no presentaban estas características.

El primero de estos resultados puntuales está en línea con lo expuesto por los autores mencionados anteriormente, se comprobó que los predios más resilientes frente a la amenaza de cambio climático presentan una excelente respuesta en la categoría natural. La mayoría de los predios resilientes se encuentran en el perfil de pequeños ganaderos (PB4), es decir una sola actividad económica, sin embargo, los predios con resiliencia alta tienen una característica clave y es que presentan cultivos para la subsistencia, esta característica contribuye a la diversidad ecológica del agroecosistema. El segundo resultado también está en línea con lo mencionado por los autores, ya que se evidenció que los predios menos resilientes presentaron una baja respuesta en la categoría del sistema natural, siendo baja también la respuesta en las demás categorías, la mayoría de estos predios con resiliencia baja se encontraban en el perfil PB4. Este comportamiento demuestra que los predios bajo este perfil de pequeños ganaderos pueden presentar ya sea una resiliencia alta o una resiliencia baja, esto debido a la respuesta en las variables que se evaluaron.

Cuevas (2018) encontró estudios que demostraron la importancia de analizar las percepciones del cambio climático, que depende de factores como las características sociales, económicas y culturales. Los resultados del estudio indican que los participantes creen que está ocurriendo el cambio climático y que es necesario desarrollar nuevos planes que garanticen una adaptación adecuada a esta situación.

La población colombiana enfrenta desafíos variables en diferentes regiones, y es importante continuar con el diseño e implementación de una gobernanza climática efectiva. Este trabajo está en línea con los resultados de Cuevas (2018), al incluir el cambio climático como amenaza para hacerle frente, además se puede entender como un agroecosistema

puede mejorar su estructura y así poder continuar con su función aun cuando se enfrente a este tipo de amenazas.

Es importante resaltar que los autores Taylor, Koohafkan, Altieri, y Gimenez (2013) mencionan que los sistemas agrícolas diversificados están en capacidad de adaptarse y resistir los efectos de los eventos climáticos, la diversificación de los cultivos es una estrategia a largo plazo para proteger a los agricultores de los efectos ambientales.

Siguiendo con la idea anterior, un resultado interesante que arrojó el índice de resiliencia es que el predio de ID 110 con perfil de grandes criadores de ganado con más actividades (PB30) el cual tiene un área de 300 Ha, este se considera como un gran productor dado el tamaño, abarca el 83% del área en pasturas para ganado, y su actividad productiva es ganadería de leche, en la categoría sistema natural obtuvo un valor medio, en cuanto a las categorías de sistema productivo, socioeconómico e institucional obtuvo un valor bajo, esta combinación dio como resultado una resiliencia baja frente a las amenazas. Claro está que este es el único predio con este perfil. Si analizamos la resiliencia frente a los predios pequeños y medianos, pero con diversificación de actividades productivas, se encontró con una resiliencia media y alta. Es por esto que también se debe tener en cuenta no solo el estado y la función de los ecosistemas sino también las variables productivas, sociales e institucionales que hacen parte de un sistema socio-ecológico, ya que determinarán la magnitud de respuesta a las perturbaciones.

La información que arrojó el índice de resiliencia es de gran utilidad para la toma de decisiones con respecto al agroecosistema administrado por el hombre, algunas de estas decisiones pueden estar relacionadas, por ejemplo, con la educación sobre el riesgo por cambio climático y su relación con los riesgos de desastres climáticos locales y la mejora de los sistemas de alerta temprana y respuesta a los eventos climáticos extremos (Ideam 2019).

Por esta razón se incluyó la variable de conocimiento ecológico y problemática ambiental ya que se tiene en cuenta que se reconoce a la educación ambiental como uno de los instrumentos necesarios para reducir las tendencias de afectación ambiental y desarrollar una nueva concepción en la relación sociedad-naturaleza (IDEAM, 2010).

Los autores Cardona et al. (2012) mencionan que el acceso a la información relacionada con alertas tempranas, estrategias de respuesta, mecanismos de adaptación, ciencia y

tecnología, y capital humano, social y financiero es fundamental para la reducción de la vulnerabilidad y aumento de la resiliencia. Siguiendo con esa idea, en este proyecto se incluyen algunas variables mencionadas por Cardona et al. (2012) en las categorías del sistema socioeconómico e institucional para evaluar la resiliencia, es decir que las variables que se seleccionaron en esta investigación están en línea con la literatura relacionada. Las mejoras en los servicios de los ecosistemas, por ejemplo, pueden requerir la adopción de nuevos métodos de gestión de recursos naturales, o nuevos tipos de diversidad en cultivos, animales y especies asociadas. También puede requerir mecanismos apropiados de gobernanza local, incluidas reglas acordadas sobre acceso, uso e intercambio de recursos, que puede estar integrado en instituciones formales y / o no formales (ONU-IAS et al., 2014).

En este proyecto se da a entender que la vulnerabilidad y la resiliencia son opuestos, es decir, si un predio es poco resiliente significa que es un predio vulnerable, por ende, con mayor riesgo frente a las perturbaciones. Hacer hincapié en que el riesgo puede reducirse a través de la vulnerabilidad es un reconocimiento del poder de los factores sociales, políticos, ambientales y económicos para conducir riesgo. Si bien estos factores impulsan el riesgo, por un lado, pueden por el otro ser la fuente de capacidad para reducirlo (Cardona et al., 2012; Gaillard, 2010; Carreño et al., 2007). Siguiendo esa misma idea, en esta investigación se tuvo en cuenta los factores que se mencionan anteriormente para determinar la resiliencia, y así poder tomar decisiones con respecto a esos factores que muestran un valor bajo frente al índice.

Según Cardona et al. (2012) especialmente en países en desarrollo y países en transición, las comunidades rurales más pobres a menudo dependen completamente de los servicios y funciones del ecosistema para satisfacer sus necesidades de medios de vida. El caso de estudio, la cuenca Rio Grande, la mayoría son campesinos que trabajan en ella para su sustento diario, demuestra ser una población vulnerable que depende necesariamente de los medios de vida. Siguiendo con la idea de Cardona et al. (2012) la dimensión ambiental de la vulnerabilidad también se ocupa del papel de regular los servicios y las funciones del ecosistema, que impactan directamente el bienestar humano, particularmente para aquellos grupos sociales que dependen en gran medida de estos servicios y funciones debido a sus perfiles de medios de vida. La erosión de los servicios y funciones del ecosistema puede contribuir a la disminución de las capacidades de adaptación y

adaptación en términos de alternativas reducidas para medios de vida y actividades generadoras de ingresos debido a la degradación de recursos naturales. Es por esto por lo que este trabajo está de acuerdo con lo expuesto anterior y se incluye la dimensión ambiental traducida en el sistema natural. La vulnerabilidad ambiental es la falta de resiliencia, puede significar que en el caso de que ocurra un evento peligroso, la comunidad puede perder el acceso a solo recursos hídricos disponibles o enfrentan una reducción importante en la productividad del suelo, lo que también aumenta el riesgo de fracaso de los cultivos.

Las vulnerabilidades de los sistemas dependen de las características de sus elementos. Los más identificables son los socioeconómicos y los naturales. Las vulnerabilidades económicas y sociales están estrechamente relacionadas, por lo tanto, se combinan en este modelo para formar el sistema socioeconómico. Mantener la resiliencia en los agroecosistemas es crucial para asegurar servicios ecosistémicos y sistemas de producción sostenibles a largo plazo, ambos beneficiando a los locales, comunidades y contribuyendo a global sostenible objetivos de Desarrollo (ONU-IAS et al., 2014).

5. Conclusiones

Las categorías y variables seleccionadas en este índice de resiliencia permiten contemplar el agroecosistema de una forma holística, teniendo en cuenta la mayoría de las características medibles en él. Estas variables permiten identificar las características que podrían determinar la resiliencia en un agroecosistema, por medio del enfoque socio-ecológico dado la interacción de las variables cuando el agroecosistema se enfrenta a amenazas como cambio climático y cambio en los precios.

El resultado del índice de resiliencia permite observar cuales componentes afectan más la respuesta del índice, ya que se puede observar categoría por categoría y así intervenir en estas para la mejora del estado de la resiliencia o de la respuesta de este frente a las amenazas planteadas.

Este índice logra medir el estado de la resiliencia en el que se encuentran los agroecosistemas frente a las dos amenazas por medio de los niveles de resiliencia que se establecieron. El conocimiento del nivel en el que se encuentra un agroecosistema permite identificar que tan cercano del límite se encuentra y así identificar si una perturbación pudiese cambiar el nivel en el que está. Este índice es una herramienta para determinar los límites de los agroecosistemas para entender en qué punto pueden cambiar de nivel de resiliencia.

Los agroecosistemas que presentan una resiliencia alta y un alto valor en el sistema natural refiriéndose en cuanto a la heterogeneidad y diversidad ecológica pueden persistir y continuar con las funciones del agroecosistema bajo perturbaciones de cambio climático, se comprobó que los predios que, a pesar de tener una actividad agraria como el caso del perfil PB4, pero una heterogeneidad ecológica alta como cultivos de subsistencia, estos predios presentaban resiliencia alta frente la amenaza de cambio climático. En cuanto los predios que presentaban una resiliencia alta y un alto valor en el sistema socioeconómico pueden persistir y continuar con las funciones bajo la amenaza de cambio en los precios.

Una combinación alta frente a las cuatro categorías lograba que el agroecosistema fuera resiliente frente las amenazas.

Los perfiles que más se destacaron en esta investigación son los perfiles de pequeños ganaderos (PB4), medianos ganaderos (PB5), pequeños agricultores de cultivos comerciales (PB16), pequeños y medianos ganaderos con más actividades (PB29) y beneficiarios indirectos: derivación (PB32). Los perfiles PB4, PB5 Y PB16 presentaban mayormente una resiliencia media, sin embargo, estos perfiles podían presentar resiliencia alta, media y baja, esto depende de la configuración de las variables, de las decisiones que el agricultor tome para el agroecosistema. En cuanto a los perfiles PB29 y PB32 se encontraban en un nivel de resiliencia alto y medio.

Frente a la amenaza de cambio climático se obtuvo que el 19% de los predios presentaron resiliencia baja, el 65% resiliencia media y el 16% resiliencia alta. Los resultados frente a la amenaza de cambio en los precios presentaron un 23% resiliencia baja, un 66% resiliencia media y un 11% en resiliencia alta. Aspectos como diversidad de coberturas de suelo en el predio, predios con cobertura de bosque con alto grado de conectividad con otros parches, diversidad de actividades económicas, disponibilidad de fuentes de agua y buenas relaciones con las instituciones en la zona son determinantes en un alto grado de resiliencia frente a vectores de cambio exógenos.

Futuros trabajos

Para futuras investigaciones se puede cuantificar y determinar el impacto del cambio climático en los agroecosistemas, debido a que en esta investigación fue difícil determinar el grado de perturbación de esta amenaza, por esto solo se pudo intervenir en la variable de disponibilidad de fuentes de agua. Además, se puede amplificar la medición de la variable aproximado de conectividad de bosques frente al agroecosistema, y por último validar el índice en campo para determinar qué tan cercano está a la realidad.

6. Bibliografía

Agudelo, C. A. R., Mazzeo, N., Díaz, I., Barral, M. P., Piñeiro, G., Gadino, I., & Roche, I. (2020). Land use planning in the Amazon basin : challenges from resilience thinking, *25*(1).

Alessa, L. (Na ia), Kliskey, A. (Anaru), Busey, R., Hinzman, L., & White, D. (2008). Freshwater vulnerabilities and resilience on the Seward Peninsula: Integrating multiple dimensions of landscape change. *Global Environmental Change*, *18*(2), 256–270. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.01.004

Altieri, M. A., & Koohafkan, P. (2008). *Enduring Farms: Climate Change, Smallholders and Traditional Farming Communities*. Printed by Jutaprint 2 Solok Sungei Pinang 3, Sg. Pinang 11600 Penang, Malaysia.

Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems, 869–890. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2

Arce-carriel, M. R., & Pozo-rivera, W. E. (2015). Variabilidad en la producción lechera del agrosistema IASA , según las categorías de intensidad de lluvias de Trojer, (October).

Béné, C., Godfrey Wood, R., Newsham, A., & Davies, M. (2012). *Resilience : New Utopia or New Tyranny ? Reflection about the Potentials and Limits of the Concept of Resilience in Relation to Vulnerability Reduction Programmes*. https://doi.org/10.1111/j.2040-0209.2012.00405.x

Bennett, E. M., Cumming, G. S., & Peterson, G. D. (2005). A systems model approach to determining resilience surrogates for case studies. *Ecosystems*, *8*(8), 945–957. https://doi.org/10.1007/s10021-005-0141-3

Berrouet Cadavid, L. M. (2018). Vulnerabilidad de sistemas sociales frente a la modificación de servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas de media montaña.

Berrouet, L. M., Machado, J., & Villegas-Palacio, C. (2018). Vulnerability of socio—ecological systems: A conceptual Framework. *Ecological Indicators*, *84*(July 2017), 632–647. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.051

Berrouet, L., Villegas-palacio, C., & Botero, V. (2020). Vulnerability of Rural Communities to Change in an Ecosystem Service Provision : Surface water supply . A Case Study in the Northern Andes , Colombia. *Land Use Policy*, *97*(March 2019), 104737. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104737

Bertoldi, S., Fiorito, M. E., & Álvarez, M. (2006). Grupo Focal y Desarrollo local : aportes para una articulación teórico-metodológica * Focal Group and Local Development : contributions for a theoretical-methodological coordination *. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, *33*, 111–131.

Biggs, R., Schluter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., Burnsilver, S., Cundill, G., … Robards, M. D. (2012). Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836

Bizikova, L., Larkin, P., Mitchell, S., & Waldick, R. (2019). Land Use Policy An indicator set to track resilience to climate change in agriculture : A policy- maker ' s perspective. *Land Use Policy*, *82*(November 2018), 444–456. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.057

Bolaños, I. (2017). Percepción Social del Riesgo por Pérdida de Servicios Ecosistémicos – Caso de Estudio Cuenca del Río Grande, Antioquia.

Bolaños, I. V. (2017). Percepción Social del Riesgo por Pérdida de Servicios Ecosistémicos – Caso de Estudio Cuenca del Río Grande, Antioquia.

Botero, L., & Rodríguez, D. (2006). COSTO DE PRODUCCIÓN DE UN LITRO DE LECHE EN UNA PRODUCTION COST OF A LITER OF MILK IN A LIVESTOCK BOVINE DOUBLE PURPOSE SYSTEM , MAGANGUÉ , BOLIVAR, *11*(2), 806–815.

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

Cadena, X., Reina, M., & Rivera, A. (2019). Precio regulado de la leche : ineficiencias , costos y alternativas.

Cai, H., Lam, N. S. N., Qiang, Y., Zou, L., Correll, R. M., & Mihunov, V. (2018). A synthesis of disaster resilience measurement methods and indices. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *31*(July), 844–855. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.015

Cardona, O. D., van Aalst, M. K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., … Sinh, B. T. (2012). Determinants of Risk : Exposure and Vulnerability, 65–108.

Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, *4*(8), 765–781.

https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9

Cetinkaya Ciftcioglu, G. (2017). Assessment of the resilience of socio-ecological production landscapes and seascapes : A case study from Lefke Region of North Cyprus. *Ecological Indicators*, *73*, 128–138. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.036

Chapin, F. S., Kofinas, G. P., & Grove, J. M. (2009). *Principles of Ecosystem Stewardship Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World*. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73033-2

Cleves-leguízamo, J. A., Toro-calderón, J., & Martínez-bernal, L. F. (2017). La Estructura Agroecológica Principal (EAP): novedosa herramienta para planeación del uso de la tierra en agroecosistemas The Principal Agroecological Structure (PAS): a new tool for planning agroecosystems, *11*(2), 441–449.

Cleves, A. (2018). Resiliencia de agroecosistemas citrícolas a la variabilidad climática en el Departamento del Meta , Colombia.

Collins, S. L., Carpenter, S. R., Swinton, S. M., Orenstein, D. E., Childers, D. L., Gragson, T. L., … Whitmer, A. C. (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

Cowie, A. L., Orr, B. J., Castillo, V. M., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., … Welton, S. (2018). Land in balance : The scienti fi c conceptual framework for Land Degradation Neutrality, *79*(August 2017), 25–35. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011

Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M. C., Frame, D., Mahowald, N., & Winther, J.-G. (2013). Introduction in Climate Change 2013. *Intergovernmental Panel on Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 119–158. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.007

Cutter, S. L. (2016). Commentary Resilience to What? Resilience for Whom?, *182*(2), 110–113. https://doi.org/10.1111/geoj.12174

DANE. (2016). Efectos del clima en la producción de la ganadería de leche.

Darnhofer, I. (2014). Resilience and why it matters for farm management, *41*(June), 461–484. https://doi.org/10.1093/erae/jbu012

Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B., & Milestad, R. (2010). Review article Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems . A review, *30*, 545–555.

Desjardins, E., Barker, G., Dieleman, C., & Dussault, A. C. (2015). Promoting resilience. *Quaterly Review of Biology*, *90*(2), 147–165.

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., … Thomas, S. (2015). The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people, 1–16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002

Duraiappah, A. K., Naeem, S., Agardy, T., Ash, N. J., Cooper, H. D., Díaz, S., … Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being*. *Ecosystems* (Vol. 5). https://doi.org/10.1196/annals.1439.003

Escobar, E., Maass, M., Alcocer, J., & Azpra-romero, E. (2009). Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas., (May 2016).

Folke, C. (2016). Resilience (Republished), *21*(4).

Folke, C., Colding, J., & Berkes, F. (2017). *Synthesis : building resilience and adaptive capacity in social – ecological systems*.

Galarza, F. B. (2009). Choices under Risk in Rural Peru, (17708).

García Múnera, V., Arias Gómez, P. A., & Vieira Agudelo, S. C. (2016). ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN SERIES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE – ANTIOQUIA.

Geilfus, F. (2005). *80 herramientas para el desarrollo participativo: Diagnóstico, Planificación Monitoreo y Evaluación*.

Gunderson, L., & Holling, C. S. (2002). Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Washington, DC.

Harger, J. R. E., & Meyer, F. M. (1996). Definition of indicators for environmentally sustainable development. *Chemosphere*, *33*(9), 1749–1775. https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00194-4

HASTINGS, A. (2010). Timescales, dynamics, and ecological understanding., *91*(May), 3471–3480.

Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L. A., Guzman, S., … Farrow, A. (2003). Evolución de los Sistemas de Producción de Leche en el Trópico Latinoamericano y su interrelación con los Mercados: Un Análisis del Caso Colombiano, (0986), 1–55.

IDEAM, & PNUD. (2017). *TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA A LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO*.

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

Jaramillo Londoño, A. R., & Areiza Segura, A. M. (2012). Análisis del Mercado de la Leche y Derivados Lácteos en Colombia (2008 – 2012).

León Sicard, T., Mendoza Rodríguez, T., & Córdoba Vargas, C. (2014). LA ESTRUCTURA AGROECOLÓGICA PRINCIPAL DE LA FINCA (EAP): UN NUEVO CONCEPTO ÚTIL EN AGROECOLOGÍA, *9*, 55–66.

Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A.-F., Bardy, M., Baudry, J., … Soussana, J.-F. (2015). A social–ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.04.001

Li, Y., Shi, Y., Qureshi, S., Bruns, A., & Zhu, X. (2014). Applying the concept of spatial resilience to socio-ecological systems in the urban wetland interface. *Ecological Indicators*, *42*, 135–146. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.032

López-Ridaura, S., Masera, O., & Astier, M. (2000). Evaluating the sustainability of integrated peasantry systems - The MESMIS Framework. *Ileia*, *December 2*, 28–30. https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00043-2

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

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. (2006). Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza- sociedad en un mundo cambiante, 229–258. Retrieved from http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuaderno-interdisciplinar-de-desarrollo-sostenible-cuides/3/3-478.pdf

May, R. M. (1973). Qualitative Stability in Model Ecosystems, *54*(3), 638–641.

Mccune, N. M., Guevara-hernández, F., Nahed-toral, J., Mendoza-nazar, P., Ovando-cruz, J., & Ruiz-sesma, B. (2012). Social-Ecological Resilience and Maize Farming in Chiapas, Mexico.

Moscoso, L. B., Arcila, N., & Hernández, R. (2019). Cambios proyectados a 2040 en los ecosistemas de la jurisdicción de Corantioquia de acuerdo con los escenarios de cambio climático del Ideam.

Mumby, P. J., Chollett, I., Bozec, Y., & Wolff, N. H. (2013). Ecological resilience , robustness and vulnerability : how do these concepts benefit ecosystem management ?

Munaretto, L. F., Luiz Corrêa, H., & Araújo Carneiro da Cunha, J. (2013). Um estudo sobre as características do método Delphi e de grupo focal , como técnicas na obtenção de dados em pesquisas exploratórias. *Revista de Administração Da Universidade Federal de Santa Maria.*, *6*, *nú*, 9–24. https://doi.org/10.5902/198346596243

Narpat, J. S., Berkes, F., Folke, C., & Colding, J. (1998). Reviving the social system-ecosystem links in the Himalayas. *Linking Social and Ecological Systems*.

Okpara, U. T., Stringer, L. C., Akhtar-schuster, M., Metternicht, G. I., Dallimer, M., & Requier-desjardins, M. (2018). A social-ecological systems approach is necessary to achieve land degradation neutrality. *Environmental Science and Policy*, *89*(February), 59–66. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.07.003

ONU-IAS, Biodiversity International, IGES, & UNDP. (2014). *Toolkit for the Indicators of Resilience in Socio-ecological Production Landscapes and Seascapes (SEPLS).*

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

Oviedo Torres, B. E. (2010). GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES A PARTIR DE MODELOS GLOBALES - GUÍA PARA TOMADORES DE DECISIONES.

Panpakdee, C., & Limnirankul, 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

Peterson, C. A., Eviner, V. T., & Gaudin, A. C. M. (2018). Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems*, *162*(February 2017), 19–27. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.011

Poveda Jaramillo, G. (2006). El Clima de Antioquia, (May).

Preston, S. H. (1996). The effect of population growth on environmental quality. *Population Research and Policy Review*, *15*(2), 95–108. Retrieved from isi:A1996UN77600001

Ramírez, A. L., & Vásquez, S. (2009). COSTOS DE PRODUCCIÓN LECHERA EN COLOMBIA, PROBLEMAS Y OPORTUNIDADES, 1–50.

Ramirez Guerra, S. (2018). *Retrospectiva del sector lácteo colombiano*.

Reed, M. S., Stringer, L. C., Dougill, A. J., Perkins, J. S., Atlhopheng, J. R., Mulale, K., &

Favretto, N. (2015). Reorienting land degradation towards sustainable land management : Linking sustainable livelihoods with ecosystem services in rangeland systems. *Journal of Environmental Management*, *151*, 472–485. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.010

Restrepo, L. F., Peña, C., & Martínez, M. F. (2019). Climate change in the city of Medellin – Colombia , throughout fifty years (1960-2010) Cambio climático en la ciudad de Medellín – Colombia , en un periodo de cincuenta años (1960-2010), *86*(209), 312–318.

Rosenzweig, M. L. (1971). Paradox of Enrichment : Destabilization of Exploitation Ecosystems in Ecological Time Paradox of Enrichment : Destabilization of Exploitation Ecosystems in Ecological Time, (February). https://doi.org/10.1126/science.171.3969.385

Saranya, C., & Manikandan, G. (2013). A Study on Normalization Techniques for Privacy Preserving Data Mining, *5*(3), 2701–2704.

Schuschny, A., & Soto, H. (2009). Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. *Naciones Unidas*, 109. https://doi.org/LC/W255

Scoones, I. (1998). SUSTAINABLE RURAL LIVELIHOODS A FRAMEWORK FOR ANALYSIS IDS WORKING, *Paper 72*.

Srinivasa, C., Kareemulla, K., Krishnan, P., Murthy, G. R. K., Ramesh, P., Ananthan, P. S., & Joshi, P. K. (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

Standish, R. J., Hobbs, R. J., Mayfield, M. M., Bestelmeyer, B. T., Suding, K. N., Battaglia, L. L., … Thomas, P. A. (2014). Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is? *Biological Conservation*, *177*, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.06.008

Sterk, M., Leemput, I. A. Van De, & Thm, E. (2017). ScienceDirect How to conceptualize and operationalize resilience in socio-ecological systems ? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *28*, 108–113. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.09.003

The Resilience Alliance. (2010). Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. *Resilience Alliance*, 54. https://doi.org/10.1007/s11284-006-0074-0

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

Virapongse, A., Brooks, S., Covelli, E., Zedalis, M., Gosz, J., Kliskey, A., & Alessa, L. (2016). A social-ecological systems approach for environmental management. *Journal of Environmental Management*, *178*, 83–91. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.028

Walters, C. J. ., & Holling, C. . S. . (1990). Large-Scale Management Experiments and Learning, *71*(6), 2060–2068.

WingChing-Jones, R., Pérez, R., & Salazar, E. (2015). Condiciones ambientales y producción de leche de un hato de ganado jersey en el trópico húmedo : el caso del Módulo Lechero- SDA / UCR, (January 2008).

Zuluaga, E., Julián, J., Fernando, L., Julián, J., Zuluaga, E., & Restrepo, L. F. (2009). Efecto meteorológico sobre la producción y calidad de la leche en dos Municipios de Antioquia - Colombia *.

A. Anexo 1: Encuesta a expertos

Encuesta sobre la construcción de un índice de resiliencia en agroecosistemas. Caso de estudio cuenca de Rio Grande.

Gracias por aceptar participar de esta conversación. Actualmente estoy desarrollando como tesis de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo un índice de resiliencia de agroecosistemas bajo el enfoque conceptual de sistemas socio-ecológicos. Este índice tendrá aplicación en sistemas de producción agrarios de acuerdo con unas tipologías previamente definidas en otros proyectos de investigación. Mi tesis se enmarca en dos proyectos de investigación: El proyecto TRASSE que es un proyecto internacional donde participa la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Nacional de México, el Colegio de México, la Universidad de Grenoble, la Universidad de Rennes, el Cirad. EL segundo proyecto es un proyecto financiado por Colciencias a la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Antioquia. Ambos proyectos estudian trayectorias de sistemas socio-ecológicos de cuenca y el caso de estudio en Colombia es la Cuenca del Rio Grande.

Los sistemas socio-ecológicos (SSE) abarcan las relaciones entre los sistemas sociales y los sistemas ecológicos en un contexto político e institucional definido. Estas relaciones están mediadas por los servicios ecosistémicos entendidos como todos los beneficios que los sistemas sociales humanos obtienen de los sistemas ecológicos. Recientemente el concepto de servicios ecosistémicos ha evolucionado hacia el concepto de Contribuciones de la naturaleza para la gente (NCP por sus siglas en inglés) (Diaz et al 2018). Las NCP son definidas como todas las contribuciones, positivas y negativas, de la naturaleza a la calidad de vida de las comunidades humanas (IPBES, s.f.). En muchas ocasiones en el proceso de aprovechamiento de estas contribuciones, los sistemas sociales modifican procesos de los sistemas ecológicos que afectan su capacidad de continuar con la provisión de contribuciones, lo que en últimas puede repercutir en la calidad de vida y el bienestar de las comunidades humanas (motores de cambio endógenos). Adicionalmente, el SSE puede verse afectado también por motores de cambio exógenos al mismo;

estos motores son de diversas clases, como el cambio climático o cambios en variables de tipo económico que modifican las actividades que las comunidades humanas desarrollan.

No siempre los vectores de cambio inducen afectaciones sobre las funciones ecosistémicas, esto varía y depende de la magnitud de las perturbaciones y de las características del sistema como su vulnerabilidad y resiliencia (L. M. Berrouet et al., 2018). La resiliencia es una propiedad de los SSE y se refiere a la magnitud del cambio o perturbación que un sistema puede experimentar sin cambiar a un estado alternativo que tiene diferentes propiedades estructurales y funcionales y suministra diferentes conjuntos de servicios ecosistémicos que benefician a las personas (The Resilience Alliance, 2010). Definida también como la capacidad de un SSE para enfrentar presiones endógenas y exógenas y continuar con su funcionamiento (Sterk et al., 2017).

Un claro ejemplo de dichas presiones en países en vías de desarrollo es el cambio intensivo de uso del suelo en cuencas hidrográficas estratégicas para la provisión de servicios ecosistémicos cruciales, como provisión de agua. Este cambio de uso del suelo ha favorecido principalmente la oferta de servicios de provisión como la producción de alimentos a través de sistemas agrícolas y pecuarios. Lo anterior es particularmente importante en cuencas de los Andes tropicales y particularmente en países como Colombia en los que la mayoría de la población y actividades económicas importantes (como agricultura y ganadería) se localizan en áreas montañosas. Dichas actividades son necesarias para suplir el consumo de alimentos de la población (Preston, 1996; Cubasch et al., 2013).

Los agroecosistemas, entendidos como un ecosistema natural que ha sido modificado por el hombre para la producción de alimentos o materias primas (Fajardo, 2011) o como un ecosistema administrado con la intención de producir, distribuir y consumir alimentos, combustible y fibra, pueden ser analizados bajo la óptica de los sistemas socio-ecológicos (Cabel & Oelofse, 2012). Cabel & Oelofse (2012) argumentan que en el contexto de los agroecosistemas la resiliencia es una propiedad que nace de la interacción única entre el administrador del agroecosistema, el agroecosistema en sí mismo y el contexto en que está inmerso. Podemos entender en este caso la resiliencia como la capacidad del agroecosistema para enfrentar presiones endógenas y exógenas y continuar con su funcionamiento de provisión sostenible de NCP y/o sostenimiento de los niveles de bienestar y calidad de vida de las comunidades humanas.

A partir de revisión de literatura nosotros hicimos una identificación de las variables clave que determinan la resiliencia de un ecosistema frente a amenazas como

- Variaciones en el régimen de precipitación y temperatura (cambios exógenos en el dominio biofísico)
- Variaciones en el precio de los productos (cambios exógenos en el dominio socioeconómico)

Quisiéramos validar la selección de estas variables con expertos y conocer su opinión acerca de la importancia de cada una en la resiliencia del agroecosistema. Las variables las agrupamos en 4 categorías:

1. Características del sistema natural
2. Características del sistema productivo
3. Características del sistema socioeconómico
4. Características del sistema institucional

Estas categorías están en línea con el marco conceptual de los medios de vida sostenibles. Un medio de vida se define como sostenible cuando es capaz de enfrentar o recuperarse de situaciones de estrés y shocks y mantener sus capacidades sin deteriorar el capital natural (Scoones, 1998). Los medios de vida sostenibles están caracterizados por 5 tipos de capitales: Capital humano, capital social, capital natural, capital financiero y capital físico.

Cada categoría está compuesta por un conjunto de variables como se indica en la tabla que le voy a pasar a continuación. (Entregarle al experto la hoja que se encuentra a continuación donde está la lista de variables).

A continuación, voy a explicarle cada una de las variables, pero primero quisiera hacerle una pregunta:
Si usted tuviera que indicar un nivel de importancia a cada categoría, ¿cuánto le asignaría a cada una? Por favor indíquelo en la hoja que le entregué debajo de cada categoría. Asigne un peso entre 0 y 100 a cada categoría. Considere que la suma de los pesos debe ser 100.

¿Considera usted que falta alguna categoría? Si su respuesta es afirmativa por favor indíquelo en la hoja.

Ahora le voy a leer la descripción de cada una de las variables que identificamos dentro de cada categoría y le voy a pedir que, al igual que en la parte anterior, le asigne un grado de importancia a cada variable dentro de cada categoría. Si usted considera que esa variable

no determina la resiliencia por favor asígnele cero de importancia. Si usted considera que es necesario considerar otras variables por favor indíquelo

Anexo 1.

Categoría	Variable	Definición de variable
Sistema Natural	Número de coberturas vegetales en el predio	Una cobertura vegetal es una capa de vegetación que cubre la superficie terrestre: pastizales, bosques, cultivos, rastrojos, entre otros, que tienen características propias. La cobertura vegetal en términos de diversidad funcional de la vegetación mantiene las funciones del ecosistema para el suministro de los servicios ecosistémicos. Según Bigs et al., (2012) al igual que la diversidad, la diversidad de coberturas proporciona opciones de respuesta ante un cambio o un disturbio en el agroecosistema que se puede observar a través del tiempo, y permite que las coberturas se recuperen y restauren los nutrientes. De esta forma se espera que un predio que tiene un mayor número de coberturas vegetales sea más resiliente a cambios.
	Homogeneidad de las proporciones de cada cobertura en el predio	No sólo el número de coberturas es importante sino su representatividad en el predio. Dos predios pueden tener el mismo número de coberturas vegetales, pero en uno de ellos domina un tipo de cobertura mientras que en el otro la proporción del predio ocupada por cada cobertura es más o menos homogénea. Estos dos predios tendrán diferentes niveles de resiliencia. La homogeneidad de las proporciones de las diferentes coberturas en el predio permite un balance del sistema en cuanto a la distribución de recursos y usos del suelo, ante la perturbación de alguna de las coberturas vegetales el sistema no se verá altamente afectado, lo que aporta a la resiliencia del agroecosistema.
	Aproximado de conectividad de los parches de bosques en el predio con parches cercanos	Se refiere a la relación de la densidad, la distancia y la conexión entre los parches de bosque. El manejo de parches altamente conectados puede contribuir a la provisión sostenida y resistencia del sistema productivo. La conectividad facilita la capacidad de respuesta de los paisajes y las especies ante perturbaciones naturales y antropogénicas (Gutiérrez 2006, p.40. La conectividad de bosques facilita el intercambio de material o información necesaria para la preservación y conservación del funcionamiento ecológico del agroecosistema, de esta forma un sistema conectado es más resiliente.

	Vulnerabilidad del capital natural suelo frente a cambios en cobertura	La vulnerabilidad del capital natural del suelo (CNS) se define como la pérdida de la capacidad de CNS para mantener las funciones del ecosistema y sus servicios asociados como el control de erosión, cuando se enfrentan a diferentes amenazas en un espacio y tiempo determinados (Machado et al., 2019). Una menor vulnerabilidad del capital natural suelo significa un predio más resiliente. El grado de vulnerabilidad del suelo fue calculado y especializado en la zona de estudio por Machado et al (2019).
	Capacidad de retención de agua disponible	Un agroecosistema es resiliente frente a una sequía cuando tiene alta capacidad de almacenamiento de H2O. Ante un evento de sequía los predios ubicados en zonas de alta capacidad de almacenamiento tienen una mayor disponibilidad de agua para el mantenimiento de cultivos o coberturas. Un ecosistema con mayor capacidad de almacenamiento puede sobrellevar mejor la perturbación de sequía al durar más tiempo sin el riego de agua, debido a su condición natural. Por otro lado, un agroecosistema que cuente con baja capacidad de almacenamiento no podría durar tanto tiempo ante una sequía.
Sistema Productivo	Dependencia de Fertilizantes, herbicidas e insecticidas	Un fertilizante es una sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo. El uso de estos insumos puede estar relacionado con la fertilidad del suelo para el uso deseado. Un herbicida es un producto químico o no que se utiliza para inhibir o interrumpir el desarrollo de plantas indeseadas, también conocidas como “malas hierbas”, en terrenos que han sido o van a ser cultivados. El uso continuo de este insumo puede deteriorar la capa vegetal, interrumpiendo el desarrollo de vida, afectando la resiliencia del sistema Los insecticidas son compuestos químicos utilizados para controlar o matar insectos portadores de enfermedades. El uso en exceso de estos insecticidas trae perjuicios para la salud de los humanos y de ciertos animales indispensables para la función del ecosistema. Según Peterson et al 2018, una dependencia alta a los insumos externos conlleva a que el agroecosistema sea menos resiliente, ya que es más probable cambiar de un sistema productivo a un sistema improductivo.
	Número de actividades económicas en el predio	Se refiere a cuantas actividades económicas o productivas se cuentan en el predio. La diversificación permite solventar dificultades al disminuir los recursos o al tener variaciones en los precios de venta de uno o más productos. Además, está variable está ligada al principio de mantenimiento de la diversidad y redundancia como parte de las estrategias de subsistencia del sistema.

	Homogeneidad de las actividades económicas en el predio	Esta variable indica el grado de homogeneidad en la distribución de las actividades económicas en un predio. Se asume que un predio que tenga una distribución más homogénea de actividades económicas (las proporciones del predio destinadas a cada actividad son más o menos equivalentes, es decir, la desviación estándar es menor) es más resiliente que un predio que tenga predominancia de una actividad particular.
	Disponibilidad de fuentes de agua	Se refiere al número de fuentes de agua de las que el predio puede hacer uso. Por fuentes se entiende el tipo o forma en que el recurso hídrico se encuentra disponible para el uso (fuentes superficiales en el predio, fuentes subterráneas en el predio, acueducto veredal, fuentes superficiales en predios vecinos, fuentes subterráneas en predios vecinos y nacimiento en el predio).
	Demanda de agua	Se refiere a la cantidad de agua que el agroecosistema necesita para garantizar el sostenimiento de las actividades productivas.
Sistema Socioeconómico	Nivel de beneficios	Beneficios (ingresos menos costos) que el predio genera al año por cada hectárea. Es un indicador del nivel de recursos con que cuenta un beneficiario.
	Acceso a tecnología e innovación	Se refiere a las herramientas como asesorías en producción agropecuaria, gestión ambiental, manejo de aguas y manejo de suelos que puedan utilizar los beneficiarios para implementar tecnologías en el predio, tales como fertilización orgánica, silvopastoreo, alternativas alimenticias, manejo integrado de plagas, ordeño higiénico y enfriamiento adecuado de la leche, recuperación y manejo de microcuencas y manejo del recurso hídrico, uso de medicamentos alternativos, manejo adecuado del suelo, conservación y preservación de la biodiversidad en la flora y fauna, entre otras.
	Conocimiento ecológico y problemática ambiental	Esta variable se refiere al conocimiento que tienen los beneficiarios sobre los procesos ecológicos en el territorio y los factores de cambio que amenazan el equilibrio de los ecosistemas. Este conocimiento puede ser adquirido a través de participaciones en espacios de temáticas ambientales.
	Acceso a seguros	Se refiere al acceso a seguros que protejan el agricultor y/o ganadero en caso de pérdidas por disturbios naturales que no se pueden controlar
	Disponibilidad y acceso al crédito	El predio cuenta con acceso a crédito para inversiones futuras o para responder ante perturbaciones (perdidas en el sistema).

	Capacitaciones sobre actividades productivas	La teoría de resiliencia habla de la constante necesidad de actualizar el conocimiento existente para la adaptación y la evolución en un SSE. La participación en temas de capacitación facilita la acción colectiva necesaria para responder a las perturbaciones y cambios en los SSE.
	Educación	De acuerdo con Marsiglia, 2017, "La educación es una medida de las habilidades que los individuos deberían tener a fin de adaptarse (Moss et al., 2001; Narayanan & Sahu, 2016). En cuanto mayor nivel educativo presente un individuo, mayor es la habilidad de acceder a la información, lo que hace que pueda apropiarse y comprender lo que pasa a su alrededor, permitiendo que pueda implementar estrategias de adaptación ante diferentes fenómenos, como es el caso de cambios en los niveles de provisión de un SE (Cutter et al., 2003; Below et al., 2012; Bohórquez, 2013)".
Características institucionales	Distribución de la información	De acuerdo con Marsiglia (2017), "Las respuestas individuales o colectivas que se generen en el contexto socio-ecológico estarán determinadas por el acceso a información pertinente por parte de los beneficiarios. De ahí la importancia de contar con información que les ayude a implementar estrategias, mejorar actividades de sus medios de vida y obtener conocimiento (Ensor et al., 2015). Para esto, las instituciones dan orientación a través de diferentes mecanismos para llegar a las comunidades y brindar información pertinente y que pueda ser útil, en este caso en el contexto de servicios ecosistémicos"
	Mecanismos de conservación	Se refiere a los mecanismos de tipo institucional que se implementan para conservar y/o mantener los SE, a la vez que ayudan a los beneficiarios en sus medios de vida (Kalikoski et al., 2010). En esta investigación se encuentran: los incentivos a la producción (estimulo otorgados para incrementar y/o mejorar producción y rendimiento, insumos, descuento de créditos), créditos financieros y los pagos por conservación de los ecosistemas. Esta variable fue analizada por Marsiglia 2017 para la zona de estudio.
	Relación institución beneficiario	Mide la presencia de las instituciones como las juntas de acción comunal, los entes territoriales, la Umata, la autoridad ambiental en el territorio y la relación entre estas y la comunidad. El grado de apoyo de las instituciones en los diferentes eventos como capacitaciones, generación de conocimiento, apropiación de espacios, genera una mayor retroalimentación entre la institución y el beneficiario (Ensor et al., 2015). Los hogares que interactúan con una mayor variedad de instituciones tendrán mayor capacidad de adaptación frente al fenómeno (Vincent, 2007).

	Organización de la comunidad	Según Marsiglia 2017, “esta variable es una medida de las redes sociales en la que participa un beneficiario. En estas redes se generan lazos que facilitan la cooperación y el acceso a oportunidades y recursos (Ensor et al., 2015; Mussetta et al., 2016). 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). Estas redes pueden ser asociaciones de mujeres, juntas de acción comunal, grupos de mesas ambientales entre otras (Moss et al., 2001; Goldman & Riosmena, 2013; Kalikoski et al., 2010). A mayor número de asociaciones o grupos sociales a las que pertenece un beneficiario, genera mayores redes sociales que le permiten implementar estrategias adaptativas (Narayanan & Sahu, 2016; Below et al., 2012)”.

A continuación, le pedimos por favor algunos datos para desarrollo de los análisis, esta información es sobre algunas características de su área de conocimiento y experiencia. Por favor, marque con una X su respuesta.

1. ¿Cuál es su máximo nivel alcanzado de estudio?

	Descripción (opcional)	
Pregrado		
Especialización		
Maestría		
Doctorado		

2. ¿En qué sector se desempeña?

	Descripción (opcional)	
Consultoría		
Académico		
Sector publico		
Sector privado		

3. Área de trabajo (Por favor mencione de manera explicativa el área donde se ha desempeñado los últimos cinco años. De ser necesario por favor explique lo que hace.)

4. ¿Cuánta ha sido su experiencia en investigación, formación y/o trabajo en Servicios ecosistémicos?

0 a 12 meses	
12 a 24 meses	
24 a 36 meses	
36 a 48 meses	
Mayor a 48 meses	

5. ¿Cuánta ha sido su experiencia en investigación, formación y/o trabajo en agroecosistemas?

0 a 12 meses	
12 a 24 meses	
24 a 36 meses	

36 a 48 meses	
Mayor a 48 meses	

6. País de residencia

Respuesta opcional. Los datos serán utilizados solo para fines de la investigación

Institución donde labora:

E-mail de contacto:

Nombre y apellidos:

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

OBSERVACIONES (Si desea dejarnos algunos comentarios o apreciaciones sobre el tema, utilice el siguiente espacio)

Sistema natural	Sistema productivo	Sistema socio-económico	Sistema institucional
• Factores ecológicos involucrados en el sistema a evaluar (predio), recursos que hacen el ecosistema, caracterización ecológica, es decir las características biofísicas en el que se encuentra el agroecosistema. • ***IMPORTANCIA 1*** _____ • ***IMPORTANCIA 2*** _____	• Características de la actividad agraria que inciden sobre la resiliencia de un agroecosistema. • ***IMPORTANCIA 1*** _____ • **IMPORTANCIA 2** _____	• Factores socio-económicos que se encuentran en el sistema productivo y en la fuerza de trabajo. • ***IMPORTANCIA 1*** _____ • **IMPORTANCIA 2** _____	• Para esta categoría se tendrán en cuenta los marcos institucionales relevantes que incluyen tanto la jurisdicción nacional como la provincial, estrategias y políticas específicas sobre manejo de granjas agrícolas. • ***IMPORTANCIA 1*** _____ • **IMPORTANCIA 2** _____

CATEGORÍAS ADICIONALES: _____

CATEGORÍA SISTEMA NATURAL

Variable	Definición de variable	**Nivel de Importancia frente amenaza 1** (Valores de 0 a 100)	**Nivel de importancia frente amenaza 2** (Valores de 0 a 100)
Número de coberturas vegetales en el predio	Cobertura vegetal es una capa de vegetación que cubre la superficie terrestre: pastizales, bosques, cultivos, rastrojos, entre otros, que tienen características propias. La cobertura vegetal en términos de diversidad funcional de la vegetación mantiene las funciones del ecosistema para el suministro de los servicios ecosistémicos. Según Bigs et al (2012) al igual que la diversidad, la diversidad de coberturas proporciona opciones de respuesta ante un cambio o un disturbio en el agroecosistema que se puede observar a través del tiempo, y permite que las coberturas se recuperen y restauren los nutrientes. De esta forma se espera que un predio que tiene un mayor número de coberturas vegetales sea más resiliente a cambios.		
Homogeneidad de las proporciones de cada cobertura en el predio	No sólo el número de coberturas es importante sino su representatividad en el predio. Dos predios pueden tener el mismo número de coberturas vegetales, pero en uno de ellos domina un tipo de cobertura mientras que en el otro la proporción del predio ocupada por cada cobertura es más o menos homogénea. Estos dos predios tendrán diferentes niveles de resiliencia. La homogeneidad de las proporciones de las diferentes coberturas en el predio permite un balance del sistema en cuanto a la distribución de recursos y usos del suelo, ante la perturbación de alguna de las coberturas vegetales el sistema no se verá altamente afectado, lo que aporta a la resiliencia del agroecosistema.		

Aproximado de conectividad de los parches de bosques en el predio con parches cercanos	Se refiere a la relación de la densidad, la distancia y la conexión entre los parches de bosque. El manejo de parches altamente conectados puede contribuir a la provisión sostenida y resistencia del sistema productivo. La conectividad facilita la capacidad de respuesta de los paisajes y las especies ante perturbaciones naturales y antropogénicas (Gutiérrez 2006, p.40). Esta variable está ligada con el principio dos de conectividad de la resiliencia, que comprende los componentes de conectividad vegetal o de paisaje. La a conectividad de bosques facilita el intercambio de material o información necesaria para la preservación y conservación del funcionamiento ecológico del agroecosistema, de esta forma un sistema conectado es más resiliente.		
Vulnerabilidad del capital natural suelo frente a cambios en cobertura	La vulnerabilidad del capital natural del suelo (SNC) se define como la pérdida de la capacidad de SNC para mantener las funciones del ecosistema y sus servicios asociados como el control de erosión, cuando se enfrentan a diferentes amenazas en un espacio y tiempo determinados (Machado et al., 2019). Una menor vulnerabilidad del capital natural suelo significa un predio más resiliente. El grado de vulnerabilidad del suelo fue calculado y especializado en la zona de estudio por Machado et al (2019)		
Capacidad de retención de agua disponible	Un agroecosistema es resiliente frente a una sequía cuando tiene alta capacidad de almacenamiento de H2O. Ante un evento de sequía los predios ubicados en zonas de alta capacidad de almacenamiento tienen una mayor disponibilidad de agua para el mantenimiento de cultivos o coberturas. Un ecosistema con mayor capacidad de almacenamiento puede sobrellevar mejor la perturbación de sequía al durar más tiempo sin el riego de agua, debido a su condición natural. Por otro lado, un agroecosistema que cuente con baja capacidad de almacenamiento no podría durar tanto tiempo ante una sequía.		
Total	La suma del total de la importancia debe de ser de 100		

CATEGORÍA SISTEMA PRODUCTIVO

Variable	**Definición de variable**	**Nivel de importancia frente amenaza 1** (Valores de 0 a 100)	**Nivel de importancia frente amenaza 2** (Valores de 0 a 100)
Dependencia de Fertilizantes, herbicidas e insecticidas	Un fertilizante es una sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo. El uso de estos insumos puede estar relacionado con la fertilidad del suelo para el uso deseado. Un herbicida es un producto químico o no que se utiliza para inhibir o interrumpir el desarrollo de plantas indeseadas, también conocidas como “malas hierbas”, en terrenos que han sido o van a ser cultivados. El uso continuo de este insumo puede deteriorar la capa vegetal, interrumpiendo el desarrollo de vida, afectando la resiliencia del sistema Los insecticidas son compuestos químicos utilizados para controlar o matar insectos portadores de enfermedades. El uso en exceso de estos insecticidas trae perjuicios para la salud de los humanos y de ciertos animales indispensables para la función del ecosistema. Según Peterson et al 2018, una dependencia alta a los insumos externos conlleva a que el agroecosistema sea menos resiliente, ya que es más probable cambiar de un sistema productivo a un sistema improductivo.		
Número de actividades económicas en el predio	Se refiere a cuantas actividades económicas o productivas se cuentan en el predio. La diversificación permite solventar dificultades al disminuir los recursos o al tener variaciones en los precios de venta de uno o más productos. Además, está variable está ligada al principio de mantenimiento de la diversidad y redundancia como parte de las estrategias de subsistencia del sistema.		

Homogeneidad de las actividades económicas en el predio	Esta variable indica el grado de homogeneidad en la distribución de las actividades económicas en un predio. Se asume que un predio que tenga una distribución más homogénea de actividades económicas (las proporciones del predio destinadas a cada actividad son más o menos equivalentes, es decir, la desviación estándar es menor) es más resiliente que un predio que tenga predominancia de una actividad particular.		
Disponibilidad de fuentes de agua	Se refiere al número de fuentes de agua de las que el predio puede hacer uso. Por fuentes se entiende el tipo o forma en que el recurso hídrico se encuentra disponible para el uso (fuentes superficiales en el predio, fuentes subterráneas en el predio, acueducto veredal, fuentes superficiales en predios vecinos, fuentes subterráneas en predios vecinos y nacimiento en el predio).		
Demanda de agua	Se refiere a la cantidad de agua que el agroecosistema necesita para garantizar el sostenimiento de las actividades productivas.		
Total	La suma de la importancia debe ser de 100		

CATEGORÍA SISTEMA SOCIO-ECONÓMICO

Variable	**Definición de variable**	**Nivel de importancia frente amenaza 1** (Valores de 0 a 100)	**Nivel de importancia frente amenaza 2** (Valores de 0 a 100)
Nivel de beneficios	Beneficios (ingresos menos costos) que el predio genera al año por cada hectárea. Es un indicador del nivel de recursos con que cuenta un beneficiario.		
Acceso a tecnología e innovación	Se refiere a las herramientas como asesorías en producción agropecuaria, gestión ambiental, manejo de aguas y manejo de suelos que puedan utilizar los beneficiarios para implementar tecnologías en el predio, tales como fertilización orgánica, silvopastoreo, alternativas alimenticias, manejo integrado de plagas, ordeño higiénico y enfriamiento adecuado de la leche, recuperación y manejo de microcuencas y manejo del recurso hídrico, uso de medicamentos alternativos, manejo adecuado del suelo, conservación y preservación de la biodiversidad en la flora y fauna, entre otras.		
Conocimiento ecológico y problemática ambiental	Esta variable se refiere al conocimiento que tienen los beneficiarios sobre los procesos ecológicos en el territorio y los factores de cambio que amenazan el equilibrio de los ecosistemas. Este conocimiento puede ser adquirido a través de participaciones en espacios de temáticas ambientales.		
Acceso a seguros	Se refiere al acceso a seguros que protejan el agricultor y/o ganadero en caso de pérdidas por disturbios naturales que no se pueden controlar		
Disponibilidad y acceso al crédito	El predio cuenta con acceso a crédito para inversiones futuras o para responder ante perturbaciones (perdidas en el sistema).		

Capacitaciones sobre actividades productivas	La teoría de resiliencia habla de la constante necesidad de actualizar el conocimiento existente para la adaptación y la evolución en un SSE. La participación en temas de capacitación facilita la acción colectiva necesaria para responder a las perturbaciones y cambios en los SSE.		
Educación	De acuerdo con Marsiglia (2017) “a educación es una medida de las habilidades que los individuos tendrían que tener a fin de adaptarse (Moss et al., 2001; Narayanan & Sahu, 2016). En cuanto mayor nivel educativo presente un individuo, mayor es la habilidad de acceder a la información, lo que hace que pueda apropiarse y comprender lo que pasa a su alrededor, permitiendo que pueda implementar estrategias de adaptación ante diferentes fenómenos, como es el caso de cambios en los niveles de provisión de un SE (Cutter et al., 2003; Below et al., 2012; Bohórquez, 2013).”		
Total	La suma de la importancia debe ser igual a 100		

CATEGORÍA SISTEMA INSTITUCIONAL

Variable	Definición de variable	**Nivel de importancia frente amenaza 1** (Valores de 0 a 100)	**Nivel de importancia frente amenaza 2** (Valores de 0 a 100)
Distribución de la información	De acuerdo con Marsiglia (2017), "Las respuestas individuales o colectivas que se generen en el contexto socio-ecológico estarán determinadas por el acceso a información pertinente por parte de los beneficiarios. De ahí la importancia de contar con información que les ayude a implementar estrategias, mejorar actividades de sus medios de vida y obtener conocimiento (Ensor et al., 2015). Para esto, las instituciones dan orientación a través de diferentes mecanismos para llegar a las comunidades y brindar información pertinente y que pueda ser útil, en este caso en el contexto de servicios ecosistémicos"		
mecanismos de conservación	Se refiere a los mecanismos de tipo institucional que se implementan para conservar y/o mantener los SE, a la vez que ayudan a los beneficiarios en sus medios de vida (Kalikoski et al., 2010). En esta investigación se encuentran: los incentivos a la producción (estimulo otorgados para incrementar y/o mejorar producción y rendimiento, insumos, descuento de créditos), créditos financieros y los pagos por conservación de los ecosistemas. Esta variable fue analizada por Marsiglia 2017 para la zona de estudio.		
Relación institución beneficiario	Mide la presencia de las instituciones como las juntas de acción comunal, los entes territoriales, la Umata, la autoridad ambiental en el territorio y la relación entre estas y la comunidad. El grado de apoyo de las instituciones en los diferentes eventos como capacitaciones, generación de conocimiento, apropiación de espacios, genera una mayor retroalimentación entre la institución y el beneficiario (Ensor et al., 2015). Los hogares que interactúan con una mayor variedad de instituciones tendrán mayor capacidad de adaptación frente al fenómeno (Vincent, 2007).		

Organización de la comunidad	Según Marsiglia 2017, “esta variable es una medida de las redes sociales en la que participa un beneficiario. En estas redes se generan lazos que facilitan la cooperación y el acceso a oportunidades y recursos (Ensor et al., 2015; Mussetta et al., 2016). 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). Estas redes pueden ser asociaciones de mujeres, juntas de acción comunal, grupos de mesas ambientales entre otras (Moss et al., 2001; Goldman & Riosmena, 2013; Kalikoski et al., 2010) . A mayor número de asociaciones o grupos sociales pertenece un beneficiario, genera mayores redes sociales que le permiten implementar estrategias adaptativas (Narayanan & Sahu, 2016; Below et al., 2012).		
Total	La suma de la importancia debe ser igual a 100		