UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Variables Explicativas de la Vulnerabilidad Biofísica y Socio Económica al Cambio Climático en Agroecosistemas de la Cuenca del Rio Grande – Antioquia

Juan Carlos Dávila Betancurth

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agronómicas

Medellín, Colombia

2.016

Variables Explicativas de la Vulnerabilidad Biofísica y Socio Económica al Cambio Climático en Agroecosistemas de la Cuenca del Rio Grande – Antioquia

Juan Carlos Dávila Betancurth

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

DIRECTOR:

León Darío Vélez Vargas

Ingeniero Agrónomo MSc., DSc.

Profesor Asociado Departamento de Ciencias Agronómicas

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Línea de Investigación:

Plantaciones Agrícolas Tropicales

Grupo de Investigación:

Conservación y Manejo de Agroecosistemas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agronómicas

Medellín, Colombia

A Eline, Edeline, a mis padres con todo mi amor.

Mi mayor motivación en este proceso

Agradecimientos

En primer lugar a los productores y familias de la cuenca del Rio Grande por abrirnos las puertas de sus casas y ofrecernos su cálido abrigo en las frías noches del “altiplano” norte de Antioquia.

Al programa Gestión del Riesgo Asociado al Cambio Climático en Cuencas Hidrográficas. Convocatoria 543 de 2.012 financiado por COLCIENCIAS y cofinanciado por Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Universidad de Antioquia, COLANTA, CORANTIOQUIA, gracias a su apoyo hoy se presenta este resultado.

A mi estimado profesor León Darío Vélez Vargas por compartir su valioso conocimiento, por su acompañamiento permanente, por brindarme la oportunidad de crecer como persona y por su paciencia en la tarea de formar un profesional más de las Ciencias Agrarias para el país.

A los estudiantes de pregrado y miembros del grupo de Investigación en “Conservación y Manejo de Agroecosistemas” CyMA, en particular a Fredy José Genes Arrieta y Andrés David Calle Arango (…hoy Ingenieros Agrónomos), elementos clave en el trabajo de campo, al igual que los estudiantes de la asignatura “Agroecosistemas y Sistemas de Producción” inscritos en los semestres I y II de 2.014.

Al profesor Álvaro de Jesús Lema Tapias por sus valiosos aportes y asesoría en el análisis estadístico, por su gran compromiso y disposición con la academia.

A mi familia entera y amigos, a quienes desplacé durante el tiempo de mis estudios y a quienes hoy me debo como ser humano. Gracias por su paciencia, comprensión y buenos consejos en los momentos difíciles de esta travesía.

Resumen

Los medios biofísicos y socio económicos confieren a los agroecosistemas una condición de vulnerabilidad inherente ante eventos climáticos extremos. La cuenca Río Grande - Antioquia localizada en el bosque húmedo montano bajo (bh-MB) se caracteriza socioeconómicamente por la presencia de sistemas especializados en la producción de leche. En busca de las variables que explican la vulnerabilidad de los agroecosistemas, fueron seleccionados 44 predios mediante muestreo estratificado donde se evaluaron 173 agroecosistemas con el método de investigación de campo. Con la aplicación de análisis de componentes principales se redujo la dimensionalidad de los datos al pasar de 30 variables originales a 6 variables explicativas de la vulnerabilidad de los agroecosistemas en tres componentes principales que explican el 77% de la varianza de los datos. La pendiente del terreno, el tamaño del hato, la carga animal, el costo del litro de leche, las rotaciones/año y la producción/vaca/día, se seleccionaron como variables explicativas de la vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos.

Palabras clave: AGROECOSISTEMAS, VULNERABILIDAD, CAMBIO CLIMÁTICO.

Abstract

Biophysical and socio-economical characteristics of agroecosystem give them a condition of inherent vulnerability to extreme weather events. Rio Grande´s basin in Antioquia is characterized by specialized milk production. In order to determine the explanatory vulnerability variables of agroecosystems, 44 farms were selected by stratified sampling and 173 agroecosystems were evaluated by the method of field research. By using the principal component analysis technique, dimensionality of the data was reduced from 30 original to 6 explanatory vulnerability variables in three principal components which explain 77% of the data variance. Slope, herd size, stocking, rotations, cost of a liter of milk and production/cow/day, were selected as explanatory variables to extreme weather events.

Keywords: AGROECOSYSTEMS, VULNERABILITY, CLIMATE CHANGE

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

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

Lista de tablas ..... **XIV**

Lista de Cuadros ..... **XVI**

Lista de abreviaturas ..... **XVIII**

Introducción **1**

1. Marco teórico **7**
1.1 Los Agroecosistemas y sus Componentes 7
1.2 Los Escenarios de Cambio Climático 11
1.3 Vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático 15
1.4 Variables explicativas de la vulnerabilidad biofísica y socioeconómica en agroecosistemas asociados a la producción especializada de leche 20

2. Metodología **25**
2.1 Localización y Descripción del área de estudio 25
2.2 Selección de las unidades de análisis 26
2.3 Caracterización biofísica de las Unidades de Análisis 27
2.3.1 Determinación de la Receptividad Tecnológica 28
2.3.2 Determinación de la Intensidad Tecnológica 29
2.3.3 Determinación de la Intensidad de mano de obra 30
2.3.4 Determinación de la diversidad 31
2.4 Caracterización y Evaluación de Agroecosistemas y predios 31
2.5 Definición de las variables explicativas de la vulnerabilidad biofísica y socioeconómica al cambio climático en agroecosistemas de la cuenca 32

3. Resultados y Análisis **33**
3.1 Los sistemas de producción agraria en la cuenca del Rio Grande 33
3.1.1 Características biofísicas de la cuenca hidrográfica del Rio Grande ... 33
3.1.2 Usos del suelo y sistemas de producción. 35
3.1.3 Sistema ganadero especializado en producción de leche 35
3.1.4 Sistema de producción de ganadería especializada en producción de leche - porcícultura 37

3.1.5 Sistema de producción de ganadería especializada en producción de leche – producción de papa. 38
3.1.6 Otros sistemas de producción. 39
3.1.7 Los bosques y la producción de agua. 42
3.2 Selección de las Unidades de Análisis 42
3.2.1 Unidades de análisis con menos de 15 vacas en ordeño 44
3.2.2 Unidades de análisis entre 16 y 30 vacas en ordeño 44
3.2.3 Unidades de análisis entre 31 y 50 vacas en ordeño 45
3.2.4 Unidades de análisis con más de 50 vacas en ordeño 45
3.3 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas y predios en la cuenca del Río Grande 48
3.3.1 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 1. Productores con menos de 15 vacas. Estudio de caso: predio La Cañada de los Gil. 48
3.3.2 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 2. Productores con más de 15 vacas hasta 30.Estudio de caso: Predio La Fortuna 63
3.3.3 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 3. Productores con más de 30 vacas hasta 50.Estudio de caso: Predio La Germania 79
3.3.4 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 4. Productores con más de 50 vacas. Estudio de caso: Predio La Brígida. 94
3.4 Definición de las variables explicativas de la vulnerabilidad biofísica y socio económica al cambio climático en agroecosistemas de la cuenca 109

4. Conclusiones y recomendaciones 126
4.1 Conclusiones 126
4.2 Recomendaciones 129

Bibliografía 131

Lista de figuras

Pág.

Figura 1: Localización geográfica de los predios en la región de Estudio……..……..... 47

Figura 2: Mapa de agroecosistemas del predio La Cañada de los Gil……....……..50

Figura 3: Mapa de agroecosistemas del predio La Fortuna……..……....65

Figura 4: Mapa de agroecosistemas del predio La Germania……...……...78

Figura 5: Mapa de agroecosistemas del predio La Brígida…….....95

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1: Determinantes del agroecosistema que influyen en el tipo de agricultura de cada región ……8

Tabla 2: Categorías e Índices para la determinación de la Receptividad Tecnológica (RT)……..27

Tabla 3: Categorías e índices para la determinación de la Intensidad Tecnológica....28

Tabla 4: Categorías e índices para la determinación de la Intensidad en el empleo de Mano de obra a nivel Predial…….…..28

Tabla 5: Categorías e Índices para la determinación de la diversidad……..……..……..29

Tabla 6: Características geográficas y climáticas en cabeceras municipales de la región de estudio……31

Tabla 7: Características de superficie y densidad predial de las unidades geomorfológicas……..…….……41

Tabla 8: Criterios y número de predios seleccionados como unidades de análisis.....…44

Tabla 9: Unidades biogeoestructurales caracterizadas en el predio La Cañada de los Gil ……52

Tabla 10: Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica Predio La Cañada de los Gil en el municipio de Santa Rosa de Osos – Antioquia ……..…….....53

Tabla 11: Determinación del Índice de Intensidad Tecnológica Predio La Cañada de los Gil …….…….....54

Tabla 12: Determinación de la intensidad de Mano de Obra para el manejo de los agroecosistemas en el predio La Cañada de los Gil…… …….56

Tabla 13: Determinación del Índice de diversidad del predio La Cañada de los Gil.……56

Tabla 14: Determinación del estado de los predios de la tipología 1…….…….58

Tabla 15: Unidades biogeoestructurales caracterizadas en el predio La Fortuna ……...67

Tabla 16: Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica para el predio La Fortuna……. 68

Tabla 17: Determinación del Índice de Intensidad Tecnológica para el Predio La Fortuna……..……69
Tabla 18: Determinación de la intensidad de mano de obra para el manejo de los agroecosistemas en el predio La Fortuna……...…….…... 70
Tabla 19: Determinación del índice de diversidad del predio La Fortuna……..…… 71
Tabla 20: Determinación del estado de los predios de la tipología 2……...…73
Tabla 21: Unidades biogeoestructurales caracterizadas en el predio La Germania…… 82
Tabla 22: Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica para el predio La Germania……..……..…83
Tabla 23: Determinación del Índice de Intensidad Tecnológica para el Predio La Germania……..……84
Tabla 24: Determinación de la intensidad de mano de obra para el manejo de los agroecosistemas en el predio La Germania……..……..……..…86
Tabla 25: Determinación del Índice de diversidad del predio La Germania……..…..86
Tabla 26: Determinación del estado de los predios de la tipología 3……..89
Tabla 27: Unidades biogeoestructurales caracterizadas en el predio La Brígida ……..…98
Tabla 28: Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica para el predio La Brígida……..……...99
Tabla 29: Determinación del Índice de Intensidad Tecnológica para el Predio La Brígida…….....99
Tabla 30: Determinación de la intensidad de mano de obra para el manejo de los agroecosistemas en el predio La Brígida……..…..……101
Tabla 31: Determinación del Índice de diversidad del predio La Brígida……...……..101
Tabla 32: Determinación del estado de los predios de la tipología 4 ……..…..103
Tabla 33: Variables factorizadas en biofísicas espaciales, de manejo y productivas.....107
Tabla 34: Variables originales y seleccionadas mediante Análisis de Componentes Principales para los factores biofísico espacial, de manejo y productivo…….....112
Tabla 35: Matriz de correlaciones entre variables de los factores biofísico espacial, de manejo y productivo……..……...113
Tabla 36: Vectores propios de las variables seleccionadas ……..……114
Tabla 37: Importancia de los componentes principales y porcentaje de varianza explicada……...……..114

Lista de Cuadros

Pág.

Cuadro 1: Comportamiento del régimen de precipitación en la cuenca del Río Grande durante las décadas de 1.960 a 2.010…….34

Cuadro 2: Distribución del inventario bovino productivo en la región de estudio…….....36

Cuadro 3: Distribución porcentual de porcinos en la región de estudio…….....38

Cuadro 4: Producción media semestral del papa en la región de estudio…….....39

Cuadro 5: Comparación de producción de tomate de árbol entre la región de estudio y el Departamento de Antioquia ……..…….40

Cuadro 6: Variación porcentual de los subsectores agrarios entre 2000 y 2011……..41

Cuadro 7: Espacio de evaluación y análisis de los agroecosistemas Predio La Cañada de los Gil…….……57

Cuadro 8: Integración de las variables de estado del predio La Cañada de los Gil. …….……59

Cuadro 9: Espacio de evaluación y análisis de 30 agroecosistemas en predios de la tipología 1……..……60

Cuadro 10: Representación del estado de los predios de la tipología 1……..……63

Cuadro 11: Espacio de Evaluación y Análisis de los agroecosistemas del predio La Fortuna……..……72

Cuadro 12: Espacio de integración de las variables de estado del predio La Fortuna…….…….....74

Cuadro 13: Espacio de evaluación y análisis de 43 agroecosistemas en predios de la tipología 2……..75

Cuadro 14: Representación del estado de los predios en la tipología 2.....78
Cuadro 15: Espacio de evaluación y análisis de los agroecosistemas del predio La Germania ……...…. 87
Cuadro 16: Integración de las variables de estado del predio La Germania…….... 89
Cuadro 17: Espacio de evaluación y análisis de 54 agroecosistemas en predios de la tipología 3……...……..... 90
Cuadro 18: Representación del estado de los predios en la tipología 3…….. 93
Cuadro 19: Espacio de Evaluación y Análisis de los agroecosistemas del predio La Brígida……...…102
Cuadro 20: Espacio de integración de las variables de estado del predio La Brígida……...…104
Cuadro 21: Espacio de evaluación y análisis de 46 agroecosistemas en predios de la tipología 4……..…….....105
Cuadro 22: Representación del estado de los predios de la tipología 4..……...107
Cuadro 23: Biplot de 43 predios analizados y 6 variables incorrelacionadas…….... 115

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
ACP	Análisis de Componentes Principales
AES	Agroecosistemas
BPG	Buenas Prácticas Ganaderas
CC	Cambio Climático
COLANTA	Cooperativa Lechera de Antioquia
CORANTIOQUIA	Corporación Autónoma Regional para el Centro de Antioquia
ETP	Evapotranspiración Potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ID	Índice de Diversidad
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IIT	Índice de Intensidad Tecnológica
IMO	Índice de mano de Obra
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (Siglas en Inglés)
IRT	Índice de Receptividad Tecnológica
UG	Unidad Geomorfológica
UMATA	Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria
UN	Naciones Unidas (Siglas en Inglés)
UNBIS	Unidades Biogeoestructurales
UNES	Unidades Espaciales
UNTES	Unidades Tecnoestructurales
UNHIS	Unidades Hidroestructurales
UT-GRA	Unión temporal Gestión del Riesgo Ambiental
SMA	Sistemas de Manejo Agrotecnológico

Introducción

Hay incertidumbre con respecto a las amenazas u oportunidades que podría enfrentar la agricultura bajo diferentes escenarios de cambio climático (Fisher *et al*., 2002); sobre la base de muchos estudios que abarcan un amplio espectro de regiones y cultivos, y con un nivel de confianza alto, los impactos negativos del cambio climático (CC) en el rendimiento de los cultivos han sido más comunes que los impactos positivos. Hay impactos en los sistemas humanos que también se han atribuido al CC., que hacen prever una gran variedad de futuros socioeconómicos (IPCC, 2014). Por esta razón, se requiere conocer la vulnerabilidad de los agroecosistemas (AES), lo que implica necesariamente la determinación de la capacidad del medio biofísico para soportar eventos naturales y la influencia de las actividades humanas que pudieran afectar su estructura y función.

Los impactos del clima dependen del ecosistema específico y de sus parámetros biofísicos, sociales, económicos, políticos y culturales (Lal, 2.013). Esta afirmación implica el conocimiento de las estrategias productivas implementadas por los productores, las cuales podrían representar formas de adaptación a las condiciones naturales y socioeconómicas de su entorno haciéndolos más o menos sensibles a las adversidades potenciales que se derivan de estos contextos.

El conjunto de implicaciones mencionadas motivan al ejercicio de caracterizar y evaluar de estado en el que se encuentran los AES, esto es, llevarlos a espacios de análisis que permitan *valorar* su condición y tendencia, como punto de partida para el monitoreo de sus condiciones futuras. La identificación tanto de variables biofísicas, como de variables socioeconómicas es el punto de llegada de esta investigación. Las biofísicas porque tienden a definir el conjunto de posibles sistemas de producción agraria y de las cuales depende la capacidad de acogida tecnológica y las socioeconómicas porque son

determinadas por las metas humanas y de las que depende el tipo y grado de artificialización de los AES (Vélez y Gastó, 1.999; FAO y Banco Mundial, 2001),

Se requieren medidas robustas y creíbles para incorporar diversos métodos que incluyan la percepción de riesgo y vulnerabilidad en los mecanismos que intervienen en su análisis y que promueven la acción adaptativa y la resiliencia (Janssen & Ostrom, 2006). Entre los retos que tiene la investigación agrícola se deberá hacer énfasis en la dinámica de los regímenes de lluvia y acumulación de agua, en la respuesta de las plantas ante el incremento de temperatura, en la conservación de la biodiversidad y en la adaptación de los sistemas de producción a los eventos climáticos extremos (Fisher *et al*., 2002).

Además, es necesario el conocimiento de las percepciones que tienen los productores frente a los eventos que constituyen signos de cambio climático, de sus estrategias productivas implementadas, su racionalidad que define los sistemas de producción que ellos llegan a establecer, así como el conocimiento de los contextos socioeconómicos y de políticas en los medios en que se desenvuelven, que puedan incrementar o disminuir la vulnerabilidad de los AES. Sin estos conocimientos no es posible avanzar de manera rápida y adecuada en estrategias y prácticas productivas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Diversas variables operan en las esferas biofísica y socio económica influenciando los fenómenos en niveles jerárquicos mayores o menores (Cabell & Oelofse, 2.012). Identificar variables que permitan explicar la vulnerabilidad de los AES es un aporte valioso a la gestión del riesgo por amenazas climáticas, en particular, eventos extremos de temperatura y precipitación. Concretamente, estas variables pueden ser usadas como indicadores, convirtiéndose en herramientas útiles para soportar la toma de decisiones y reforzando el planteamiento de estrategias preventivas en un representativo sector de la economía agraria colombiana y de ese modo evitar consecuencias adversas ante futuros eventos de origen natural. De ahí la importancia de esta tesis.

Este estudio comprende la caracterización, evaluación y análisis de los AES asociados a la producción especializada de leche en la cuenca del Rio Grande- Antioquia, principal región del departamento dedicada a esta actividad, con una producción promedio de 2.370.535 L/día equivalente al 13,6% de la producción nacional (Lafourie,2.012),

aproximadamente 150.000 animales en producción (Gobernación de Antioquia, 2.011) y 48% de su área total en pastos cultivados (Ramírez, 2.014); también se encuentran embalses de abastecimiento de agua potable para el norte del Valle de Aburrá y generación de energía - hasta19MW (*epm*, 2.014)

Es importante resaltar que, si bien, los AES son las unidades de estudio, el análisis se desarrolla a nivel de predio como unidad de administración a partir de la cual los productores centran sus metas, planifican y toman sus decisiones. Los predios de una región son los componentes del sistema primario del sector agrario y son las unidades de producción básica que generan los productos que entran en los procesos económicos regionales. La investigación en predios casi siempre se basa en la comparación entre dos o más predios que están funcionando (Hart, 1985) y generalmente la unidad de producción familiar, con sus tierras, sus infraestructuras, sus herramientas, sus maquinarias es el producto de la historia de la familia y de su predio. No todas las unidades de producción han logrado acumular la misma cantidad de recursos, y por esta razón, no todas practican el mismo sistema de producción. (Apollin & Eberthart, 1999).

El proceso de selección de variables debe realizarse a partir del análisis de la información obtenida a nivel predial, en ese nivel se logra el entendimiento de las decisiones implementadas, tanto por parte de los productores como por parte de las instituciones públicas y privadas que tienen influencia en la región (Collinson, 2000).

En efecto, el desarrollo de esta tesis estuvo enmarcado en el proyecto “Formulación de Indicadores para Evaluar y Monitorear las Dinámicas de los Agroecosistemas, las Racionalidades y Estrategias Productivas de los Productores en Escenarios de Cambio Climático”, que a su vez hace parte del “Programa de Investigación en Gestión del Riesgo Asociado con Cambio Climático y Ambiental en Cuencas Hidrográficas”. Convocatoria 543 de COLCIENCIAS de 2.011. Línea 5. Cambio Climático y Gestión del Riesgo Asociados a la Biodiversidad, la Agricultura y los Ambientes Marinos y Costeros.

En el ordenamiento del trabajo se presenta en primer lugar un marco teórico donde se revisa el concepto de los AES en las acepciones de espacio biofísico y punto de encuentro entre la sociedad y la naturaleza, con sus componentes y diversas interacciones, también se realiza un acercamiento a la conceptualización sobre los escenarios de cambio climático, la vulnerabilidad de la agricultura frente a eventos

climáticos extremos y las variables para la adecuada explicación de la vulnerabilidad biofísica y socioeconómica de los AES. En segundo lugar, un capítulo que describe la región de estudio y se identifican las unidades de análisis. En tercer lugar se presentan los estudios de caso con sus respectivos resultados para luego pasar al análisis de dichos resultados y selección de las variables explicativas. Finalmente, las conclusiones se desprenden del análisis conjunto de las variables seleccionadas que contribuyen con el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación.

El objetivo general de esta tesis es definir variables explicativas de la vulnerabilidad biofísica y socioeconómica al cambio climático en agroecosistemas de la cuenca del Río Grande.

Objetivos específicos

- Evaluar el estado y manejo de los agroecosistemas y predios, de las estrategias productivas y su racionalidad implementadas por los productores.
- Definir las variables biofísicas y socioeconómicas que permitan valorar las modificaciones de los sistemas de producción y de las estrategias productivas de los productores como respuesta a eventos que se puedan considerar como evidencia de cambio climático.
- Ubicar espacialmente las variables que explican la vulnerabilidad de los Agroecosistemas.

Dos preguntas que ayudan a direccionar la presente investigación son:
¿Cuáles son las variables biofísicas y socio económicas que contribuyen a explicar la vulnerabilidad al cambio climático de los agroecosistemas y predios de la cuenca de Río Grande?, ¿Cómo se pueden valorar los sistemas de producción agrarios, el manejo de los recursos naturales y las estrategias productivas implementadas por los productores?

1. Marco teórico

1.1 Los Agroecosistemas y sus Componentes

Algunas contribuciones académicas, argumentadas desde las últimas décadas del siglo XX, sostienen que los AES son ecosistemas que cuentan, por lo menos, con una población de utilidad agrícola; se trata de entes físicos identificables, localizables y mapificables con coordenadas precisas que constituyen unidades de paisaje espacio-temporales; representan totalidades espacialmente limitadas e interconectadas de componentes bióticos y abióticos caracterizados por un relativo funcionamiento sostenido en el tiempo. Se trata de sistemas muy complejos puesto que sus componentes biológicos, que han sido distribuidos en el tiempo y en el espacio, interactúan con componentes socioculturales como los objetivos, las racionalidades, los conocimientos y la cultura de los productores; dicho de otra forma, son el resultado de la coevolución entre los procesos sociales y naturales, de las interacciones entre los productores con sus conocimientos y su entorno biofísico y socio económico (Hart, 1.985; Etter, 1.991; Altieri,1.999; Sarandón, 2.014).

Los AES existen solamente en presencia del ser humano, quien controla y orienta la esfera agraria mediante un plan de manejo preconcebido para el logro de sus propósitos, entre los que se encuentran la producción, distribución y consumo de alimentos, combustibles y fibras (Vendermeer, 2011; Bulatkin, 2.012).

El concepto base de los AES permite ofrecer un marco de referencia para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad, incluyendo el complejo conjunto de entradas, salidas y las interacciones entre sus partes (Gliessman, 2002). Dicha complejidad es función del número, tipo de componentes y las interacciones que se presentan entre estos, pudiendo comprender monocultivos, policultivos y sistemas

mixtos, inclusive sistemas ganaderos, agroforestería, sistemas agro silvopastoriles, sistemas acuícolas, así como pastizales y barbechos (Hart, 1.985; Fuhrer, 2003).

Los componentes de los AES son las poblaciones de plantas, las poblaciones de animales y el ambiente físico que resultan altamente interactivos y por medio de los cuales se procesan los nutrientes y el flujo de energía (Altieri, 1.999). Las plantas cultivadas se incluyen como componentes por ser la variable central de los AES y aunque la matriz de vegetación natural circundante y las características de los demás elementos biofísicos influyen en la dinámica de los AES, las señales de los mercados, la disponibilidad de tecnologías, los apoyos de infraestructura y las políticas nacionales agropecuarias, entre otros factores, también determinan lo que se producirá, cuando, con qué tecnología, cómo, a qué ritmo, para qué clase de consumidores y con qué calidad e impactos ambientales (León, 2.012)

En todos los AES los ciclos de la tierra, aire, agua y residuos se han vuelto abiertos, con entradas de continuos flujos de energía antropogénica que reciben insumos del exterior, en mayor proporción en aquellos AES con monocultivos comerciales industrializados, dando como resultado productos que pueden ingresar en sistemas externos (Altieri, 1.999; Bulatkin, 2.012). En comparación con los ecosistemas, el flujo de energía en los AES es alterado significativamente, ya que la entradas al sistema provienen principalmente de fuentes manufacturadas por el ser humano, mientras que el ciclaje de nutrientes es mínimo porque una cantidad considerable abandona el sistema con la cosecha o debido a la pérdida por lixiviación o por erosión (Gliessman, 2002). El agua es una entrada fundamental de los AES, por su papel fisiológico, ingresa en forma de precipitaciones, aguas que fluyen constantemente en superficie o por riego y sale de los AES a través de la evaporación, la transpiración, del escurrimiento o del drenaje, más allá de la zona de efectividad de las raíces de las plantas (Altieri, 1999)

Si bien se ha argumentado que los límites de los AES son designados arbitrariamente (Gliessman, 2002), el hecho de la existencia material de suelos, climas, plantas y organismos en espacios geográficos precisos, facilita su delimitación biofísica; aunque su límite cultural (social, económico, político o tecnológico) es difuso, puesto que está mediado por intereses de distinta índole y procesos decisionales intangibles que

provienen tanto del ámbito del productor como de otros actores individuales e institucionales (León, 2.015). A propósito, estos comprenden el espacio físico dedicado a la producción como también los recursos, la infraestructura, los mercados, las instituciones y las personas que llevan los alimentos a la mesa, las fibras a las fábricas y los combustibles al mundo entero (Cabell, 2.012).

Dentro de los AES suceden interacciones entre suelos, climas, plantas cultivadas, organismos de distintos niveles tróficos, plantas adventicias y grupos humanos en determinados espacios geográficos. El sistema socio económico y los AES interactúan para dar estructura al sistema de predio, que puede definirse como la unidad de análisis para entender el funcionamiento de una cuenca o región (Hart, 1985; León, 2.010; León, 2.015). Lo anterior enfatiza en que los AES necesariamente cuentan con recursos humanos, de capital, de producción y con los recursos naturales (biofísicos). Estos últimos incluyen el área del predio, con su topografía, el grado de fragmentación de la propiedad, la profundidad del suelo, la condición química y sus atributos físicos, la disponibilidad de agua subterránea y en la superficie, pluviosidad promedio, evaporación, radiación solar, temperatura, la vegetación natural y su ubicación con respecto a los mercados (Altieri, 1.999).

Los AES están siempre cambiando, forzados por la población itinerante, la disponibilidad de recursos, la degradación ambiental, el crecimiento o decrecimiento económico, los cambios políticos, variaciones climáticas, manejo de aguas, suelos y coberturas vegetales etc. Estos cambios pueden ser explicados por las respuestas de los productores a las variaciones en el ambiente físico, precios de los insumos y productos, innovación tecnológica y crecimiento poblacional (Altieri, 1.999; León, 2015).

Los AES interactúan con su entorno ambiental y social, con un paisaje más amplio que involucra tierras no cultivadas, redes de drenaje, comunidades humanas y vida salvaje; su condición se define por su productividad y por el grado con el cual el productor implementa sus prácticas de manejo que conservan y protejan los recursos naturales y los procesos en los AES, en el paisaje y en el resto del mundo, no cabe duda que los AES están bajo la influencia y el manejo de culturas humanas distintas con procedimientos de operación increíblemente distintos. (Hess *et al*., 2000, Vandermeer, 2.011).

De este modo, en el estudio de los AES se pueden incluir los niveles de organización regional, nacional y global, lo cual involucraría aspectos de mercado, políticas agrícolas, incluso cambio climático global (Gliessman, 2002). Cada región tiene una configuración única de AES que son el resultado de las variaciones locales en el clima, el suelo, las relaciones económicas, la estructura social y la historia, determinantes que se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Determinantes del Agroecosistema que influyen el tipo de agricultura de cada región (Adaptado de Altieri, 1.999)

TIPO DE DETERMINATES	
FACTOR BIOFÍSICO	**FACTOR SOCIOECONÓMICO**
Temperatura	Sistemas de manejo
Precipitación	Densidad de población
Radiación solar	Organización social
Pendiente del terreno	Economía (Precios, Mercados, créditos)
Disponibilidad de tierra	Asesoría técnica
Poblaciones de artrópodos	Herramientas de cultivo
Comunidades de arvenses	Grado de comercialización
Comunidades de microorganismos	Disponibilidad de mano de obra
Biota del suelo	Conocimiento tradicional
Entorno de vegetación natural	Creencias, ideología, División del trabajo
Eficiencia de fotosíntesis	Hechos históricos

1.2 Los Escenarios de Cambio Climático

El término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. (IPCC, 2007)

Bajo los niveles de incertidumbre generados por los efectos del CC sobre los sistemas naturales y humanos, es necesaria la descripción de condiciones futuras potenciales producidas para informar sobre la toma de decisiones (IPCC, 1995). Precisamente, los escenarios de CC se definen como un conjunto físicamente consistente de cambios en variables meteorológicas, que especifican las condiciones futuras potenciales del clima para reportar evaluación de impactos, vulnerabilidades y opciones de adaptación e informar sobre la toma de decisiones para la mitigación y adaptación. Estos se pueden generar a partir de perturbaciones arbitrarias de las condiciones presentes, por el uso de información climática de otras partes o del pasado y por modelos de simulación climática (Parson *et al*., 2007; Fischer, *et al*., 2002).

También es necesario entender que CC y variabilidad climática son dos términos afines, pero diferentes. Aunque ambos fenómenos se basan en mediciones regulares de eventos como precipitaciones pluviales, heladas, huracanes, sequías, ciclones, condiciones de temperatura, radiación solar y humedad; el primero designa las fluctuaciones significativas del clima en periodos superiores a 50 años y que generan efectos globales y regionales, mientras que el segundo designa las diferencias locales del clima que ocurren anual o estacionalmente (León, 2.013).

Durante la década de los ochentas se advirtió que el riesgo de daño irreversible de los sistemas naturales regionales estaba siendo cada vez mayor (UN, 1987). Por ejemplo, el sostenido aumento de la temperatura media del aire y la modificación de las lluvias varían sus efectos en dependencia del componente animal. En países continentales, la ganadería vacuna y la producción porcina típicas de países templados o de zonas altas, comienzan a ser afectadas por el aumento de la temperatura. En los países

subtropicales y tropicales la reducción de la disponibilidad de agua debido a la disminución de las lluvias, al alargamiento de la temporada seca o a la modificación del régimen de lluvias está siendo afectado severamente (Álvarez, 2.014). Por fortuna, la capacidad de monitorear y mapificar los cambios en la tierra también han venido en incremento.

A través de registros instrumentales se han presentado evidencias de incremento en la temperatura media del planeta y las precipitaciones han aumentado sobre la tierra en latitudes altas del hemisferio norte en la estación fría. Bajo estas consideraciones se prevé que la productividad agrícola aumente en algunas zonas y disminuya en otras, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales. El cambio ambiental, particularmente el CC, tendrá impactos desproporcionados sobre las comunidades que dependen directamente de los recursos naturales como el agotamiento de la fertilidad del suelo, la degradación de los recursos del bosque, del recurso hídrico, de las pasturas y de la pesca (Fischer *et al*., 2002).

Los cambios planetarios en la precipitación y en la temperatura inducen cambios de la escorrentía y de la disponibilidad de agua. Con un grado de confianza alto, la escorrentía aumentaría entre un 10% y un 40% de aquí a mediados de siglo en latitudes superiores y en ciertas áreas tropicales pluviales, y disminuiría entre un 10% y un 30% en ciertas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, debido a la disminución de las lluvias y a unas tasas de evapotranspiración más altas (IPCC, 2007).

Se estiman incrementos en la evaporación potencial, porque una atmósfera más cálida, puede contener más humedad y las temperaturas más altas aumentan la tasa de la evaporación. Los cambios de la evapotranspiración terrestre están controlados por la precipitación y el forzamiento radiactivo, y éstos, a su vez, afectarían la escorrentía, la humedad del suelo, por tanto, la infiltración, la recarga de acuíferos y la salinización. Desde el punto de vista de la calidad de agua, se podría inducir un estrés adicional: con una mayor temperatura, se reduce la cantidad de oxígeno disuelto y se presentaría así afectación de la concentración de nutrientes y contaminantes, en un flujo menor de agua (Ocampo, 2011; IPCC, 2007; Bates *et al*., 2008).

La relación entre CC y agricultura se puede definir como una relación de doble vía, la agricultura contribuye con el CC y en general el CC afecta de manera adversa a la agricultura. Los efectos directos del CC, en particular los incrementos de la temperatura, pueden inducir estreses en los animales y reduciría la producción de leche, carne y lana y afectaría el éxito reproductivo. En zonas agroclimáticas donde se ha implementado la agricultura de revolución verde se ha incrementado la demanda por el recurso hídrico lo cual ha resultado en impactos negativos cuando disminuyen las lluvias y las reservas de aguas subterráneas (Kaushik & Sharma, 2.015). El efecto del clima en el desempeño productivo animal ha sido estudiado desde hace más de medio siglo pudiéndose comprobar que la temperatura y humedad ambiental, la radiación solar y la velocidad del viento afectan su balance térmico (Arias, *et al*., 2008). En periodos de sequía, las elevadas temperaturas, muchas veces con vientos desecantes afectan las áreas ganaderas. En ambos casos, la oferta de forraje se minimiza incrementándose el sobrepastoreo, la compactación y la degradación de los suelos. (Rueda, *et al*., 2.011)

En Colombia, los reportes asociados a sequía se elevan a un 216% durante los periodos del fenómeno del niño (ENSO) mientras que en los periodos de La Niña los desastres relacionados con lluvia, como deslizamiento e inundaciones, aumentan en un 16,1% (IDEAM, 2.010). De acuerdo con los pronósticos de Duque (2.010), los incrementos de temperatura bajo un escenario moderado, que será definitivo para la pérdida de los glaciares del país, generará conflictos entre el tamaño de los predios y la nueva aptitud del suelo: Por ejemplo, la actividad cafetera de estructura minifundista podría invadir el escenario de las tierras templadas, y estas las de los bosques de niebla que emigrarían a las praderas de los actuales páramos. Con respecto a este último aparte, CENICAFÉ (2.013) reportó que el riesgo agroclimático generado por los cambios en temperatura durante los eventos climáticos de La Niña y El Niño puede tener efectos positivos y negativos directos sobre la floración del cultivo del café; pues temperaturas medias por debajo de los 20°C dificultan la acumulación del tiempo térmico requerido para la floración, igualmente amplitudes térmicas inferiores a 10°C impiden el estímulo de la misma.

De acuerdo con los análisis de tendencia lineal realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2.010), basados en datos de más de 3.840 estaciones de precipitación, 680 de temperatura y 610 de humedad ambiental; para el

periodo 2011 – 2040 la temperatura media del aíre en Colombia aumentará 1.4 °C y que la mayor reducción de la precipitación (-30 a -10%) se podría presentar en un 20% del país. Los impactos potenciales altos podrían alcanzar el 50% de la superficie dedicada a las pasturas; el 57% de las áreas de cultivos permanentes y semipermanentes, el 71% del área sembrada de café y el 47% de los minifundios campesinos. Además se cuenta con evidencias de que el incremento de la temperatura es mayor a mayores alturas, lo que permite suponer que los impactos serán mayores a mayor altitud y aunque no se sepa la temperatura final, el porcentaje de cambio de la precipitación o el cambio en la oferta hídrica, se sabe con bastante certeza la dirección del cambio (Costa, 2007).

Los nuevos escenarios pueden inducir efectos negativos sobre los sistemas especializados de producción animal, en términos biofísicos por las restricciones ambientales intrínsecas de los sistemas y en términos socioeconómicos por la afectación en la variación de los costos de producción y disponibilidad de suministros en el mercado, lo que influenciará fuertemente su rentabilidad y sustentabilidad (Nardone, *et al.,* 2.010)

En la agricultura se han considerado dos alternativas básicas para enfrentar los efectos del cambio climático: La adaptación y la mitigación, la primera persigue fortalecer las capacidades de los productores para que convivan con los efectos de los eventos climáticos extremos y la segunda, con una perspectiva más a largo plazo, consiste en rediseñar los sistemas agroproductivos y sus correspondientes cadenas de distribución y consumo de alimentos (Ríos, *et al.,* 2.011)

La capacidad que tengan los productores primarios de transformar la estructura y función de su agricultura incrementa la probabilidad de adaptarse a los nuevos escenarios de CC. (Nadine, *et al*., 2.016). Los productores no reciben de manera pasiva los impactos del cambio climático, que llegan en conjunción con un número determinado de condicionantes socioeconómicos como los mercados, la tecnología y la migración; estos responden a tales cambios de diferentes maneras que involucran los cambios en los sistemas de cultivos, la adopción de tecnología, cambios institucionales y prácticas de aprendizaje social a nivel de predio (Ojha, *et al*., 2.014).

1.3 Vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático

Las alteraciones en la composición de la atmósfera mundial y los consecuentes cambios en las condiciones climáticas representan un riesgo para los sistemas naturales, humanos y financieros. El riesgo climático surge de la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento climático extremo con la vulnerabilidad y cuyas consecuencias son de tipo social, económico y ambiental (Fellmann, 2.012; IPCC, 2.014).

Las circunstancias que acompañan al CC sitúan a la agricultura bajo la óptica de una actividad fragmentadora de numerosos paisajes y responsables de la intensificación de la vulnerabilidad de los ecosistemas poco a nada gestionados (IPCC, 1995); en este caso, la agricultura es definida como la serie de procesos de artificialización de ecosistemas, de recursos naturales renovables, con el fin de optimizar la calidad y cantidad de recursos canalizables hacia el ser humano (Gastó, 1983). Sin embargo, se plantea que la vulnerabilidad de la agricultura al CC no solo es un problema ambiental, también es un asunto del desarrollo rural y que las investigaciones en CC caracterizadas por su cobertura global a menudo resultan poco pertinentes para los análisis a nivel local (De los Ríos, 2.015).

La vulnerabilidad al CC es un fenómeno dinámico a menudo en un estado continuo de flujos entre procesos biofísicos y sociales que dan forma a condiciones locales y a la habilidad de hacer frente a sus propias dinámicas (O´Brien *et al*., 2004); es definida como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del CC, y en particular, la variabilidad del clima con sus fenómenos extremos y dependerá del carácter, magnitud y rapidez del fenómeno a que esté expuesto un sistema. Es, por lo tanto, una característica del sistema en función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación (Adger, 2.006; IPCC, 2007; IPCC, 2.014).

La exposición se relaciona con el grado de estrés climático sobre una unidad de análisis particular; podría representarse como cambios de largo plazo de condiciones climáticas o por cambios en la variabilidad climática, incluyendo la magnitud y frecuencia de los cambios extremos; mientras que la sensibilidad se refiere al grado en el cual el sistema responderá a un cambio en el clima bien sea positiva o negativamente (O´Brien *et al*.,

2004) y la adaptación se entiende como un ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a los cambios ambientales actuales o esperados que podrían causar daño. La capacidad adaptativa refleja el potencial para implementar medidas de adaptación y es por lo tanto tiene que ver con los intentos deliberados del ser humano para adaptarse o enfrentar los cambios (Metzger, 2005).

La vulnerabilidad de la agricultura al CC combina la vulnerabilidad biofísica y la socio-económica, la primera podría ser descrita en términos de la exposición de los componentes biofísicos de los AES a condiciones de temperaturas y precipitaciones extremas, de la sensibilidad de las variedades cultivadas y/o razas animales ante dicha exposición (Fellmann, 2012; Rust & Rust, 2.013) y de la capacidad de acogida tecnológica de los AES, es decir, de las condiciones agroecológicas para el uso de la tierra bajo condiciones como la pendiente del terreno, profundidad efectiva, textura, drenaje y fertilidad del suelo (Vélez y Gastó, 1.999; Fischer *et al.,* 2002). La segunda se refiere a la sensibilidad del componente humano, determinada por la intensidad tecnológica implementada y su habilidad para adaptarse a los efectos de dicha exposición, mediante el despliegue de esquemas representados en sus estrategias productivas, sociales y de manejo de los recursos productivos (Vélez y Gastó, 1.999; Vélez, 2.015).

En general, los sistemas agrícolas más vulnerables al CC, en términos biofísicos, son aquellos que pueden crear mecanismos de retroalimentación positiva (característica de un sistema de equilibrio inestable) y amplificar los cambios bajo determinadas condiciones climáticas locales y regionales (Lal, 2.013). Por ejemplo, en los sistemas agrícolas intensivos o especializados modernos en los que prevalecen amplias áreas deforestadas, el monocultivo de plantas, la homogeneidad genética de animales y la labranza continua e inadecuada del suelo con su consecuente erosión, se incrementa de manera considerable su vulnerabilidad al hacerlos más propensos a los impactos negativos de la variabilidad climática (Blaikie et al., 1.994; Nicholls, 2.013; Altieri *et al*., 2.015).

Algunas opciones de adaptación planificada para el sector agrícola tienen que ver con el desarrollo de sistemas de producción sustentable que incluyen la tecnificación de los

cultivos, la modificación de fechas de siembra, elección de variedades vegetales y razas animales, desarrollo de genotipos adaptados a condiciones de stress, reubicación de plantaciones la mejora de la gestión de la tierra en cuanto al control de la erosión o protección de los suelos mediante plantación de árboles apoyo a sistemas de conservación de la agro biodiversidad, diseño de programas de consolidación de nuevos calendarios agrícolas por regiones y la gestión óptima de recursos hídricos como la extensión de la recogida de agua de lluvia; técnicas de almacenamiento y conservación de agua; reutilización del agua; desalación; eficiencia en el uso del agua y de la irrigación (IPCC, 2007; PNUD, 2008). En cultivos de arroz, por ejemplo, los resultados demuestran que los ingresos netos por hectárea fueron sensibles a cambios marginales en las variables climáticas temperatura y precipitación. El grado de sensibilidad depende de la presencia o no de sistemas de irrigación. Se ha demostrado que el uso de riego es una medida efectiva de adaptación para reducir los efectos perjudiciales de la variabilidad climática. (Ajetomobi *et al.,* 2011).

Entre las características que presentan los sistemas menos vulnerables se han documentado el rescate y reevaluación del conocimiento tradicional campesino, el aumento de la diversidad de animales y de cultivos tolerantes para minimizar los riesgos, la presencia de bosques y cercas vivas y otras coberturas vegetales que minimizan los efectos desecantes del viento y del incremento de la temperatura, el mejoramiento de la base de recursos naturales mediante la regeneración y conservación del agua y suelos, poniendo especial énfasis en el control de la erosión, la cosecha de agua y la reforestación, la disminución del uso de insumos externos y la utilización eficiente de los recursos locales (Infante, 2.013; Altieri, 2.013, Kaushik & Sharma, 2.015).

El incremento de la diversidad vegetal y la complejidad en los sistemas agrícolas contribuye con la reducción de la vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos (Altieri, et al., 2.015). En ese sentido, los sistemas silvopastoriles (SSP), manejados sobre bases agroecológicas con diversidad de especies de diferentes patrones de desarrollo, cumplen con el anterior postulado al favorecen la capacidad adaptativa; estos se caracterizan porque mantienen la humedad del suelo, regulan la energía solar incidente sobre la superficie con un efecto protector sobre la temperatura del sistema, mejorando también la productividad en los potreros y la calidad de los forrajes, además de reducir la estacionalidad de la producción de leche. El uso de árboles de raíces profundas permite

mayor tolerancia a la sequía, con lo cual se logra una producción de forraje mucho más estable durante las épocas secas. De igual forma, al actuar como barreras rompevientos y proveer sombra, los árboles ayudan a mejorar las condiciones microclimáticas del suelo, al mantener la humedad y disminuir la evapotranspiración, escorrentía y erosión. Como consecuencia de la actividad biológica, la mayor porosidad por la que circula el agua y aire, así como la materia orgánica, los suelos mejoran la capacidad de retención de agua, algo fundamental en las cuencas hidrográficas (Milera, 2.013; Murgüeitio *et al.,* 2.014).

Aspectos de carácter socioeconómico, tales como el colapso en los precios del mercado o cambios en la tenencia de las tierras, pueden afectar a los AES tan decisivamente como una sequía, explosiones de plagas o la disminución de los nutrientes en el suelo. Para estudiar la dinámica de la estabilidad económica de los AES se debe obtener la información total de la producción, los rendimientos de los productos importantes, del flujo comercial, del ingreso no proveniente del predio, del ingreso neto y de la fracción total de la producción que el productor vende o comercia (Hecht, 1.999; Altieri, 1999)

La capacidad de las comunidades para responder a los choques climáticos se presentan en grados diferentes, pero esas respuestas no siempre son sostenibles. En algunos casos las estrategias de organización social en redes de solidaridad, colaboración y reciprocidad, entre otras, es decir, su capital social (Durstom, 2.002) y la diversificación al interior de los sistemas agrícolas pueden reducir en gran medida su vulnerabilidad al mismo tiempo que protege a los productores rurales y a la producción agrícola (Nicholls & Altieri, 2.012).

En algunos casos, el nivel tecnológico en sistemas especializados de producción agraria puede contribuir con la reducción de la vulnerabilidad biofísica pero incrementa la socioeconómica ante la falta de flexibilidad en las relaciones con el mercado; en tanto que la presencia de la institucionalidad puede contribuir con la reducción de la vulnerabilidad socioeconómica, ante la posibilidad de adquirir recursos materiales o económicos, al incrementar la capacidad adaptativa (De los ríos, 2.015).

En contraste con los sistemas especializados de producción agraria del tipo empresarial, Vélez (2.015) señala que las formas de producción campesinas (FPC), a partir de sus objetivos, estrategias, racionalidades, experiencias y conocimientos procesan información proveniente de su entorno biofísico, ecológico, socioeconómico, cultural y político, generando nueva información, condensándola en esquemas y modelos, representados por ejemplo, en estrategias productivas, manejo de los recursos naturales o en algún tipo de alianza social (Tejido social de relaciones); lo que supone una mayor capacidad adaptativa a los eventos climáticos y en consecuencia menor vulnerabilidad a los mismos.

Antes de implementar cualquier acción de artificialización, es necesario estudiar la vulnerabilidad del sistema ante la actividad, de manera que las decisiones que se tomen tengan todo el rigor, información y valoración posible (Gastó, Vélez & D´Angello, 1.997). La evaluación de los impactos del CC requiere de la consideración de las tendencias ambientales y socio económicas. Se ha argumentado que los factores que influencian los impactos y las vulnerabilidades son ampliamente variables e incluyen características demográficas, económicas, tecnológicas, institucionales y culturales (Parson *et al*., 2007).

Uno de los métodos para evaluar la vulnerabilidad de la agricultura al CC se fundamenta en el sistema de indicadores, con la ventaja que este considera los factores que la impactan, asignando ponderaciones de acuerdo con la importancia de cada factor y con dificultad al asignar ponderaciones científicamente razonables; considera el efecto combinado de los factores biofísicos y socioeconómicos para dicha evaluación (Tao *et al.,* 2011) y define las variables que se pueden relacionar para lograr mejores explicaciones de la realidad. Los indicadores de vulnerabilidad han sido concebidos para la agricultura y para los ecosistemas para verificar la sensibilidad de las partes (productores y especies, respectivamente) a los escenarios de CC y socio económicos y para evaluar el rol de adaptación (Berry *et al,* 2006).

1.4 Variables explicativas de la vulnerabilidad biofísica y socioeconómica en agroecosistemas asociados a la producción especializada de leche

Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse (Hernandez *et al*., 2006). La definición de las variables que puedan contribuir con la explicación de la vulnerabilidad de los AES es un asunto de grado superlativo, su importancia radica en la posibilidad de ser usadas como indicadores, bien sea de forma o individual o relacionadas entre sí, convirtiéndose en herramientas útiles para soportar la toma de decisiones, tanto en la comparación del estado actual de un sistema –Evaluación- o con el estado del mismo sistema en el pasado y en el futuro –Monitoreo- (Van Cauwenbergh *et al.*, 2007).

En términos generales, un indicador es una información procesada, generalmente de carácter cuantitativo que genera una idea clara y accesible sobre un fenómeno complejo, su evolución, y sobre cuánto difiere de una situación deseada (Blanco *et al*., 2001). Por lo tanto, deben brindar información sobre los aspectos críticos de las consecuencias de implementación de las mismas (Hunnemeyer *et al*., 1997).

De manera reiterativa, en los estudios de sustentabilidad, se hace alusión a la importancia de integrar las dimensiones social, económica, ambiental (Van Cauwenbergh *et al.*, 2007; Frederiksen y Kristensen 2008; Wei *et al.*, 2009; Golusin e Ivanović 2009; Gerdessen & Pascucci, 2013), para lo cual se han propuesto múltiples parámetros, atributos, criterios, variables y principios. Las variables comúnmente utilizadas para desarrollar indicadores dentro de la dimensión económica obedecen al criterio de factibilidad, mientras que en la dimensión social el criterio es la aceptabilidad y en la dimensión ambiental las variables se relacionan con la capacidad de carga (Frederiksen y Kristensen, 2008; Gerdessen y Pascucci, 2013).

Las variables explicativas o la relación entre estas, tratan de simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos; deben definirse en función del tipo de decisión y del nivel jerárquico de esta (región, país, localidad). Estas resultan relevantes en la valoración e implementación de sistemas agrícolas sostenibles (Roy & Chan, 2.011), pues describen de manera verificable las características de los AES, las condiciones de

manejo e indican el estado, desarrollo y función de los sistemas (Rigby *et al.,* 2001; Biala *et al*., 2005; Qiu *et al*., 2007). No sólo son útiles para medir el progreso sino también para identificar problemas, ajustar las metas del desarrollo sostenible e identificar estrategias de manejo adecuadas (Reed, Fraser, Dowgill, 2.006). Sus principales funciones están relacionadas con: 1) la evaluación de condiciones y tendencias en relación a objetivos y metas. 2) Reflejar el estado de un sistema 3) Proveer información de alertas tempranas 4) Anticiparse a las condiciones y tendencias futuras 5) Establecer comparaciones entre sitios y situaciones 6) Destacar lo que está sucediendo en un sistema de mayor orden jerárquico (Abot & Guijt, 1.998).

Los estudios de AES involucran un conjunto de variables jerarquizadas, de orden biofísico siendo las variables del factor climático las de mayor nivel jerárquico, determinadas por la latitud y altitud (Vélez y Gastó, 1.999). Seguidamente, la geoforma dentro del factor geomorfológico que ejerce una incidencia directa sobre la litología y la cobertura vegetal, puede modificar la incidencia de los factores climáticos originando climas locales o microclimas y los efectos pedogenéticos de la lluvia y de la humedad ambiental. La variable pendiente del terreno determina o condiciona los tipos de agricultura, cultivos, ganadería, explotación forestal y los tipos de tecnologías que pueden ser empleados (Tricart & Kilian, 1.982; Etter, 1.990).

Con relación a la identificación de variables de tipo socio económico en los sistemas especializados en producción de leche requiere de un acercamiento a sus características generales en el país: Colombia tiene el cuarto hato más grande de Latinoamérica con 24.5 millones de cabezas, 39% es ganadería de cría, 20% ceba, 35% Doble propósito y 6% lechería. A partir de estas cifras se contabilizan 7.4 millones de vacas en producción (16% en lechería especializada y 84% doble propósito) y un poco más del 80% de los predios ganaderos cuentan con menos de 50 cabezas. En 2011 se produjeron 6.360 millones de Litros de leche para un consumo aparente de 141L / Hab. /año y el precio promedio al ganadero fue de $848. Para 2.012 las importaciones de productos lácteos como leche en polvo, quesos, mantequillas, yogurth, ascendieron a 23.235 toneladas desde los países con los que Colombia tiene tratados comerciales; se prevé que para 2.025 se estarán importando del orden de 45.000 toneladas de leche en polvo. En el 2.026 habrá acceso total para USA y en 2027 para la UE. (Lafaurie, 2.012).

Los sistemas especializados en producción de leche están ubicados en las zonas altas, entre 2.000 y 3000 msnm y se caracterizan por que las vacas son usualmente puras con un alto porcentaje de genes de la raza *Bos Taurus* Europeo (Holstein) y se suplementan con alimentos concentrados (Holmann *et al.,* 2.003)

La producción especializada de leche en Colombia es una actividad que se ve afectada por múltiples variables de tipo ambiental y socio económico. Las predios lecheras de zonas altas evolucionan más rápidamente que las de doble propósito en zonas bajas, debido a la fertilización de las pasturas aun en época de crisis (2002 – 06). Los sistemas se hallan en una fase inicial de evolución y se necesitan recursos para establecer pasturas mejoradas, adquirir sistemas de tanques refrigerados y aumentar el tamaño del hato ya que los predios tienen suficiente superficie para triplicar su actual inversión en animales.

Debido a que las procesadoras de productos lácteos están dispuestas a pagar precios más altos por una leche de mejor calidad, las asociaciones de productores han presionado a sus asociados para instalar equipos de enfriamiento y prohibieron el transporte de cantinas (recipientes para su almacenamiento). Por otro lado, los buenos precios de la leche en comparación con las zonas bajas hacen que los bancos amplíen su oferta crediticia y se sientan más seguros de recuperar su inversión. Colombia sería un mercado competitivo si produjera leche a menos de U$ 0,15 (Estrada & Holmann, 2.008)

El Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural (MADR) atendiendo las recomendaciones de política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano emitió la resolución 000017 de 2.012 por la cual se establece el pago de la leche cruda al proveedor y establece bonificaciones o descuentos de acuerdo a los rangos de higiene y composición establecidos para cada región (MADR, 2.012)

El promedio de producción de leche es de 16,45 Litros /Vaca/día, el costo de producción de la leche se explica en un 99.8% por la variación en el nivel de producción, la mayor proporción de los costos se concentra en la alimentación (base forrajera + suplementos) con una participación del 52% del costo total, seguido por la mano de obra con 19.4%,

los costos fijos representan el 79% de los costos totales, mientras que los variables se ubican en el 21%; el punto de equilibrio muestra que un productor debe vender 2.458 Litros/vaca/año, equivalentes a 8.1 Litros/vaca/día para que los ingresos generados por la actividad lechera igualen a los costos totales y los análisis comparativos por ubicación geográfica muestran que municipios con mayor producción deberían ser los de menor costo de producción por litro de leche (Barrios & Olivera, 2.013).

El impacto ambiental de estos sistemas, que se caracterizan por la alta carga animal, fertilización química y rotación con cerca eléctrica, fluctúa entre el desgaste absoluto e irreversible de los suelos hasta la restauración parcial de sistemas degradados. Pero también en las actividades pecuarias de pastoreo se generan otros impactos ambientales negativos como la erosión y la compactación del suelo, la uniformidad genética al privilegiarse el monocultivo de gramíneas mediante quemas estacionales y eliminación de la sucesión vegetal por medios químicos (Herbicidas) o físicos, la desecación de humedales, la construcción de vías de penetración, la demanda creciente de madera para cercos, combustibles en el transporte terrestre o fluvial de los animales o sus productos y otros impactos que genera las agroindustrias que procesan carne, leche y pieles por vertimientos al agua, emisiones al aire y uso masivo de empaques no biodegradables. La reducción de la productividad de los pastos por la compactación de los suelos tiende a compensarse con el incremento de consumo de los suplementos y concentrados que afectan la rentabilidad del sistema. (Murgüeitio, 2003)

2. Metodología

2.1 Localización y Descripción del área de estudio

La localización y la descripción general del área de estudio fueron posibles mediante el análisis de información secundaria de donde se obtuvo: el área total de la cuenca y sus límites, la ubicación geográfica de sus cabeceras municipales con base en investigaciones previas realizadas por CORANTIOQUIA - Universidad de Antioquia (2012), y CORANTIOQUIA - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (2012) , los tipos de coberturas vegetales, de suelos y las áreas usadas en los diferentes sistemas de producción agraria basados en publicaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007), la identificación de las unidades geomorfológicas con sus respectivas áreas a partir del mapa geomorfológico de la cuenca, escala 1:100.000, generado por CORANTIOQUIA y Universidad Nacional de Colombia (2002), el tamaño de la población objetivo con base en las estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE(2005) y el comportamiento histórico de la producción agropecuaria en la región consignada en los anuarios estadísticos de Antioquia(2000-2011). La información sobre el factor climático fue sintetizada de los registros instrumentales históricos (1959-2010) de ocho estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca bajo la inspección y monitoreo de las empresas públicas de Medellín (epm) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (CORANTIOQUIA, Universidad de Antioquia, 2.012).

De manera similar a los criterios utilizados por la FAO y Banco Mundial (2001) para la identificación de los sistemas de producción de mayor representatividad en una región, se consideraron: el patrón predominante de las actividades agrícolas y forma de subsistencia de los hogares agropecuarios, además se tomaron en cuenta las principales tecnologías empleadas, que determinan la intensidad de la producción e integración de los cultivos, ganadería y otras actividades.

El análisis de la información secundaria permitió vislumbrar las variables biofísicas y socio económicas asociadas con los sistemas de producción de la región que resultaron relevantes para definir el inicio de una fase de pre-campo y el posterior muestreo de las unidades de análisis. Se puntualizó sobre la información requerida por parte de las fuentes primarias a través de la preparación y aplicación de entrevistas abiertas para el encuentro con personal técnico y funcionarios públicos regionales y entrevistas semiestructuradas para ser aplicadas a los productores y determinar los impactos socio económicos de los sistemas especializados en la producción de leche, su racionalidad y esclarecer las relaciones otros niveles jerárquicos con los predios.

2.2 Selección de las unidades de análisis

La primera orientación en la selección de las unidades de análisis fueron las indagaciones sobre aspectos generales como la localización geográfica y ecológica de la región, su geomorfología y estudios generales de suelos y cultura agrícola. Esta información de carácter secundario se complementó con información primaria que se gestionó mediante encuentros y entrevistas con funcionarios públicos adscritos a las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATAS); tanto los directores de estos despachos como los técnicos contribuyeron con información clave para la definición de criterios que permitieran un muestreo no probabilístico por estratos y la selección de los estudios de caso.

Posteriormente, se procedió con visitas guiadas a 17 predios localizados en los 5 municipios en compañía de funcionarios teniendo en cuenta que la ubicación de los predios se correspondiera con las unidades geomorfológicas de mayor superficie y mayor densidad predial dentro de la cuenca. Durante la fase de pre-campo se tomó la decisión de descartar los predios que fueran tomados en arrendamiento como también los predios donde sus propietarios no estaban dispuestos a suministrar información clave en el análisis, razón por la cual se optó por seleccionar aquellos predios donde los propietarios o familias propietarias funcionaban como operarios y/o administradores o delegaban la administración del predio y del sistema productivo. Otros criterios que se tuvieron en cuenta fueron el tamaño del sistema productivo o del negocio, el tipo de tecnología

utilizada en el manejo de los cultivos y de los animales y los arreglos productivos propios de la región.

2.3 Caracterización biofísica de las Unidades de Análisis

Durante la fase de campo se llevó a cabo la descripción, caracterización y evaluación de los predios seleccionados utilizando la propuesta metodológica de Vélez y Gastó (1999). Fue necesaria la permanencia entre 2 y 4 días en cada uno de los predios para realizar las mediciones y poder tener un acercamiento a la racionalidad de los productores mediante la convivencia con ellos y con sus familias. Las mediciones en campo involucraron a los productores propietarios y/o administradores en el acompañamiento de los procedimientos. El punto de partida fue la identificación y referenciación espacial de cada uno de los componentes del sistema en estudio, esta actividad requirió de la utilización de dispositivos de captura GPS Garmin 62Sc ®; el software libre Base Camp para la descarga de información georreferenciada y el software ArcGIS 10.1® para el procesamiento y producción de cartografía digital. Se identificaron y describieron límites físicos externos e internos de las unidades de análisis (cercos artificiales con alambres y cercos vivos), tecnoestructuras (andenes, carreteras externas e internas, viviendas, bodegas, salas de ordeño, corrales, acopios, galpones y otras construcciones) e hidroestructuras (cauces naturales, tanques, ductos, canales de drenaje y obras de arte).

Culminada la fase de campo se procesó la información y se entró en una etapa de post campo en la cual se les presentó a los productores los resultados de la evaluación del estado, condición y tendencia de sus predios, se les hizo entrega de los análisis de la fertilidad de los suelos con recomendaciones, los resultados de la productividad de las pasturas como principal cobertura vegetal, la estructura de costos de su proceso productivo y los planos donde visualizaron las unidades espaciales y AES del predio. Una vez devuelta la información se hicieron los ajustes de acuerdo con el análisis conjunto de productores e investigadores. Este ejercicio realizado con los productores permitió la retroalimentación, verificación y consolidación de información generada, base para reducir la incertidumbre frente a la toma de decisiones acertadas.

2.3.1 Determinación de la Receptividad Tecnológica

La capacidad receptividad tecnológica (RT) se define como la capacidad de un ámbito para recibir y asimilar una cantidad y tipo de tecnología determinado, como aportes y estructura de artificialización, sin que se deteriore su capacidad productiva (Vélez y Gastó, 1.999).

Se determinaron las variables estructurantes de tipo biofísico agrupados en la variada RT. La primera variable tenida en cuenta fue la humedad ambiental obtenida del cociente entre la evapotranspiración potencial (ETP) y la precipitación promedio multianual (PPM), la estimación de ésta variable fue soportada en los datos hidrometeorológicos generados por 5 estaciones ubicadas en la región y de propiedad del Instituto de hidrología, meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Empresas Públicas de Medellín epm. La segunda variable determinada fueron las pendientes características dentro de la unidad de análisis, estas se determinaron mediante recorridos previamente definidos de acuerdo con las condiciones topográficas, haciendo uso de clinómetros Brunton ® y la subsecuente georreferenciación. La tercera variable determinada fue la profundidad efectiva de los suelos la cual se efectuó con la utilización de barrenos tipo holandés en diferentes puntos dentro de áreas previamente delimitadas por rangos de pendiente y la descripción del perfil del suelo a partir de la elaboración de una calicata por predio. La cuarta variable determinada fue la textura del suelo mediante la prueba al tacto y corroboración mediante análisis físico químicos (*Método de Bouyoucos*) en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. La quinta variable determinada fue el hidromorfismo, esta se logró mediante la identificación de signos de óxido reducción en las diversas muestras realizadas para determinar las variables precedentes. Con base en estas características se delimitaron Unidades Biogeoestructurales (UNBIS) para generar finalmente un índice de receptividad tecnológica (IRT) con la integración de las variables de tipo biofísico. La tabla 2 presenta las categorías de Receptividad Tecnológica, los valores que puede tomar el IRT y los Sistemas de manejo Agrotecnológico recomendados para las condiciones de Receptividad Tecnológica.

Tabla 2. Categorías e Índices para la determinación de la Receptividad Tecnológica (RT) (Vélez y Gastó, 1999)

Categoría de Receptividad Tecnológica	**Índice de Receptividad Tecnológica**	**Sistema de Manejo Agrotecnológico recomendado**
Alta	1.00 > 0.50	Mecanizado, Avanzado, Tradicional, Primitivo
Restringida	0.5 > 0.25	Avanzado, Primitivo
Baja	0.25 > 0.125	Avanzado, Primitivo
Muy baja	≤ 0.125	Avanzado, Primitivo

2.3.2 Determinación de la Intensidad Tecnológica

La intensidad tecnológica (IT) se define como el grado de artificialización del ámbito o magnitud de los aportes por unidad de área, con el fin de incrementar el flujo de recursos o los rendimientos por unidad de área y aumentar la cantidad y calidad de recursos naturales movilizados y reproducidos para su conversión en valores específicos (Gastó, Guerrero y Vicente, 1995; Ploeg, 1992 citados por Vélez y Gastó, 1.999).

Se recolectó información sobre las actividades que realizan los productores en el día a día, la descripción del conjunto de actividades permitieron la definición del sistema de manejo agrotecnológico (SMA) implementado por estos; esta descripción se complementó con el diseño de una estructura de actividades y de costos en común acuerdo con los productores. Las praderas se caracterizaron por medio de la metodología propuesta por Noreña (2.009) y se registraron los usos, cuidados, condición y tendencia de las unidades espaciales (UNES), de las unidades tecnoestructurales (UNTES) y de las unidades hidroestructurales (UNHIS). Una entrevista semiestructurada se empleó en la determinación de la racionalidad de los productores con respecto a la toma de decisiones para el manejo tanto de las praderas como del hato lechero (vacas en producción), como también acerca de sus percepciones frente a fenómenos climáticos extremos y sobre las estrategias que les permitan adaptarse a la realidad social, económica y ecológica de la región; la verificación de la información se realizó mediante el método de la observación participante (Kawulich, 2006), además de la presentación,

entrega de resultados y su validación por parte de los productores. La Tabla 3 presenta las categorías, valores posibles del índice de Intensidad Tecnológica y aspectos considerados en su determinación.

Tabla 3. Categorías e Índice para la determinación de la Intensidad Tecnológica (IT) a nivel predial.(Vélez y Gastó, 1.999)

Categoría de Intensidad Tecnológica	**Índice de Intensidad Tecnológica**
Adecuada	1.00
Alta	< 1.00 – 0.500
Media	< 0.500 – 0.250
Extensiva	< 0.250 – 0.125
Muy Extensiva	< 0.125 – 0.063
Inadecuada	≤ 0.063

2.3.3 Determinación de la Intensidad de mano de obra

La intensidad de mano de obra (IMO) se refiere al cociente promedio entre el número de operaciones agrícolas y la cantidad de mano de obra requerida para ese número de labores (Meews, ploegs y Wiejermans, 1988; citados por Vélez y Gastó, 1998).

La estructura de actividades generada con los productores y las áreas totales en manejo debidamente georreferenciadas permitieron determinar la categoría de mano de obra como el cociente entre el área en manejo en hectáreas y el número de trabajadores requeridos. La tabla 4 presenta las categorías rangos y valores del IMO.

Tabla 4. Categorías e índices para la determinación de la Intensidad en el empleo de Mano de obra a nivel predial (Vélez y Gastó 1.998. Adaptada de Meews, Ploeg y Wijermans)

Categoría	**Ha/Trabajador**	**Índice**
Muy intensiva	< 5Has	1

Tabla 4. (Continuación)

Categoría	Ha/Trabajador	Índice
Intensiva (Pequeña Escala)	5 < 10 Has	0,5
Intensidad media (Escala Media)	10 < 20 Has	0,25
Extensivo (Gran Escala)	20<40 Has	0,125
Muy Extensivo	> 40 Has	0,063

2.3.4 Determinación de la diversidad

Referida también como el uso múltiple de las unidades de análisis se determinó mediante el cociente entre el número de coberturas vegetales y el número de agroecosistemas identificados. La tabla 5 presenta las categorías e índices de diversidad.

Tabla 5. Categorías e Índices para la determinación de la diversidad (Vélez y Gastó, 1998)

Categorías de diversidad	Índice de Diversidad
Muy Diverso	≥ 1,0
Diverso	0,5 > 1,0
Diversidad media	0,25 > 0,5
Baja Diversidad	0,25 > 0,125
Muy Baja Diversidad	≤ 0,125

2.4 Caracterización y Evaluación de Agroecosistemas y predios

El espacio de evaluación y análisis comprende un eje para cada uno de los índices calculados: Índice de Receptividad Tecnológica (IRT), Índice de Intensidad Tecnológica (IIT), Índice de Mano de Obra (IMO) e Índice de Diversidad (ID). En este se ubicaron los predios dentro de cada tipología mediante una representación gráfica que vincula los cuatro índices que presentan un valor mínimo equivalente a cero (0) y un valor máximo equivalente a uno (1).

2.5 Definición de las variables explicativas de la vulnerabilidad biofísica y socioeconómica al cambio climático en agroecosistemas de la cuenca

En la fase de pre campo se definieron criterios básicos para la selección de variables que deberían ser tenidas en cuenta en el proceso de caracterización y evaluación de los AES.

La información de campo fue sistematizada en libros de Excel Microsoft®. Se excluyeron del análisis los predios con información clave insuficiente. Se construyó una matriz (n*p) donde *n* fue el número de predios y *p* las variables medidas que se agruparon en tres factores: El factor biofísico-espacial, el factor de manejo y el factor productivo.

Los datos se estandarizaron y se aplicó la técnica de ordenamiento multivariado del análisis de componentes principales (ACP) para cada factor con el fin de lograr una primera depuración de las variables y reducir la dimensionalidad de los datos al eliminar las variables que pudieran resultar multicolineales; los factores quedaron representados por las variables menos redundantes para luego correr nuevamente el procedimiento de ACP con el conjunto de las variables depuradas de todos los factores. Seguidamente se analizaron los coeficientes dados por los vectores propios, los factores de carga y la matriz estructura y se nombraron los componentes principales con base en la representatividad de sus variables. Las rutinas se corrieron en el software R Project mediante la utilización de las librerías fBasics, ADE4 y las funciones: `read.table` en la lectura del dataframe, `names` en el nombramiento de las variables, `as.matrix` para la estandarización de los datos, `eigen` para el cálculo de los valores propios y `princomp` en el ACP clásico. Para efecto de manejar una nomenclatura adecuada en la interpretación de las combinaciones lineales de variables, se asignaron códigos a las variables a manera de abreviaturas para representarlas en las ecuaciones de los componentes principales.

3. Resultados y Análisis

3.1 Los sistemas de producción agraria en la cuenca del Rio Grande

3.1.1 Características biofísicas de la cuenca hidrográfica del Rio Grande

La cuenca del Rio Grande está ubicada en el altiplano de la subregión norte de Antioquia (Colombia), en jurisdicción de los municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, Donmatías, Entrerríos, Belmira, con una extensión de aproximadamente 130.000 Has. En la tabla 6 se presentan las coordenadas geográficas correspondientes a las cabeceras municipales, así como la altitud, temperatura media anual y precipitación promedio anual.

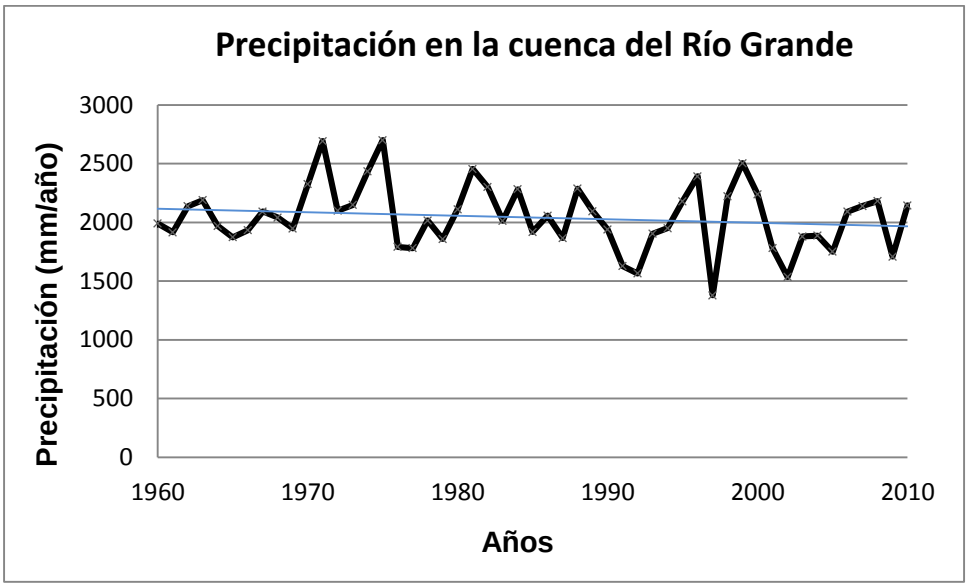
Tabla 6. Características geográficas y climáticas en cabeceras municipales de la región de estudio.

Jurisdicción de la Cuenca del Rio Grande					
Municipio	**Latitud Norte**	**Longitud Este**	**Altitud (m.s.n.m.)**	**Temperatura (°C)**	**Precipitación (mm)**
Belmira	6°36´29´´	75°40´15´´	2.500	14.3	2.492
Donmatías	6°29´23´´	75°25´46´´	2.200	14.3	2.441
Entrerríos	6°34´09´´	75°31´16´´	2.350	15.6	1.779
San Pedro	6°27´51´´	75°33´38´´	2.400	14.8	1.475
Santa Rosa	6°38´58´´	75°27´48´´	2.600	13.7	2.055

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007).

El promedio de precipitación anual de las últimas 5 décadas en la región es de 2.206 mm mientras que la temperatura promedio es de 14,3 °C., la evapotranspiración potencial (ETP) de 843 mm/año y una relación de ETP de 0.38. La mayor parte de la cuenca

hidrográfica del Rio Grande se encuentra ubicada en la zona de vida bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) con transiciones al bh-MB. La gráfica 1 presenta el comportamiento de la precipitación en la cuenca del Río Grande en las últimas 5 décadas (CORANTIOQUIA, Universidad de Antioquia, 2.012).



Cuadro 1. Comportamiento del régimen de precipitación en la cuenca del Río Grande durante las décadas de 1.960 a 2.010. Fuente: CORANTIOAQUIA, Universidad de Antioquia, 2.012)

De acuerdo con IGAC (2007), la cuenca se encuentra en un paisaje de altiplanicie definido como una unidad genética de relieve de extensión regional que comprende todo tipo de antiguas llanuras agradacionales solevantadas, constituidas por capas o estratos horizontales de sedimentos y/o materiales volcánicos, las cuales han estado sometidas por diferentes periodos y con distintas intensidades a un ataque gradual, del conjunto de procesos degradacionales, incluida una fuerte meteorización y desarrollo pedogenético y, posteriormente la erosión fluvial y algunas formas de remoción en masa hasta transformar su morfología inicial en porciones menores separadas por gargantas y valles, o bien disectándolas totalmente mediante una intensa red de drenajes.

El material parental del suelo está constituido por cenizas volcánicas que recubren rocas ígneas. Los suelos tienen evolución pedogenética variada, pertenecen al orden de los Andisoles y a Inceptisoles ándicos, son moderadamente profundos a muy profundos, bien a imperfectamente drenados, de textura media; tienen reacción muy fuerte a

fuertemente ácida, alta saturación de aluminio, alta CIC, alto contenido de materia orgánica, alta capacidad de fijación de fósforo, fertilidad baja a moderada, densidad aparente muy baja y alta capacidad de retención de humedad.

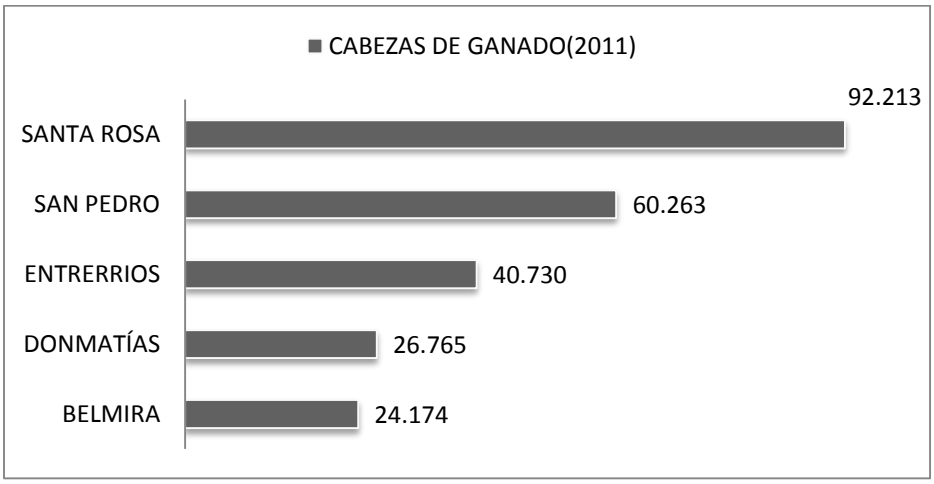
Con base en una adaptación de la metodología Coryne Land Cover para Colombia, se reconocen siete tipos de coberturas en la región: bosque denso (B), Bosque intervenido mosaico (BIM), Agricultura (A), Pastos (P), plantaciones Forestales (PF), Vegetación arbustiva (AR) y otras coberturas (OC). Los pastos constituyen la cobertura dominante en la cuenca representando el 48% del área total con 62.507,96 Has. (Ramírez, 2014).

3.1.2 Usos del suelo y sistemas de producción.

El 51,8% de la población total en la región habita la zona urbana mientras que 48,2 % ocupa la zona rural (DANE, 2005). El manejo de ganado bovino para la producción de leche es la actividad de mayor importancia en la sub región norte de Antioquia y la más difundida en su territorio, esta se localiza principalmente en la zona del altiplano o meseta de los osos, razón por la cual tiende a identificarse la subregión con esta zona y a su base económica con dicha actividad (Gobernación de Antioquia, 2011).

3.1.3 Sistema ganadero especializado en producción de leche

Históricamente la ganadería bovina para la producción de leche ha sido el principal uso de la tierra en estos cinco municipios y en la actualidad es una de las cuatro zonas con las mayores producciones del país. En la Gráfica 2 se presenta el inventario bovino para el año 2011. Se estima que durante la última década este inventario incrementó el 29.3% en la región al pasar de 172.616 animales en el año 2000 a 244.145 animales en 2011, de este total se ha reportado que el 94.8% está relacionado con la producción de leche, 2.2% con la producción de carne y 3% con el doble propósito, equivalente al 61% del inventario subregional y al 10% del inventario departamental. (Gobernación de Antioquia, 2011).



Cuadro 2. Distribución del inventario bovino productivo por municipios en la región de estudio. Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (2.011)

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

El promedio regional de producción de leche por vaca es de aproximadamente 17.5 litros y se estima que un trabajador está en capacidad de responder por 250 litros /día con ordeño manual, lo que representa el manejo de un hato con máximo 15 animales en ordeño. Con la utilización de la tecnología de ordeño mecánico portátil con el uso de bombas de vacío un trabajador puede responder por niveles de producción hasta 400 L/día, quiere decir que esta tecnología permite manejar un hato de hasta 23 animales en ordeño con un solo trabajador siendo el rango hasta donde se consideran pequeños productores de leche en la región. Cuando los sistemas de producción superan el límite de los 400 L/día se presentan de manera común las salas de ordeño con el fin de facilitar las labores del personal, disminuir el empleo de mano de obra, la cual es escasa e inestable en la región, y estar en procura de conservar la inocuidad de la leche como producto destinado para el consumo humano y de lo cual depende el precio que recibe el productor por parte de las empresas compradoras. El promedio de estadía de un

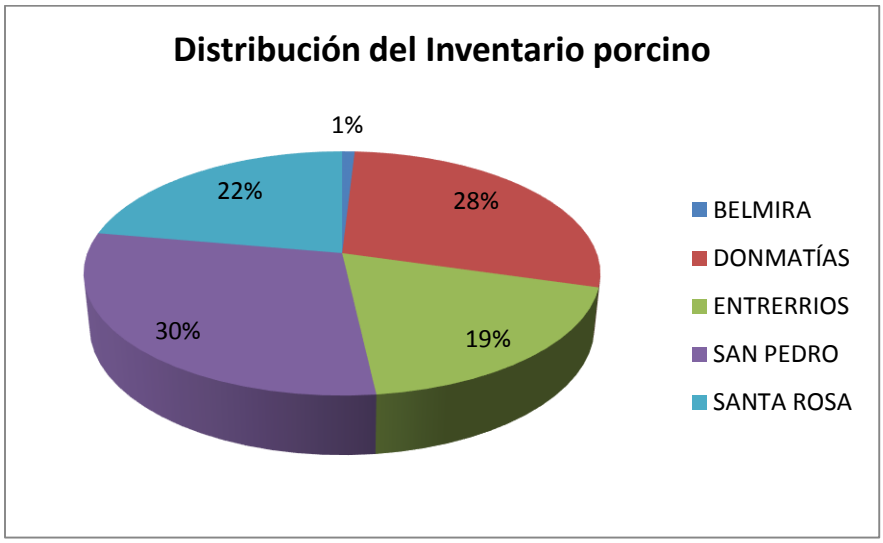
mayordomo es de 5 a 10 años en una predio y se podría afirmar que en más del 70% de los predios de la región propenden por la adopción de la tecnología de ordeño mecánico pues la rutina de trabajo es altamente exigente.

La raza de ganado que predomina es el ganado Holstein, puede representar el 60% del inventario regional a pesar de que la tendencia es a la disminución ya que la práctica que más se difunde en la actualidad es la utilización de cruces con el fin de obtener mayores contenidos de grasa, proteína, lactosa y menor recuento de células somáticas.[1]

3.1.4 Sistema de producción de ganadería especializada en producción de leche - porcícultura

Sólo la actividad lechera genera encadenamientos económicos hacia atrás y hacia adelante, dinamizando no solo otras actividades pecuarias como la porcicultura sino también las de procedimiento, tales como la industria de concentrados y derivados lácteos. Actualmente, la porcicultura es importante en Donmatías y Santa Rosa de Osos, en gran medida, porque en todos los sitios de producción de ganadería de leche la porcicultura está asociada para el tratamiento de fertilización de pastizales (Gobernación de Antioquia, 2011). Para el año 2013 se registró una importante disminución de estos sistemas en los municipios de San Pedro de los Milagros y Entrerríos principalmente porque los productores han decidido concentrarse en la intensificación de sus lecherías, es decir especializarse cada vez más, lo cual va de la mano con los compromisos adquiridos al certificar las predios en buenas prácticas ganaderas (BPG). Como se sintetiza en la gráfica 3, el municipio de Belmira históricamente ha presentado en menor porcentaje de inventario porcino de la región. Bajo las actuales circunstancias, el municipio de Donmatías, de vocación predominantemente pecuaria, podría ser catalogado como el municipio más porcicultor de Antioquia con una producción media de 400.000 cerdos/año[2]

[1] Información obtenida a partir de entrevistas abiertas con técnicos agropecuarios y funcionarios públicos de la región.
[2] *Idem*



Cuadro 3. Distribución porcentual de porcinos en la región de estudio.

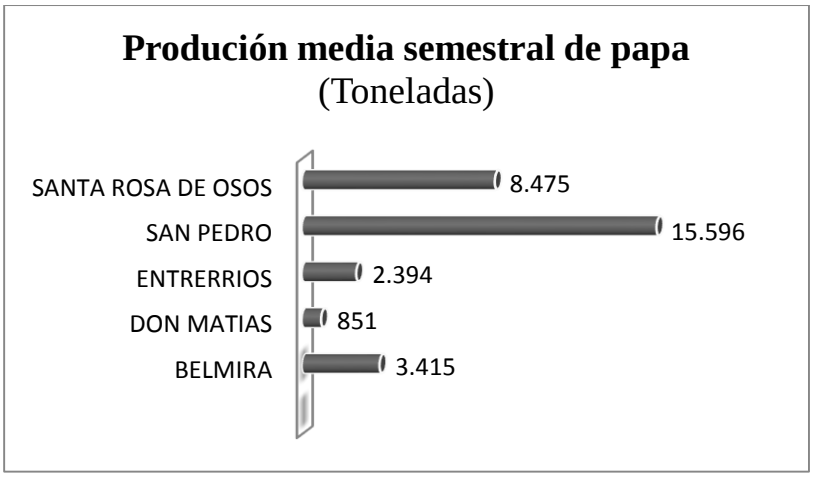
Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (2011)

El asocio porcicultura-pasto-lechería se orienta a la utilización de la porquinaza como abono para los pastos, esto representa una considerable reducción en los costos de producción del pasto con respecto a los sistemas que no incluyen la porcicultura. Este sistema es acogido por cerca del 60% de productores en el municipio de Donmatías también motivados por los convenios que se logran con las empresas porcícolas como Cerdón S.A.S, PIC Colombia S.A., entre otras.

3.1.5 Sistema de producción de ganadería especializada en producción de leche – producción de papa.

Este sistema se orienta a la utilización de forma inicial del cultivo de papa, como una forma de mejorar las condiciones para el crecimiento del pasto. El cultivo de papa es un cultivo rotativo de máximo dos o tres cosechas, que se usa como medio para “mejorar los terrenos” para ganadería, bajo este enfoque los propietarios, normalmente dedicados a la actividad lechera, alquilan porciones en vegetación arbustiva u otro tipo de cobertura de sus propiedades a los cultivadores de papa, procedentes generalmente otras regiones del departamento principalmente del oriente antioqueño, para que establezcan el cultivo por uno o dos años. Las actividades de adecuación del terreno (moldeo, fertilización, arado, etc.) corren por cuenta del arrendatario, posteriormente el arrendador siembra los

pastos que requiere para empezar su actividad ganadera [3] . La gráfica 4 muestra los niveles de producción media semestral de este cultivo en los diferentes municipios de la región de estudio. Es evidente que el proceso de mecanización de los suelos genera pérdidas considerables de este recurso debido al tipo de implementos utilizados bajo condiciones topográficas de alta pendiente y con alta pluviosidad.



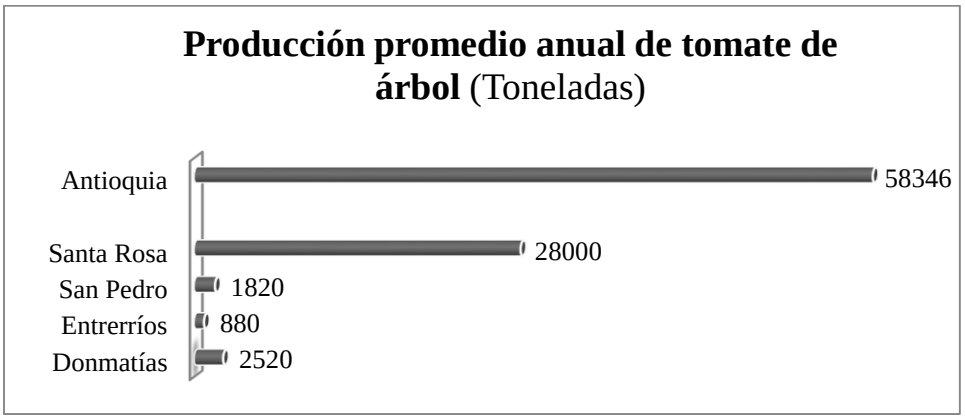
Cuadro 4. Producción media semestral del papa en la región de estudio
Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (2011)

3.1.6 Otros sistemas de producción.

Hace cerca de diez años el tomate de árbol y otros frutales se consideraron alternativas de producción, sin embargo estos cultivos se hicieron cada vez más vulnerables al ataque de plagas y virus, especialmente el tomate de árbol, lo cual implicaba para el dueño del cultivo la aplicación de más fungicidas, herbicidas y abonos químicos con el fin de mantener el rendimiento. Lo anterior hizo que los cultivadores rotaran o se alejaran a otras zonas. En la actualidad se observan siembras de tomate de árbol en Yarumal, cuando en un principio estaban ubicados en Santa Rosa, Donmatías, Entrerríos y San Pedro, sin embargo en los últimos dos años este cultivo ha retornado sobre todo a los últimos dos municipios. (Gobernación de Antioquia, 2010). La gráfica 5 presenta un importante desarrollo productivo del tomate de árbol, es este sistema se produce el 57%

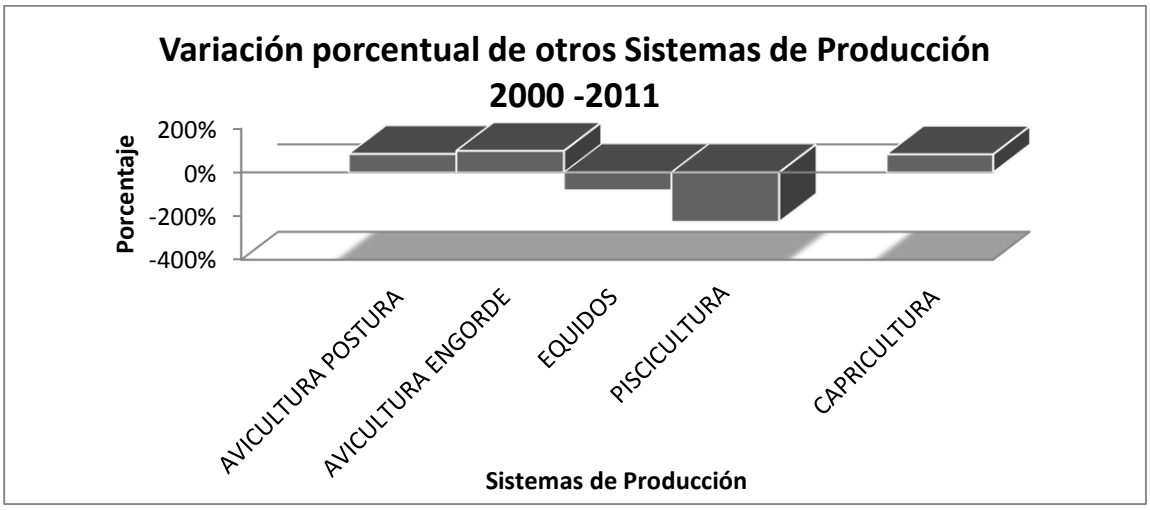
[3] Información personal suministrada mediante entrevistas abiertas por técnicos y funcionarios públicos de la región, 2013.

del total de la producción departamental, sin embargo la cantidad de productores no llega a ser tan representativa como en la lechería.



Cuadro 5. Comparación de la producción de tomate de árbol regional y departamental
Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (2011)

En el periodo comprendido entre los años 2000 y 2011, la avicultura de engorde con el 98,5% y de postura con 84,4 % representan los sistemas de producción pecuaria con mayores incrementos al igual que la capricultura con el 82.5% en los municipios asociados a la cuenca del Riogrande. Sin embargo, esta situación no es propia de la zona del altiplano sino que se presenta particularmente en las zonas de vertiente información contenida en la gráfica 6. Pese a la abundancia del recurso hídrico la piscicultura no salió bien librada al disminuir el área en espejos de agua y el número de estanques para la producción.



Cuadro 6. Variación porcentual de los subsectores agrarios entre 2000 y 2011.
Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (2011)

La actividad minera que fue la que dio comienzo a esta zona, ha perdido su dinámica, aunque actualmente hay tendencia a la reactivación. En cuanto a los bosques plantados con fines comerciales se encuentran ubicados en los municipios de Santa Rosa, San Pedro, Donmatías y Entrerríos. Por sus especiales condiciones de riqueza en recursos naturales, las actividades económicas industriales que han venido localizándose en su territorio, los servicios de apoyo a la producción, la belleza de su variado paisaje natural que combinado con los desarrollos hidroeléctricos, le confiere un alto potencial turístico (Gobernación de Antioquia, 2011)

La generación de energía eléctrica es otra actividad representativa de la región, desarrollada mediante la utilización eficiente de los recursos hídricos y de las características favorables de orden topográfico, geológico y pluviométrico para esta clase de obras. Los centros urbanos se ha beneficiado de la proximidad y buena accesibilidad al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, desarrollando una incipiente industrialización, especialmente en el campo de la confección, bebidas y alimentos ligada a la dinámica industrial del valle de Aburrá, con excepción de la industria de los derivados lácteos que es complementaria a la base económica regional. (Gobernación de Antioquia, 2011)

3.1.7 Los bosques y la producción de agua.

La cuenca del Rio Grande está contenida en la denominada “Gran Región Central de Antioquia, una estrategia de gestión y ordenamiento urbano-regional del territorio, que busca la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad de bienes y servicios ambientales. Se considera como la despensa hidroeléctrica del Valle de Aburrá.

En forma dispersa aparecen manchones de bosques naturales (Robledales) y rastrojos altos. Es estos bosques se han registrado 66 especies de flora endémicas para el departamento de Antioquia, 25 de estas exclusivas de esta unidad, no se han identificado áreas de manejo especial donde se asegure su conservación. La región presenta un alto potencial de acuíferos y potencial agroecológico en áreas dispersas, concentrándose estas principalmente en los municipios de Santa Rosa, Entrerríos y Belmira. Por la presencia del embalse de Rio Grande II se considera una zona estratégica por la oferta ambiental de agua que beneficia a los habitantes del valle de Aburrá. (Gobernación de Antioquia, 2011)

Es necesario abordar esta investigación dirigida al sistema especializado de producción de leche a nivel del predio y del agroecosistema ya que en estos dos niveles, respectivamente, es donde se toman las decisiones y se implementan estrategias productivas que incrementan o disminuyen su vulnerabilidad socio económica y ecológica. Es en estos dos niveles jerárquicos donde de manera directa se implementan las respuestas al cambio climático y ambiental por parte del productor y los sistemas sociales. Si bien los efectos del cambio climático y ambiental son regionales, nacionales e internacionales, son los productores que administran sus predios quienes, en su contacto directo con la naturaleza, asumen la gestión del riesgo asociada al cambio climático y ambiental.

3.2 Selección de las Unidades de Análisis

En los diferentes municipios, los técnicos consultados y los productores entrevistados durante las actividades de pre campo confirmaron que la región se caracteriza por su vocación hacia la producción especializada de leche, principalmente en San Pedro de los Milagros y Entrerríos donde se localizan la cooperativa lechera de Antioquia COLANTA Y

la multinacional Alpina. En Belmira, Santa Rosa de Osos también predomina este sistema de producción, sin embargo, es factible encontrar otros arreglos relacionados con la producción de papa y tomate de árbol, mientras que Donmatías se diferencia por la mayor presencia del arreglo cerdos-pastos-leche. Con base en la presencia de diferentes organizaciones, empresas del sector lácteo, niveles diversos de tecnificación y de compromiso político de la comunidad y las administraciones, se definió la unidad administrativa o municipio como criterio de selección de los predios.
Por lo anterior, se concluye que el principal sistema de producción de la región es el sistema especializado en la producción de leche y es por esta razón que la tesis se concentra en el análisis del mismo.

Se corroboró la importancia del relieve en el proceso de producción de leche a partir de lo cual se definió la Unidad geomorfológica (UG) como un criterio más en el que se basó el muestreo estratificado. Las unidades administrativas se encontraron asociados con las UG de mayor área y densidad predial a razón de 1 a 3. Así, el municipio de Belmira presentó 2 UG, Donmatías 2UG, San Pedro de los Milagros 3 UG, Entrerríos 2 UG y santa Rosa de Osos 1 UG. La tabla 7 relaciona las principales unidades geomorfológicas de interés con sus características de superficie y número de predios.

Tabla 7. Características de superficie y densidad predial de las unidades geomorfológicas. Fuentes: Mapa geomorfológico escala 1:100.000 (CORANTIOQUIA, 2002). Mapa catastral. Departamento Administrativo de Planeación Departamental (2011)

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	**ÁREA (Has)**	**%**	**# PREDIOS**	**%**
Colinas bajas	49.892	46.4	4.716	24
Filos con Flancos Planos	11.686	6.5	679	3.5
Colinas medias	8.290	4.6	4.024	20.5
Vertientes de baja inclinación	5.372	3.0	1.261	6.4
Total	75.240	60.5**	10.680	54.4**

** Los valores porcentuales están relacionados con el área total y el número total de predios en la cuenca.

En el proceso de selección se descartaron dos unidades geomorfológicas: Vertientes largas (11.270 has y 1.938 predios) debido a que su ubicación está por fuera del rango altitudinal que caracteriza a la cuenca y la unidad Colinas altas con flancos de baja inclinación (10.466 has y 2957 predios) por tratarse de la zona de protección del embalse caracterizada por la presencia de extensas plantaciones forestales de propiedad de las empresas públicas de Medellín (epm).

Como complemento del proceso de selección de predios, se generalizó la afirmación entre los entrevistados que las tecnologías utilizadas para la extracción de la leche y la utilización de mano de obra tienen alta relación con el número de animales en producción, es decir el tamaño del hato. De tal manera que se definieron tipologías de predios como se relaciona a continuación.

3.2.1 Unidades de análisis con menos de 15 vacas en ordeño

Son predios que en términos generales son manejados solamente por la cabeza de familia o de este con el mínimo apoyo del grupo familiar para su operación, rara vez contratan mano de obra, además es común que se realicen las labores de ordeño de forma manual, excepcionalmente se cuenta con ordeño mecanizado o sala de ordeño y se tiende a un uso extensivo de la tierra caracterizado por periodos de descanso de potreros más prolongados, sin planes definidos de fertilización, la genética de los animales es diversa, se tiende a la inseminación artificial y el suministro de suplementos alimenticios para el ganado es bajo. La infraestructura es escasa, no hay andenes para la movilidad del ganado y se evidencia baja gestión en el almacenamiento de agua.

3.2.2 Unidades de análisis entre 16 y 30 vacas en ordeño

Son predios con tendencia a la participación de más de una persona en las labores del sistema, por lo tanto hay mayor participación de la familia o necesariamente se contrata mano de obra ocasional para las diferentes actividades de operación. El tipo de ordeño puede ser manual o mecanizado portátil, en pocas ocasiones se dispone de salas de ordeño, la genética de los animales es diversa, se tiende a la práctica de la inseminación artificial y hay tendencia a la intensificación del manejo de las áreas en pastoreo y suministro permanente de suplementos alimenticios para el ganado. La infraestructura es

escasa, en contadas ocasiones hay andenes para la movilidad del ganado y se gestiona el almacenamiento de agua.

3.2.3 Unidades de análisis entre 31 y 50 vacas en ordeño

Son predios en los cuales está involucrado el productor con su familia y necesariamente se contrata mano de obra para cubrir todas las actividades, en términos generales desaparece el ordeño manual y predominan el mecánico portátil y las salas de ordeño. La genética de los animales tiende a ser diversa, generalmente se acude a la inseminación artificial, suministro permanente de suplementos alimenticios, se presenta intensificación del manejo de las áreas en pastoreo y tendencia a estar involucrados en procesos de certificación del proceso productivo. La implementación de infraestructura es notoria, en la mayoría de los casos hay andenes para la movilidad del ganado y se gestiona el almacenamiento de agua.

3.2.4 Unidades de análisis con más de 50 vacas en ordeño

Son predios donde las actividades están a cargo de un administrador y generalmente los propietarios están ausentes y efectúan visitas de manera periódica, en contadas ocasiones el productor o la familia se encarga de las actividades de manejo. Predominantemente el tipo de ordeño es mecanizado en sala con unidad final y aun se pueden observar mecanizados portátiles con tendencia a la implementación de salas. Aunque hay tendencia a la diversidad genética de los animales, se practica la inseminación artificial con el predominio de la raza Holstein, el suministro de suplementos alimenticios es alto y hay tendencia a intensificar el uso de las áreas en pastoreo y a estar involucrados en procesos de certificación del proceso productivo. La inversión en infraestructura es destacada, en la mayoría de los casos hay andenes para la movilidad del ganado y se gestiona con detalle el almacenamiento de agua.

De acuerdo con las indagaciones de fuentes primarias y secundarias las unidades de análisis seleccionadas fueron predios asociados a la producción especializada de leche, localizados en los 5 municipios y en las 4 unidades geomorfológicas de mayor área y densidad predial dentro de la cuenca y además diferenciados por el tamaño del hato lechero. La Tabla 8 presenta una combinación de los criterios de selección de las

unidades de análisis y la figura 1 presenta la ubicación dentro de la cuenca de las unidades de análisis seleccionadas.

Tabla 8. Criterios y número de predios seleccionados como unidades de análisis.

UNIDAD ADMINISTRATIVA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	TAMAÑO DEL HATO	TOTAL
Donmatías	Colinas Bajas	≤ 15 16 a 30 31 a 50 >50	4
	Colinas medias		4
Entrerríos	Colinas Bajas		4
	Colinas medias		4
Santa Rosa de Osos	Colinas Bajas		8
San Pedro de los Milagros	Colinas bajas		4
	Filos con Flancos Planos		4
	Vertientes de baja Inclinación		4
Belmira	Colinas Bajas		4
	Filos con Flancos Planos		4
Unidades de análisis seleccionadas en la cuenca:			44

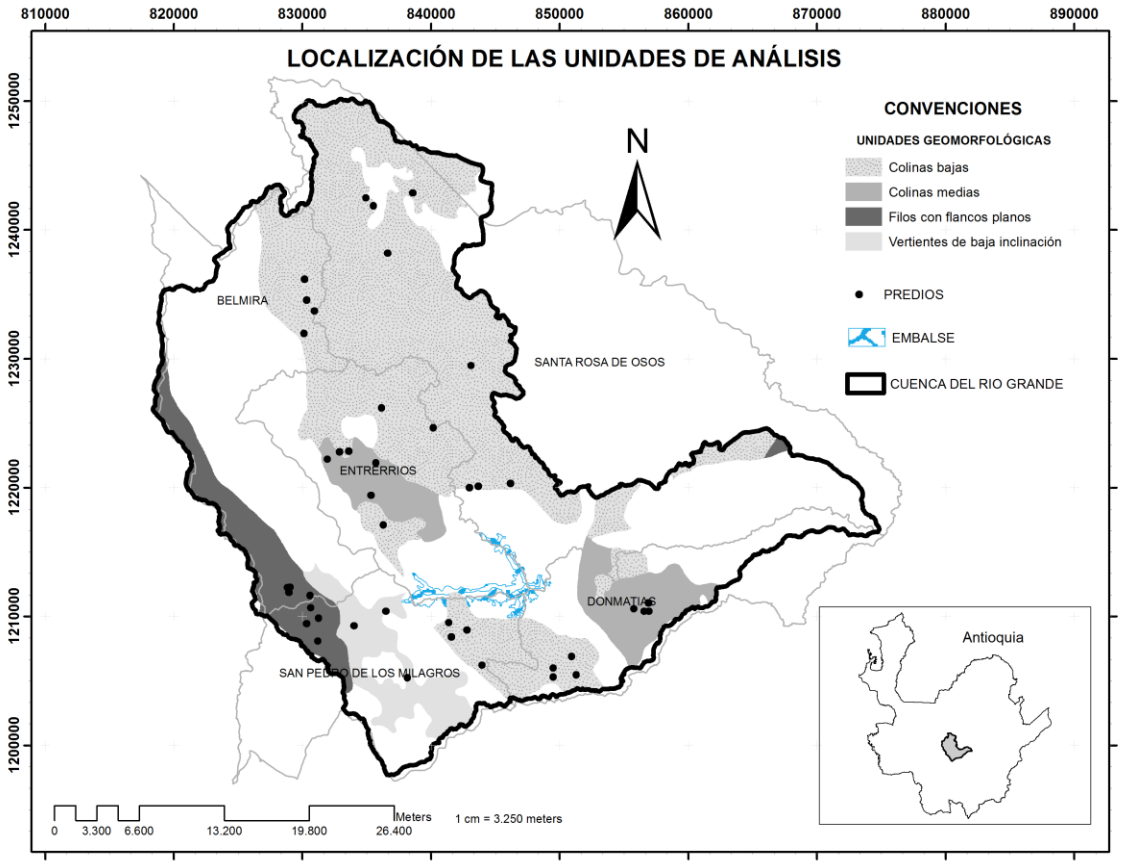


Figura 1. Localización de las unidades de análisis en la Cuenca del Río Grande. Fuente: Elaboración propia con base en archivos cartográficos de CORANTIOQUIA y Universidad Nacional de Colombia (2002)

El área total correspondiente a 44 predios caracterizados fue equivalente a 1.022,45 Has. Esta superficie está distribuida, en áreas de pastoreo, cultivos, huertas, tecnoestructuras como carreteras, caminos, casas, bodegas, corrales, salas de ordeño y casetas para tanques de enfriamiento, además de áreas en conservación donde se incluyen los bosques, rastrojos y humedales.

El 60,2% de los estudios de caso se localizaron en la UG Colinas bajas (Cb) equivalentes a 615,74 Has., 23,2% en la UG Colinas medias (Cm) equivalentes a 235.3 Has., 13,15% en la UG Filos con flancos planos equivalentes a 134,5 Has. y 3,61% en Vertientes de baja inclinación (Vbi) equivalentes a 36.9 Has.

3.3 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas y predios en la cuenca del Río Grande

La caracterización y evaluación del estado los AES es función tanto de las condiciones biofísicas de estos, como también de los objetivos, racionalidad y estrategias productivas implementadas por los productores para su manejo. El componente socioeconómico define su modo de operación y por lo tanto, la condición o estado de los AES y de los predios; el tamaño del hato lechero se explica como producto de la lógica de los productores.

Con base en lo anterior, la caracterización y evaluación de los agroecosistemas se presenta de acuerdo con la tipología por tamaño del hato previamente identificada y resumida en la tabla 7.

Para claridad del procedimiento se presentarán los resultados de un estudio de caso por tipología y luego se presentarán los resultados y los análisis correspondientes para todos los predios pertenecientes a cada tipología.

3.3.1 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 1. Productores con menos de 15 vacas. Estudio de caso: predio La Cañada de los Gil.

- **Estructura, Administración y Manejo**

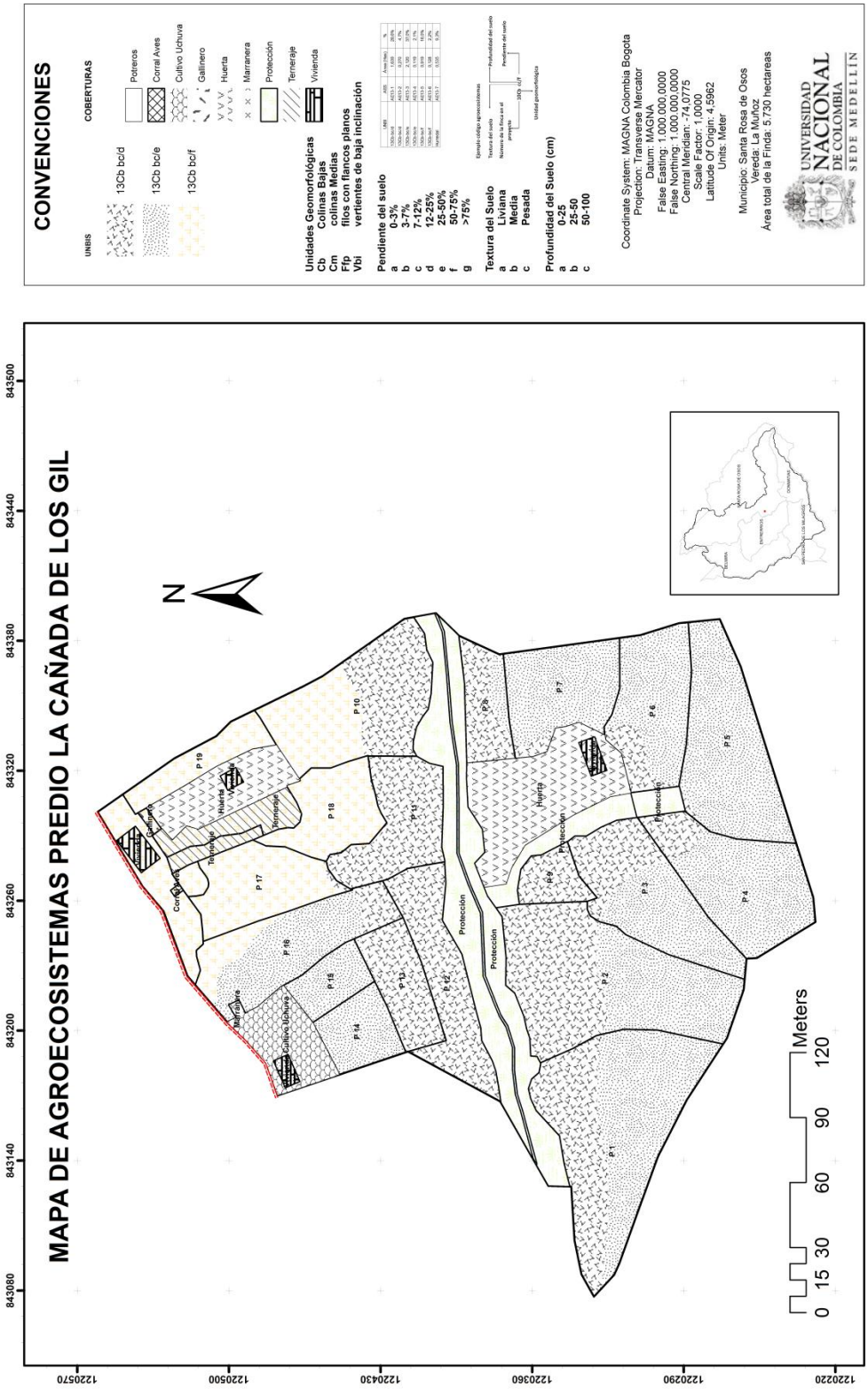
El predio La Cañada de los Gil se encuentra localizado en la vereda La Muñoz en el municipio de Santa Rosa de Osos. El núcleo familiar está compuesto por 6 personas quienes habitan allí desde hace 30 años aproximadamente cuando en la región se cultivaba tomate de árbol, lo cual iba dando pie a la adquisición de pocos animales que resultaban fácil de levantar en aquel entonces. Según la opinión de la familia, anteriormente se conocían otras razas de ganado, otras especies de pastos y por lo tanto el manejo era muy diferente de lo que es en la actualidad. El sistema de producción de

leche se implementó por iniciativa de la familia de forma empírica con el compartir de saberes con sus vecinos y en los últimos años con el apoyo y capacitaciones por parte de las instituciones públicas como la UMATA del municipio y privadas como COLANTA.

La extensión del predio es de 5.73 Has de las cuales 4.48 Has. (78%) corresponden al cultivo de pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum* Hosch Ex Chiov), 0,54 Has. (9.4%) corresponden a un área de humedal o zona de protección, 0.4 Has (7%) corresponde a huertas o cultivos de pancoger, 0.12 Has. (2%) es cultivo comercial de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) y 0.2 Has (3.6%) corresponde al área ocupada por construcciones incluyendo las viviendas familiares. El área total se divide en 24 Unidades espaciales (UNES) así: 20 potreros, 2 huertas, 1 cultivo y un humedal que se encuentra protegido.

El propósito de uso de los potreros es la producción de pasto para el sostenimiento de 11 vacas en ordeño que producen 135 litros de leche diaria, una vaca horra, 4 novillonas, un ternero y un caballo. El área de los potreros oscila entre 0.067 Has y 0.53 Has., y el periodo de descanso de estos es de 22 días. Durante la ocupación de los potreros las vacas en producción inician el pastoreo y cuando estas salen entran las vacas horras y las novillonas, es decir que los animales no productivos se alimentan en potreros de salida. Con base en lo anteriormente descrito, la carga es de 3.7 animales/Ha., se presenta subdivisión con cerca eléctrica para garantizar la permanencia de los animales en aproximadamente 2000m²/día y también se cuenta con un potrero de 0.1 Has destinado para el cuidado de las terneras y terneros lactantes donde la carga es de 10 animales/Ha.

En términos de mano de obra, el predio es manejado por un solo trabajador que hace parte de la familia, el 50% de su tiempo (4 horas/día), lo dedica a labores de ordeño como la actividad más demandante dentro del predio, 12.5% (1 hora/día) lo dedica al manejo y mantenimiento de potreros y 37.5% del tiempo lo dedica a otras actividades como cuidados de las huertas y del cultivo comercial de la uchuva a pequeña escala. La figura 1 es la representación espacial de la estructura del predio La Cañada de los Gil con sus AES diferenciados por la pendiente del terreno en diferentes texturas, unidades espaciales UNES delimitadas por líneas y unidades tecnoestructurales UNTES representadas en el mapa con línea roja y polígonos.


MAPA DE AGROECOSISTEMAS PREDIO LA CAÑADA DE LOS GIL
CONVENCIONES
UNIDS
COBERTURAS
13Cb bc/d
Potreros
13Cb bc/e
Corral Aves
13Cb bc/f
Cultivo Uchuva
Gallinero
Huerta
Marranera
Protección
Terraplen
Vivienda
Unidades Geomorfológicas
Cb Colinas Bajas
Cm colinas Medias
Ffp filos con flancos planos
Vbi vertientes de baja inclinación
Pendiente del suelo
a 0-3%
b 3-7%
c 7-12%
d 12-25%
e 25-50%
f 50-75%
g >75%
Textura del Suelo
a Liviana
b Media
c Pesada
Profundidad del Suelo (cm)
a 0-25
b 25-50
c 50-100
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter
Municipio: Santa Rosa de Osos
Vereda: La Muñoz
Área total de la Finca: 5.730 hectareas
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
N
Meters
0 15 30 60 90 120
843080
843140
843200
843260
843320
843380
843440
843500
1220220
1220290
1220360
1220430
1220500
1220570

- **Mapificación de las variables biofísicas y Socio económicas**

Las texturas en el mapa representan 7 AES y se interpretan como la espacialización e integración de las variables biofísicas (pendiente, profundidad, textura, hidromorfismo) que delimitan las 3 UNBIS identificadas en el predio, en las cuales la pendiente del terreno fue la principal variable diferenciadora y las variables de tipo socio económico que se subdividen en el factor de manejo y el factor productivo reflejados en el SMA implementado sobre cada UNBI.

En este caso el predio corresponde al número 13 en la lista de 44 unidades de análisis, está localizado en la unidad geomorfológica Colinas bajas (Cb). El AE13-1 con un área de 1.64 Has, equivale al 28.6% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 12 a 25%; sobre esta unidad homogénea el productor ha establecido pasturas distribuidas en 13 unidades espaciales (UNES). El AE13-2 con un área de 0,27 Has, equivale al 4.7% del predio presenta suelos profundos, de textura media, drenaje moderado, la pendiente del terreno está en el rango de 12 a 25% y la cobertura es un cultivo de frijol en atapa de cosecha. El AE13-3 con un área de 2.12 Has, equivale al 37% del área del predio, presenta suelos profundos, de textura media, drenaje rápido y la pendiente del terreno está en el rango de 25 a 50% están dispuestas 11 UNES y la cobertura vegetal son pasturas. El AE13-4 con un área de 0,12Has, equivale al 2.1% del área total del predio presenta suelos profundos, de textura media, drenaje rápido, la pendiente del terreno está en el rango de 25 a 50% y la cobertura vegetal es un cultivo de uchuvas (*Physalis peruvianum*). El AE13-5 con un área de 0.92 Has, equivale al 16% del área total del predio, presenta suelos profundos, de textura media, drenaje rápido, la pendiente del terreno está en el rango de 50 a 75% y la cobertura son pasturas distribuidas en 6 UNES y tecnoestructuras. El AE13-6 con un área de 0.13 Has, equivale al 2.2% del área total del predio presenta suelos profundos, de textura media, drenaje rápido, la pendiente del terreno está en el rango de 50 a 75% y la cobertura es una huerta para autoabastecimiento. El AE13-7 corresponde a un humedal o área conservada mediante cercamiento con cerca eléctrica.

- **Establecimiento de los potreros**

El montaje de las praderas ha sido producto del trabajo acumulado de más de 30 años por parte de la familia. Hace más de 30 años predominaban los pastos naturales o "gramalotales", estos se fueron sustituyendo por pasto kikuyo o Kundo hasta la actualidad donde predomina en el 100% de los potreros del predio. La siembra de semilla asexual se realizó desde aquel entonces y actualmente no se acude a este tipo de prácticas, según el productor la especie es altamente invasiva, tampoco se han implementado prácticas de preparación del suelo ni de renovación de praderas.

- **Manejo de la fertilidad de los potreros**

Las aplicaciones de fertilizantes inorgánicos se realizan al voleo en 100% de área en praderas. La principal formulación utilizada es 40-0-0-6, las aplicaciones por hectárea /año equivalen a 325, 0, 0 Kilos de NPK respectivamente y adicional a esta actividad se aplican 10.7 K de fertilizantes foliares con elementos menores disueltos en 4000L de agua que se aplican con bomba de espalda a razón de 50g/bomba. Por lo general, la frecuencia de las aplicaciones es cada 22 días, un día después del pastoreo de los animales.

- **Manejo fitosanitario de los potreros**

Se realiza aplicación calendario de insecticidas, el producto más común dentro de la estrategia de control químico es el Engeo® Sc., cuyo principio activo es Tiametoxam en rotación con Regent® cuyo principio activo es Fipronil y que actúan por contacto con los insectos y también presenta algunas propiedades sistémicas, a razón de 0.67 L/Ha/año disuelto en 4000L de agua (10ml/bomba). Las aplicaciones se realizan en mezcla con fertilizantes foliares en bomba de espalda con capacidad de 20L y son asperjadas sobre las pasturas un día inmediatamente después del pastoreo. Los insecticidas se aplican de manera preventiva sin monitoreo de las poblaciones de insectos ni de los niveles de daño en la vegetación. Comúnmente otras especies de gramíneas competidoras se erradican de forma manual haciendo uso del "Güinche" como herramienta usual; debido al corto

periodo de descanso de los potreros no se realiza la aplicación de fungicidas ni herbicidas.

- **Mantenimiento de los potreros**

Estas actividades son realizadas por el mismo productor, el mantenimiento consiste en la adecuación de los canales de drenaje en los potreros, el cambio de alambres en las zonas periféricas del predio y en los potreros propiamente, el cuidado de los límites en el humedal y parches de bosques para evitar el ingreso de los animales. Se estima un perímetro cercado con 2200 m de alambre de púas dispuesto en 2 líneas y 1.903 m de cerca eléctrica dispuesta a una línea en la divisoria de potreros. Los estacones de madera se obtienen de árboles localizados dentro del predio y se contratan las labores de aserrío de los postes para luego disponerlos entre sí a 3m de distancia aproximadamente.

- **Productividad y costos de producción**

La productividad bruta de las praderas es 1.0 K/m² y la productividad neta o cantidad de forraje consumido por los animales es 0,3 K/m², por lo anterior, se estima un desperdicio equivalente al 70%. En el costo del manejo de los potreros el mayor peso corresponde a los fertilizantes con el 76.5%, seguido de la mano de obra con el 13%, los insecticidas con el 7.2%, el mantenimiento 3.3% Con base en el cálculo de la productividad el costo de producción/ha/año es $ 1.090.569 mientras que cada Kg de pasto consumido por los animales cuesta $22.

- **Manejo del bosque y áreas de protección**

El humedal o zona de protección se mantiene aislado de las áreas productivas por medio del uso de cercas que se encontraron en malas condiciones pues estas no impiden el ingreso de los animales, a simple vista los animales pastorean dentro del área que interesa proteger; se hace aprovechamiento de algunos árboles y arbustos para obtener estacones que sirven para los cercos y construcciones.

- **Manejo de los animales**

Representa la mitad del tiempo que invierte el productor en el predio. Las actividades relacionadas con el manejo son el cuidado de terneras que consumen 4L/leche/día durante 3 meses, su traslado entre potreros, el suministro de agua, sal y suplementos alimenticios, prevención y tratamiento de enfermedades y las labores de ordeño. La modalidad de ordeño es manual, el productor se desplaza diariamente hacia los potreros donde se encuentran los animales y allí se realiza la actividad. El suplemento alimenticio equivale en promedio a 1 Kg/animal/día y 48 Kg de pasto/día. Los medicamentos más utilizados son las vacunas de carácter obligatorio como aftosa y brúcela, los kit de secado y diagnóstico mastitis como también algunos variables como antibióticos, desparasitarios y vitaminas.

- **Determinación de la Receptividad Tecnológica.**

El predio La Cañada de los Gil presenta restricciones por condiciones de humedad ambiental, al igual que los demás predios involucrados en el estudio, pertenece a una región muy húmeda y le corresponde un índice de 0.125. Se diferenciaron tres unidades biogeoestructurales (UNBIS) y se delimitaron principalmente por el rango de pendientes ya que en términos generales los suelos son de textura media, profundos y con drenaje moderado a rápido. La tabla 9 presenta la caracterización de las variables determinantes en la diferenciación de las UNBIS.

Tabla 9. Unidades biogeoestructurales (UNBIS) caracterizadas en el predio La Cañada de los Gil.

UNBIS Código	Área (Has)	%	Pendiente (%)	Textura	Profundidad	Hidromorfismo	UNES
13Cb-bc/d	1.91	36.7	12-25%	Media	Profundo	Drenaje moderado	Potreros1,2,3,4,6,7,8,10,11.12,13. Huerta
13Cb-bc/e	2.24	43.1	25-50%	Media	Profundo	Drenaje rápido	Potreros 1 al 7; 14,15 y 16.

Tabla 9. (Continuación)

UNBIS Código	Área (Has)	%	Pendiente (%)	Textura	Profundidad	Hidromorfismo	UNES
13Cb-bc/e	2.24	43.1	25-50%	Media	Profundo	Drenaje rápido	Cultivo de Uchuva
13Cb-bc/f	2.04	20.1	50-75%	Media	Profundo	Drenaje rápido	Potreros 10, 17 al 19; Terneril, huerta

El producto de los índices de humedad, de pendiente y de sitio determinó la categoría de Máxima Restricción en cada una de las UNBIS con un valor de índice de 0.016, 0.008 y 0.004 para las UNBIS 013Cb-bc/d, 013Cb-bc/e y 013Cb-bc/f respectivamente. La UNBI 013Cb-bc/e se caracteriza por presentar suelos profundos, de textura media, pendientes predominantes entre 25 y 50% y con 43.1% del área total del predio ocupa la mayor parte del mismo. Como resultado el valor del IRT a nivel predial fue de 0,010 en la categoría de Máxima Restricción de acuerdo con la tabla 10. Del mismo modo se determinó el IRT para cada uno de los 9 predios restantes dentro de la tipología 1.

Tabla 10. Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica (IRT) para el predio La Cañada de los Gil en el municipio de Santa Rosa de Osos – Antioquia

UNBI	Índice de humedad	Índice de Pendiente	Índice de suelo	Índice R.T.	Categoría de R.T.	Índice de Área	I.R.T.
13Cb-bc/d	0,125	0,1250	1,000	0,016	Máxima restricción	0,427	0,007
13Cb-bc/e	0,125	0,0625	1,000	0,008	Máxima restricción	0,391	0,003
13Cb-bc/f	0,125	0,0312	1,000	0,004	Máxima restricción	0,182	0,010
Predio					Máxima restricción	0,999	0,010

- **Determinación de la Intensidad Tecnológica.**

El manejo de los pastos se hace con pocas bases científicas, el plan de fertilización no contempla el análisis de la fertilidad de los suelos, ni renovación de los potreros; en términos productivos no se realizan prácticas que tiendan a mejorar los rendimientos. La implementación de la estrategia química para el control de artrópodos no considera el monitoreo y evaluación de las poblaciones de artrópodos y microorganismos. La zona de conservación no cuenta con buen mantenimiento lo cual contribuye con la degradación de áreas clave en la regulación del agua. En consecuencia, el SMA implementado se define como tradicional pudiendo causar degradación de los agroecosistemas. La tabla 11 presenta las categorías de RT para cada UNBI y las coberturas con su respectivo SMA de donde se obtiene el índice de intensidad tecnológica (IIT).

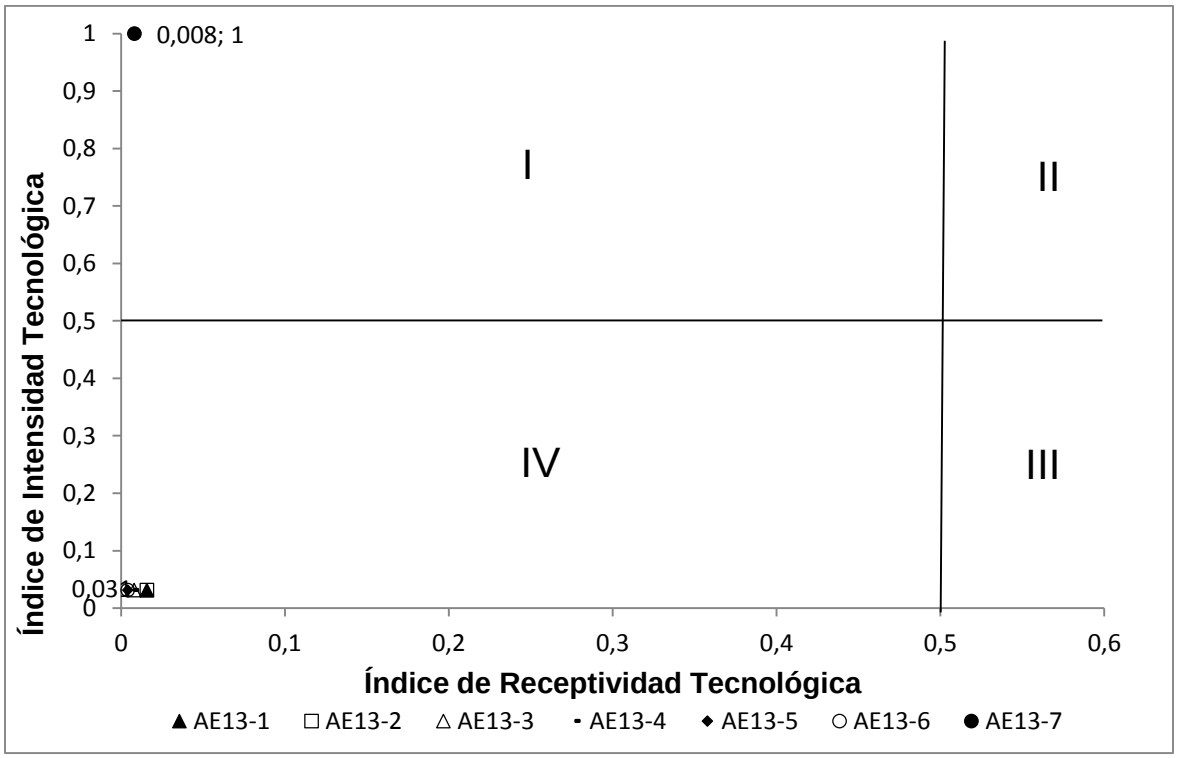
Tabla 11. Determinación del Índice de Intensidad Tecnológica (IIT) para el Predio La Cañada de los Gil

UNBI	Categoría de RT	Cobertura	SMA	Índice de I.T.	Categoría de I.T.	Índice de Área	I.I.T.
013Cb-bc/d	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,271	0,008
		Humedal	T	0,031	Inadecuada	0,094	0,003
		Huerta	T	0,031	Inadecuada	0,071	0,002
013Cb-bc/e	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,373	0,012
		Cultivo Uchuva	A	1,000	Adecuada	0,023	0,023
013Cb-bc/f	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,162	0,005
		Huerta	T	0,031	Inadecuada	0,007	0,000
Predio					Inadecuada	0,9999	0,0530

Sobre las UNBIS diferenciadas en el predio La Cañada de los Gil, se manejan los pastos como principal cobertura a la cual se la aplica un SMA tradicional. La UNBI 013Cb-bc/e,

además de caracterizarse por la presencia de los pastos también tiene asociada una parcela con cultivo de Uchuva que se maneja con base en criterios técnicos de revolución verde que van desde la preparación y análisis de suelos, pasando por las prácticas agronómicas que se apoyan en la asistencia técnica por parte de las Unidades de Asistencia Técnica del Municipio, hasta llegar a la comercialización; de esta manera el SMA que se la aplica a este cultivo es avanzado y adecuado para las condiciones de RT de la UNBI en la que se localiza.

Se determinaron 7 AES con baja RT o capacidad de acogida tecnológica y con un grado de artificialización que tiende a degradarlos, estos se definieron como AE13-1, AE13-2, AE13-3, AE13-4, AE13-5, AE13-6. El cultivo de Uchuvas AE013-7 constituye un agroecosistema igualmente con baja RT y con la aplicación SMA Avanzado lo que representa la máxima intensidad que puede recibir sin degradarlo. El cuadro 7 presenta los resultados previamente descritos.



Cuadro 7. Espacio de evaluación y análisis de los agroecosistemas del predio La Cañada de los Gil.

- **Determinación del índice de mano de obra**

En consideración del tiempo de trabajo y la distribución de las actividades en los AES, se determinó el IMO con base en la información resumida en la tabla 12.

Tabla 12. Determinación del Índice de Mano de Obra (IMO) para el manejo de los AES en el predio La Cañada de los Gil.

Área Total en Manejo (Has)	Número de trabajadores	Área / # de trabajadores (Has / Trabajador)	I.M.O	Categoría
4.48	0.125	35.84	0.125	Extensivo

- **Determinación del índice de diversidad**

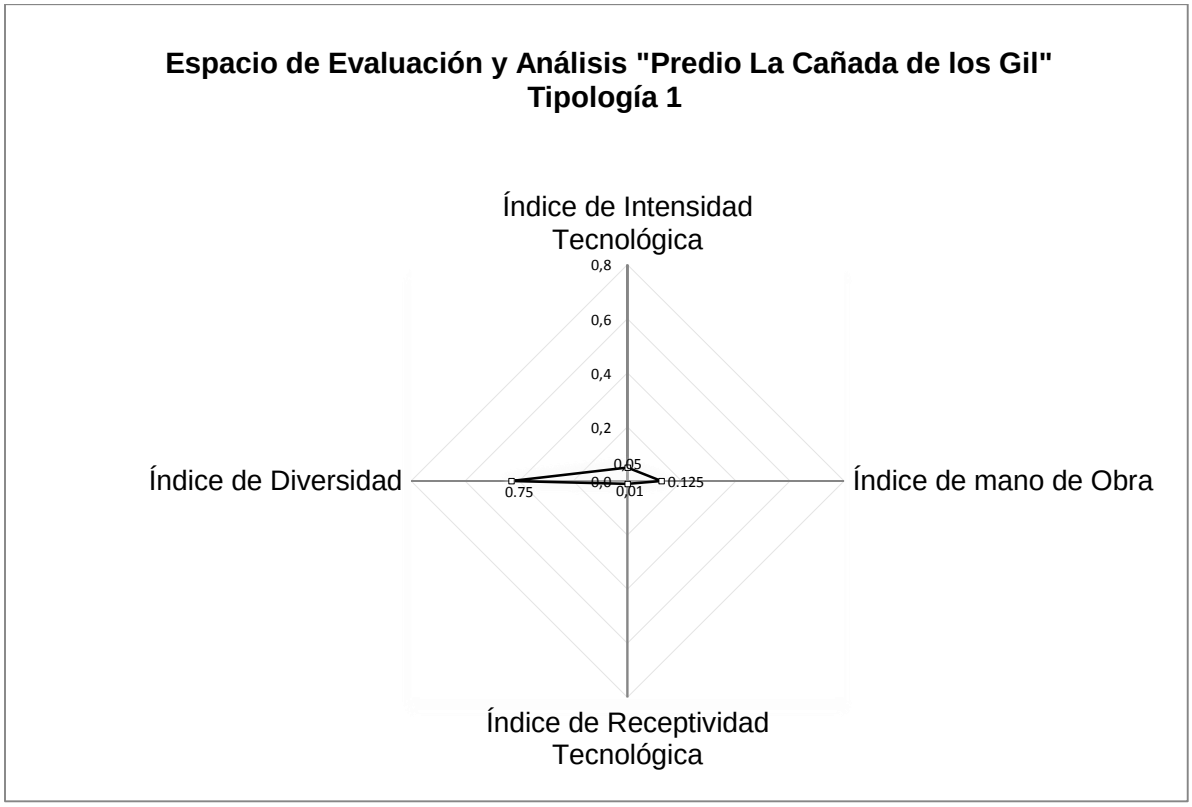
Se caracterizaron 7 AES dentro del predio La Cañada de los Giles, los usos y las coberturas existentes en el predio son el cultivo del pasto kikuyo asociado a la producción de leche, la producción de alimentos para el autoabastecimiento familiar y la producción de frutales que se comercializan y aporta ingresos a la familia. La tabla 13 presenta el índice de diversidad para el predio La Cañada de los Giles a partir del número de coberturas en el predio y los AES determinados a partir del análisis predial.

Tabla 13. Determinación del Índice de diversidad del predio La Cañada de los Gil

Coberturas	Número de AES	Índice de Diversidad	Categoría
3	7	0.43	Media

Los cuatro índices determinados se integraron en un espacio de análisis en el cual se indica que bajo las condiciones actuales el predio presenta las mayores limitaciones para recibir a tecnología principalmente por las condiciones de pendiente y humedad ambiental. El SMA Tradicional no resulta adecuado para las restricciones biofísicas que presenta el predio por lo que en términos productivos su tendencia es a degradarse. El SMA avanzado en el agroecosistema asociado con la producción de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) resulta ser el más recomendado para evitar su degradación. La

concentración del trabajo en un solo trabajador es característica de esta tipología de predios, sin embargo, se aprecia que se intensifica en las actividades que tienen que ver con los animales en contraste con la mano de obra dedicada al manejo de los AES. Los aportes de fuerza de trabajo por parte de las familias resulta clave en el funcionamiento del predio. La determinación de 3 tipos de coberturas vegetales y 4 AES definen al predio como diverso, lo que le resta rigidez y lo hace más flexible frente a afectaciones directas sobre el sistema de producción de leche. La gráfica 7 relaciona las 4 variables que determinan la condición del predio La Cañada de los Giles.

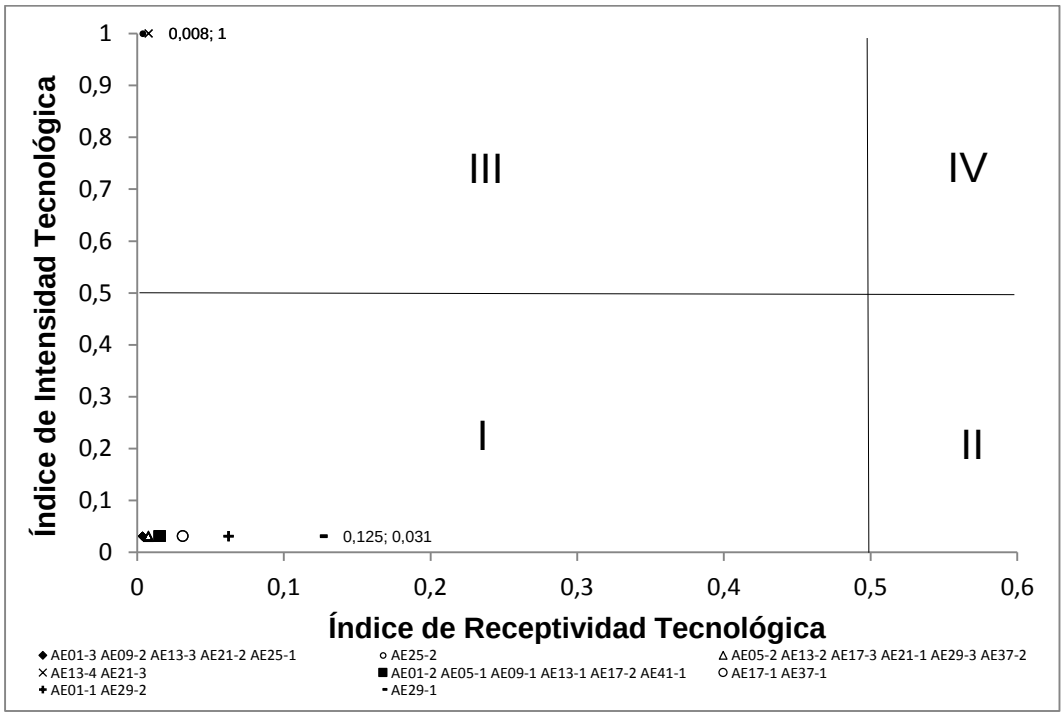


Cuadro 8. Integración de las variables de estado del predio La Cañada de los Gil

- **Estado de los Agroecosistemas en los predios de la tipología 1**

De la misma forma que se presentó el estudio de caso anterior, los AES de los 10 predios correspondientes a la tipología 1 fueron caracterizados y evaluados. Esta tipología presentó un total de 30 AES cuya característica principal son las condiciones de baja RT. En 22 de estos AES, es decir en el 90%, se aplica una intensidad tecnológica

inadecuada, mientras que en los AES 013-4, 012-2 y 025-3 (10%) la intensidad tecnológica es adecuada. En la gráfica 8 se representan los AES caracterizados para la tipología 1.



Cuadro 9. Espacio de evaluación y análisis de 30 AES en predios de la tipología 1.

El cálculo del IMO y el ID en los predios restantes permitió realizar la evaluación y análisis de los AES a nivel predial. La tabla 14 resume el cálculo de los 4 índices determinantes en la evaluación y análisis a nivel predial.

Tabla 14. Determinación del estado de los predios de la tipología 1.

Predio	Índice de Receptividad Tecnológica	Índice de Intensidad Tecnológica	Índice de Mano de Obra	Índice de Diversidad
La Cabañita	0,015	0,036	0,125	0,333
La Floresta	0,013	0,031	1,000	0,500
La Palma	0,008	0,031	0,125	0,500
La Cañada de los Gil	0,010	0,051	0,125	0,500
Villa Sinsonte	0,014	0,215	0,063	0,333
La Angostura	0,007	0,134	0,063	0,333

Tabla 14. (Continuación)

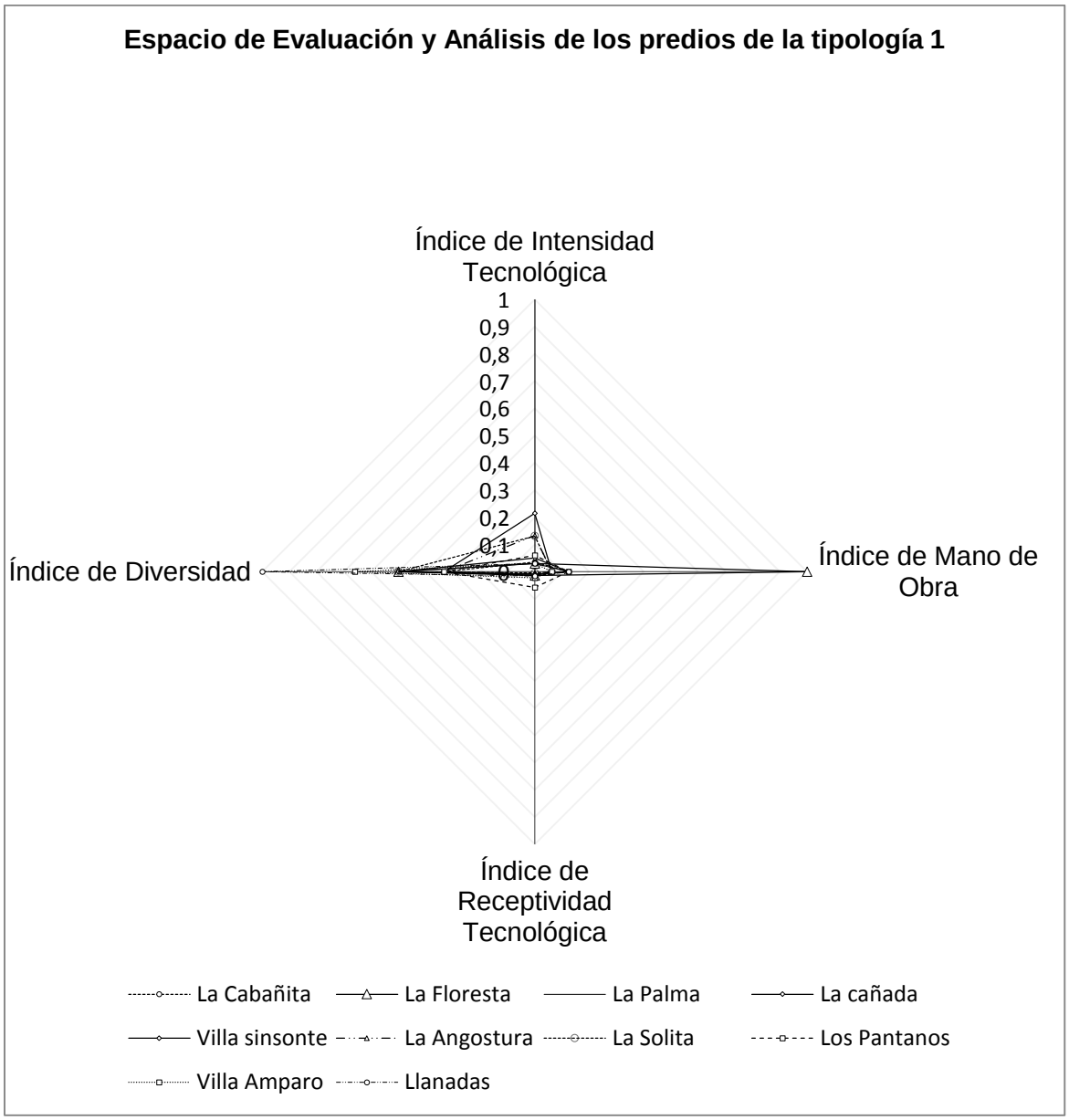
Predio	Índice de Receptividad Tecnológica	Índice de Intensidad Tecnológica	Índice de Mano de Obra	Índice de Diversidad
La Solita	0,004	0,131	0,063	0,500
Los Pantanos	0,057	0,061	0,125	0,333
Villa Amparo	0,022	0,032	0,063	1,000
Llanadas	0,016	0,031	0,125	1,000

El predio La Solita localizado en la unidad geomorfológica Colinas Medias del municipio de Donmatías, el predio La Angostura localizado en la unidad geomorfológica Colinas bajas en el municipio de Belmira y el predio La Palma localizado en las unidad geomorfológica Colinas bajas del municipio de San Pedro de los Milagros presentaron los valores de IRT más bajos. Pese a condiciones favorables de profundidad, textura e hidromorfismo en los suelos y la similitud de condiciones ecológicas con respecto a los demás predios, La Solita se caracteriza por que el 93.4% de su área está dedicada al pastoreo de animales, todo el terreno presenta valores de pendientes mayores del 50%. En el mismo rango de pendientes La Palma presenta 66.2% del área en pastoreo y La Angostura el 26.8% y el su área restante con 70,3% del área en pastoreo ubicada en pendientes cercanas al 50% lo cual es relevante en la estimación del IRT. Este análisis permite afirmar que la pendiente es la variable que afecta en mayor medida la capacidad de acogida tecnológica y por lo tanto permite determinar la vulnerabilidad biofísica de los AES en los predios. A pesar de que el tamaño del predio Los Pantanos es uno de los menores, su IRT es mayor que en el resto de los predios de la tipología 1, esto guarda relación con la presencia de bajas pendientes, entre 0 y 7% en el 21.5% de su superficie.

Con respecto al índice de Intensidad Tecnológica los predios Villa Sinsonte, La Angostura y La Solita obtuvieron los mayores valores, aunque distan de ser los valores óptimos que representen las mejores prácticas para el manejo y la conservación de los AES. Una característica es que en estos predios se realiza pastoreo extensivo, de baja inversión energética y económica, las aplicaciones de fertilizantes y plaguicidas son escasas y nulas en algunas épocas del año; al ganado se le suministran bajas cantidades de concentrado y los sistemas de manejo de tipo primitivo aplicados a los

bosques y humedales resultan adecuados para las condiciones de receptividad tecnológica que presentan

El predio La Floresta presenta el mayor índice de mano de obra puesto que allí se realizan actividades en 3 frentes: La lechería que implica el cuidado de los pastos con base en el riego de porquinaza principalmente y de las vacas, también los cuidados a las cerdas de cría y el levante y venta de cerditos. Es el único predio en esta tipología que cuenta con sala de ordeño por lo que esta actividad se hace de manera eficiente y el propietario y la familia se pueden concentrar en varios oficios en un predio con 1.1Has.
El mayor valor del índice de diversidad se le asignó a los predios Villa Amparo, Llanadas II y La Floresta ya que los usos del predio son equivalentes al número de AES delimitados, lo que les confiere la categoría de diversos; mientras que los predios restantes se caracterizan por presentar varios AES y relacionados únicamente con la actividad lechera. En la gráfica 10 se representan los 10 predios de la tipología 1 evaluados mediante el uso de los índices: IRT, IIT, IMO e ID.



Cuadro 10. Representación del estado de los predios de la tipología 1.

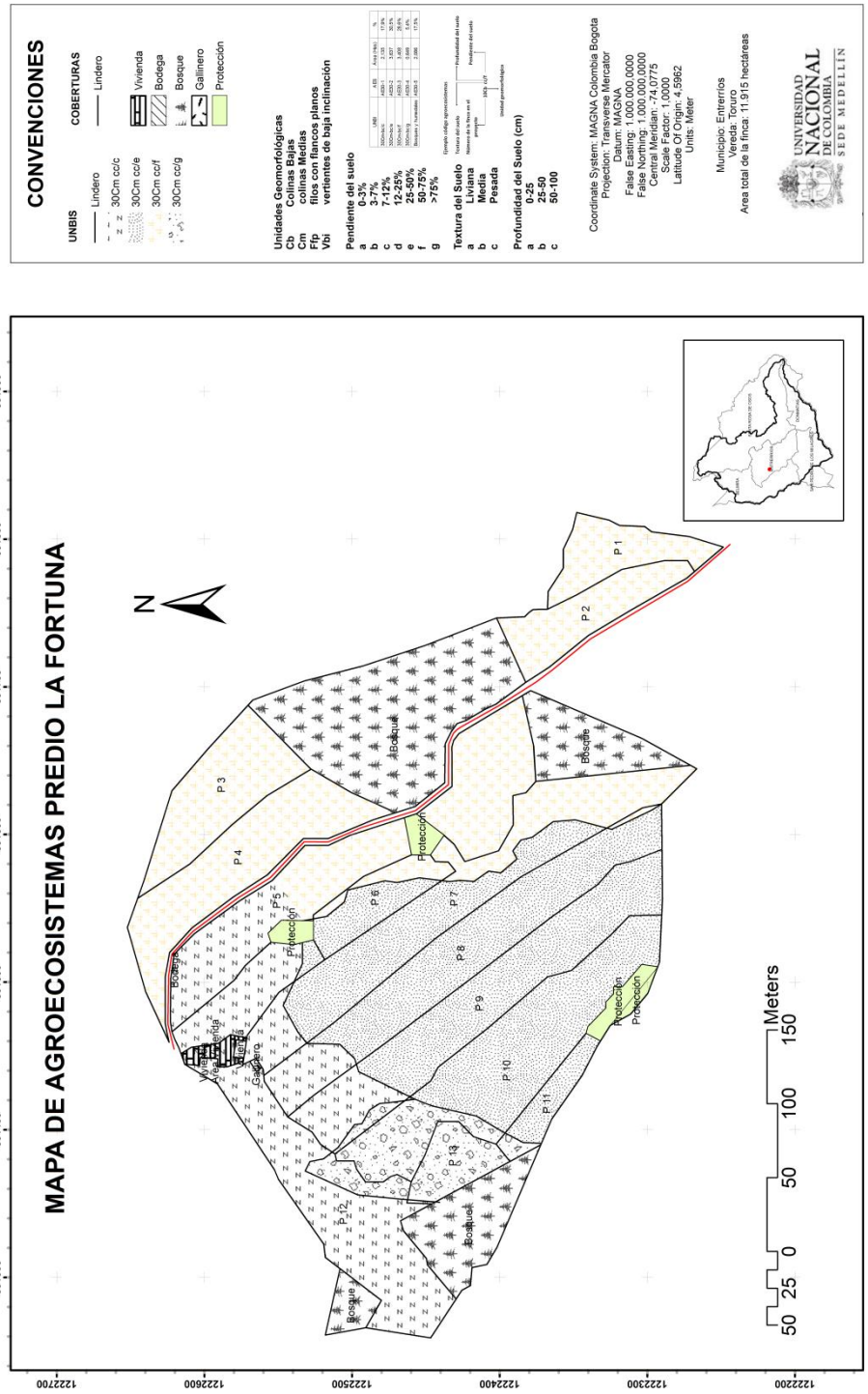
3.3.2 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 2. Productores con más de 15 vacas hasta 30.Estudio de caso: Predio La Fortuna

- **Estructura, Administración y Manejo**

El predio La Fortuna se localiza en la vereda Toruro del municipio de Entrerríos, la familia propietaria está conformada por 5 miembros de los cuales sólo uno de ellos vive allí en compañía de otra familia contratada para realizar las labores cotidianas de manejo. El resto de los propietarios viven en la cabecera municipal y frecuentan semanalmente el predio. Como parte de una herencia familiar se estima que hace aproximadamente 20 años cuentan con la propiedad que tiene una extensión de 11.9 Has., de las cuales 8.78 has (73.8%) están dedicadas a la producción de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst Ex chiov), 2.1 Has (17.6%) de bosque, 0.17 Has (1.4%) en humedales y 0.86 Has (7.2%) en construcciones y carreteras. El área total se encuentra dividida en 20 UNES distribuídas de la siguiente manera: 13 potreros, 3 parches de bosques, 1 plantación de pino (*Pinus patula*) y 3 humedales donde aflora el agua que se utiliza en el predio.

El propósito de uso de los potreros es el sostenimiento de 35 animales que ocupan toda la capacidad del predio, de estos, 27 conforman el hato lechero, 5 vacas horras y 3 terneras en etapa de levante. Las vacas en producción y las horras pastorean juntas en los potreros 1 al 12 lo cual determina una carga de 3.7 vacas/Ha., mientras que las terneras ocupan el potrero 13 que es el más inclinado del predio y una carga de 14.3 terneras/Ha. El periodo de descanso de los potreros es de 30 días para un total de 12 rotaciones año. Un potrero se subdivide en secciones de aproximadamente 1200m².

La mano de obra en las actividades del predio involucra a un trabajador quien es apoyado por su esposa en la higiene de equipos y en el ordeño bajo la modalidad mecánico portátil; el propietario, quien ejerce funciones administrativas, participa en la fumigación de los potreros y mantenimiento de linderos y carreteras, lo cual indica que el predio requiere de 2 trabajadores para su operación, 75% del tiempo en labores de ordeño y 25% en mantenimiento y manejo de los potreros. La figura 2 es la representación espacial de la estructura del predio La Fortuna.


MAPA DE AGROECOSISTEMAS PREDIO LA FORTUNA
CONVENCIONES
UNBIS
Lindero
30Cm cc/c
30Cm cc/e
30Cm cc/f
30Cm cc/g
COBERTURAS
Lindero
Vivienda
Bodega
Bosque
Gallinero
Protección
Unidades Geomorfológicas
Cb Colinas Bajas
Cm colinas Medias
Cflp filos con flancos planos
Vbi vertientes de baja inclinación
Pendiente del suelo
a 0-3%
b 3-7%
c 7-12%
d 12-25%
e 25-50%
f 50-75%
g >75%
Textura del Suelo
a Liviana
b Media
c Pesada
Profundidad del Suelo (cm)
a 0-25
b 25-50
c 50-100
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter
Municipio: Entrerrios
Vereda: Tarqui
Area total de la finca: 11,915 hectáreas
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
N
Meters
50 25 0 50 100 150
P 1
P 2
P 3
P 4
P 5
P 6
P 7
P 8
P 9
P 10
P 11
P 12
P 13
Bosque
Bodega
Vivienda
Area Cultivada
Gallinero
Protección
831300
831400
831500
831600
831700
831800
831900
1222700
1222600
1222500
1222400
1222300
1222200

- **Mapificación de las variables biofísicas y socioeconómicas**

Las texturas en el mapa representan los AES y se interpretan como la espacialización e integración de las variables biofísicas (pendiente, profundidad, textura, hidromorfismo) que delimitan las 4 UNBIS identificadas en el predio, en las cuales la pendiente del terreno fue la principal variable diferenciadora y las variables de tipo socio económico que se subdivididen en el factor de manejo y el factor productivo.

En este caso el predio corresponde al número 30 en la lista de 44 unidades de análisis, está localizado en la unidad geomorfológica Colinas medias (Cm). La UNBI codificada como 30Cm bc/c con área equivalente a 2.13 Has, 21.7% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 7 a 12%; sobre esta unidad homogénea el productor ha dispuesto 6 de 13 unidades espaciales (UNES) cuya cobertura principal son las pasturas. La UNBI codificada como 30Cm bc/e con un área de 3.64 Has, el 37% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 25 a 50% están dispuestas 6 UNES y su cobertura vegetal son pasturas. La UNBI codificada como 30Cm bc/f comprende un área de 3.40 has, equivalente al 34.7% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 50 a 75%, están dispuestas 3 UNES cuya cobertura es pastura. Finalmente la UNBI codificada como 30Cm bc/g comprende un área de 0.65Has el 6.6% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno es mayor del 75%, están dispuestas de manera parcial 4 UNES cuya cobertura son pasturas.

- **Establecimiento de los potreros**

Hace un poco más de 20 años el predio estaba muy enrastrojado, predominaban los helechales, las gramas y otros pastos naturales. En algún tiempo se implementaron cultivos de papa para abrirle paso al pasto kikuyo que hoy predomina como cobertura principal. En un comienzo se sembraron estolones de pasto y desde entonces ha permanecido esta cobertura; por las condiciones topográficas no se han realizado

labores de mecanización de los suelos para su establecimiento, ni renovación de praderas.

- **Manejo de la fertilización de los potreros**

Las aplicaciones de fertilizantes se realizan al voleo en todos los potreros. Entre diversas formulaciones se acostumbra utilizar 28-4-0-6. Las aplicaciones por hectárea /año equivalen a 581, 83, 0 Kilos de NPK respectivamente. Por lo general, la frecuencia de las aplicaciones es cada 30 días, cuatro o cinco días después del pastoreo de los animales lo cual demanda 5.4 jornales/Ha/año. No se acostumbra realizar análisis de fertilidad para planificar el manejo de la fertilización y casi nunca se realiza aplicación de cal.

- **Manejo fitosanitario de las praderas**

De manera habitual, después del pastoreo de los animales se esperan 10 días aproximadamente, hasta que el pasto presente buen desarrollo y se aplican productos como Regent® cuyo principio activo es Fipronil rotado con Engeo® cuyo principio activo es Tiametoxam que actúan por contacto con los insectos y también presentan algunas propiedades sistémicas. Estas aspersiones se hacen con bomba estacionaria y se programan con base en calendario de aplicaciones a razón de 2.73 L/Ha/año disuelto en 3.500L de agua. Es necesaria la participación de dos personas para una ágil operación de los equipos de aspersión, esta labor se realiza entre operario y administrador y demanda 2.73 Jornales/Ha/año. Las aplicaciones son de tipo preventivo ya que no se realiza monitoreo de las poblaciones de insectos ni de los niveles de daño en la vegetación. Comúnmente otras especies de gramíneas competidoras se erradican de forma manual haciendo uso del “Güinche” y no se realiza la aplicación de fungicidas ni de herbicidas.

- **Mantenimiento de los potreros**

Comúnmente el propietario se encarga de coordinar y ejecutar las actividades de mantenimiento, estas consisten en la adecuación de los canales de drenaje en los

potreros, el cambio de alambres en las zonas periféricas del predio y en los potreros propiamente, el cuidado de los límites en los humedales y bosques para evitar el ingreso de los animales. Se estiman 6.300m lineales de alambre de púa en el perímetro y 3.462 m. lineales de cerca eléctrica usados en la divisoria de potreros. Los estacones de madera se obtienen de una plantación de pino (*Pinus patula*) y se contratan las labores de aserrío y ubicación de los postes a tres metros (3m) de distancia. Las labores de mantenimiento y desyerbas demandan 4 Jornales/Ha/año.

- **Productividad y costos de producción**

La productividad bruta de las praderas es 2.07 K/m² y la productividad neta o cantidad de forraje consumido por los animales es 0.39 K/m², por lo anterior se estima un desperdicio del 81%. Los costos de producción en los potreros se distribuyen de la siguiente manera: fertilizantes 73.6%, mano de obra 12.4%, insecticidas con el 11.2% y mantenimiento 2.8%. Con base en el cálculo de la productividad el costo de producción/ha/año es $ 3.021.113 mientras que cada K de pasto consumido por los animales cuesta $65.

- **Manejo del bosque y áreas de protección**

Los bosques permanecen aislados de las áreas productivas por medio del uso de cercas en buenas condiciones las cuales evitan el ingreso de los animales; el principal uso del bosque es la protección de las fuentes de agua. No se aprovechan recursos maderables del bosque ya que se cuanta con una plantación de pino de la cual estos. Hay varios puntos de afloramiento de agua y se tienen cercados con alambre y se favorece el crecimiento de arbustos nativos para su protección

- **Manejo de los animales**

Desde el nacimiento de los animales hay cuidados como la atención de partos, el suministro de leche después de la primera semana y el pastoreo, generalmente en lugares cercanos a la casa. Las terneras consumen leche durante los primeros 4 meses a razón de 4L/día. Los animales de levante van a la par con las vacas en producción y se

les suministra 1K de concentrado. La modalidad de ordeño es mecánico portátil, bajo este tipo de ordeño el operario se desplaza hasta el lugar donde pastorean las vacas y allí instala un toldo donde se les suministra el suplemento nutricional y se ordeña propiamente. Esta actividad demanda el 75% del tiempo de un trabajador ya que se realizan 2 ordeños/día cada uno con una duración de 3 horas. De acuerdo con el cálculo de productividad cada vaca consume 35K /pasto/día, es suplementadas con 4.26 K y 100g de sal.

- **Determinación de la Receptividad Tecnológica**

El predio La Fortuna presenta restricciones de RT por las condiciones de humedad ambiental al igual que todos los predios en el área de estudio, la región es muy húmeda y le corresponde un índice de 0.125. Se diferenciaron 4 UNBIS con suelos de textura media, profundos y con drenaje moderado a rápido, pero con diferentes rangos de pendientes que resultaron determinantes en el establecimiento de sus límites. La tabla 15 presenta la caracterización de las variables que determinan la diferenciación de las UNBIS en el predio La Fortuna.

Tabla 15. UNBIS caracterizadas en el predio La Fortuna

Código	Área (Has)	%	Pendiente (%)	Textura	Profundidad	Hidromorfismo	UNES
30Cm-bc/c	2.13	21.7	7 – 12%	Media	Profundo	Drenaje moderado	Potreros 5 al 9 y potrero 12
30Cm-bc/e	3.64	37	25 -50%	Media	Profundo	Drenaje rápido	Potreros 6 al 11
30Cm-bc/f	3.4	34.7	50 – 75%	Media	Profundo	Drenaje rápido	Potreros 1 al 7
30Cm-bc/g	0.65	6.6	>75%	Media	Profundo	Drenaje rápido	Potreros 10 al 13

El producto de los índices de humedad, de pendiente y de sitio determinó la categoría de *Máxima Restricción* en cada una de las UNBIS y con un IRT predial de 0,00026 donde el mayor peso en la determinación lo tuvieron las UNBIS 030Cm-bc/e y 030Cm-bc/f caracterizadas por presentar suelos profundos de textura media y pendientes

predominantes entre 25 y 50% y mayores a 50% respectivamente, ocupando el 37 y 34% del área total del predio. La tabla 16 presenta los valores de cada uno de los índices que originaron el valor del IRT y su respectiva categoría. Del mismo modo se determinó el IRT para cada uno de los 10 predios restantes dentro de la tipología 2.

Tabla 16. Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica para el predio La Fortuna.

UNBI	Índice de humedad	Índice de Pendiente	Índice de suelo	Índice de R.T.	Categoría de R.T.	Índice de Área	R.T. Predial
30Cm-bc/c	0,125	0,2500	1,000	0,031	Máxima restricción	0,217	0,007
30Cm-bc/e	0,125	0,125	1,000	0,016	Máxima restricción	0,370	0,006
30Cm-bc/f	0,125	0,03	1,00	0,004	Máxima restricción	0,347	0,013
30Cm-bc/g	0,125	0,03	1,00	0,004	Máxima restricción	0,066	0,00026
Predio					Máxima restricción	1,000	0,00026

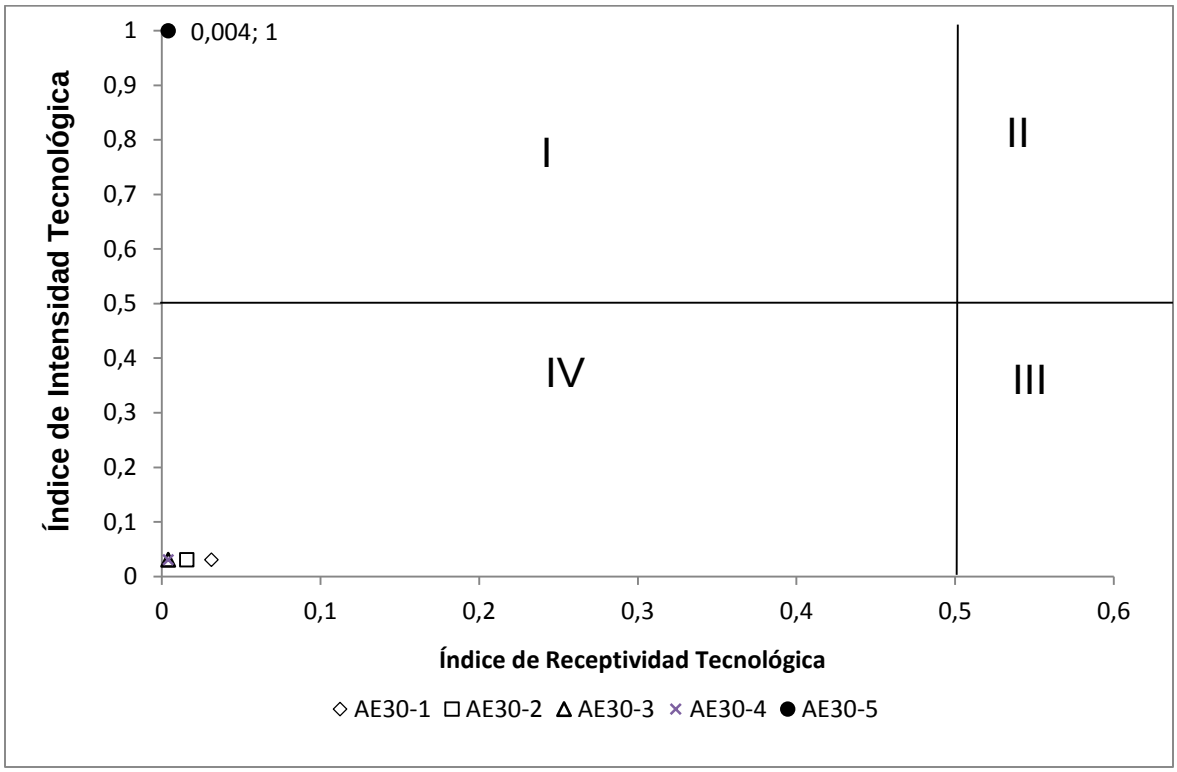
- **Determinación de la Intensidad Tecnológica**

En general, a todos los potreros del predio se les aplica un SMA tradicional dadas las condiciones ya descritas, lo que resulta inadecuado para la categoría de RT de Máxima restricción. Los parches de bosques y humedales se manejan con un SMA primitivo que resulta adecuado para la categoría de RT del predio. Los usos que tienen que ver con el manejo del hato y acopio de productos ocupan áreas reducidas dentro del predio, sin embargo, se considera que son SMA avanzados y adecuados para las condiciones de RT. La tabla 17 presenta los componentes que determinan el IIT.

Tabla 17. Cálculo del Índice de Intensidad Tecnológica para el Predio La Fortuna

UNBI	Categoría de RT	Cobertura	SMA	Índice de I.T.	Categoría de IT	Índice de Área	I.T. Predial
030Cm-bc/c	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,1741	0,0054
030Cm-bc/e	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,3025	0,0094
		Humedal	P	1	Adecuada	0,0084	0,0084
030Cm-bc/f	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,2857	0,0089
		Humedal	P	1	Adecuada	0,0062	0,0062
		Bosque	P	1	Adecuada	0,1681	0,1681
030Cm-bc/g	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,0538	0,0017
Predio					Extensiva	0,9988	0,2080

En un espacio coordenado se integraron los valores del IRT y del IIT para representar los agroecosistemas del predio La Fortuna. Estos se ubicaron en el cuadrante IV, como se muestra en la cuadro 11, donde la capacidad de acogida tecnológica es muy restringida y el grado de artificialización ejercido sobre los AES bajo estas condiciones le pone en riesgo de degradación.



Cuadro 11. Espacio de Evaluación y Análisis de los AES del predio La Fortuna

- **Determinación del Índice de Mano de Obra (I.M.O.)**

En consideración del tiempo de trabajo en el predio y la distribución de las actividades, se determinó el valor del IMO y su respectiva categoría para el manejo de los AES con base en la relación que se presenta en la tabla 18.

Tabla 18. Determinación del IMO para el manejo de los agroecosistemas

Área Total en Manejo (Has)	Número de trabajadores	Área / # de trabajadores	I.M.O	Categoría
8.78	0.5	17.56	0,25	Intensidad Media

- **Determinación del Índice de Diversidad**

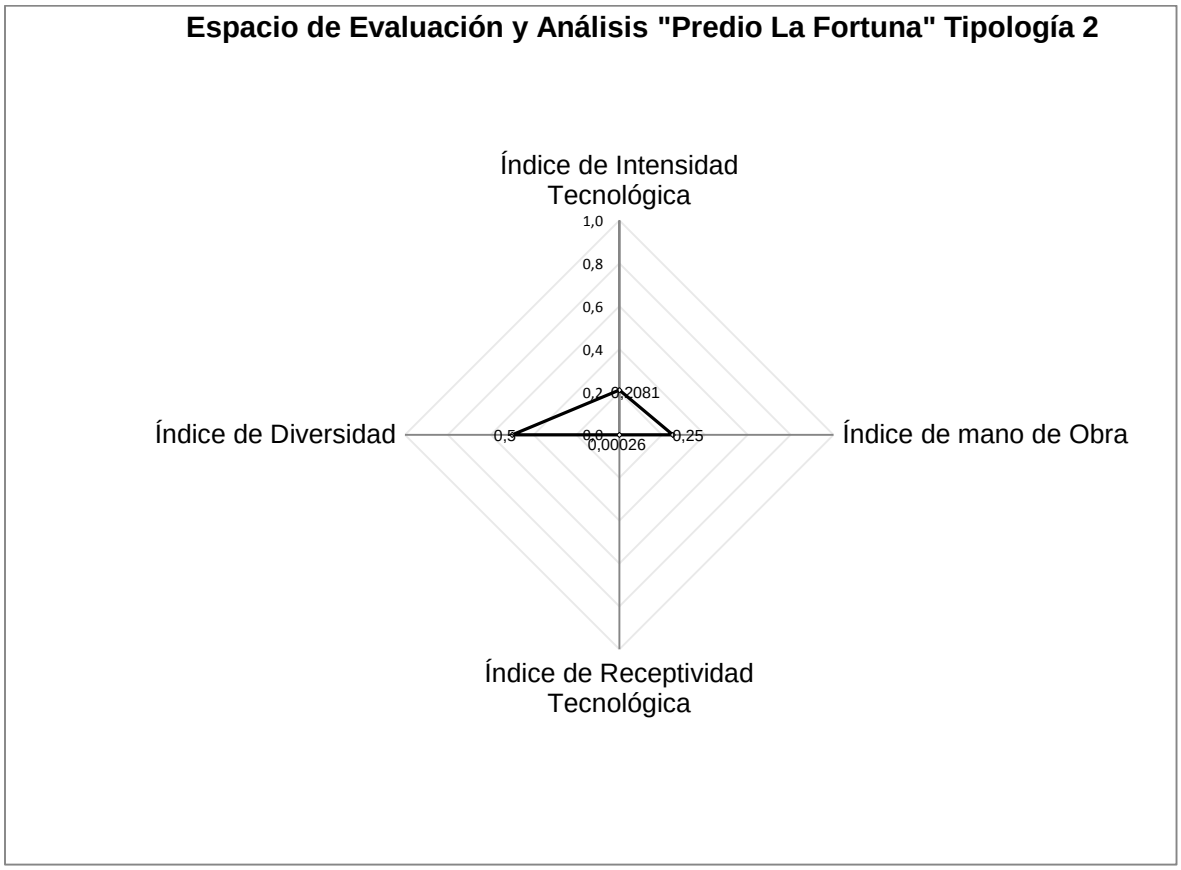
Teniendo en cuenta que se caracterizaron 4 AES y que el uso único de la tierra son el cultivo del pasto kikuyo asociado a la producción de leche se determinó el índice de diversidad. La tabla 19 presenta el cálculo del índice de diversidad para el predio La

Fortuna a partir del número de coberturas vegetales y los AES determinados a partir del análisis predial.

Tabla 19. Índice de diversidad del predio La Fortuna

Coberturas	Número de AES	# Usos / #AES	I.D.	Categoría
2	4	0.50	0.50	Diversidad media

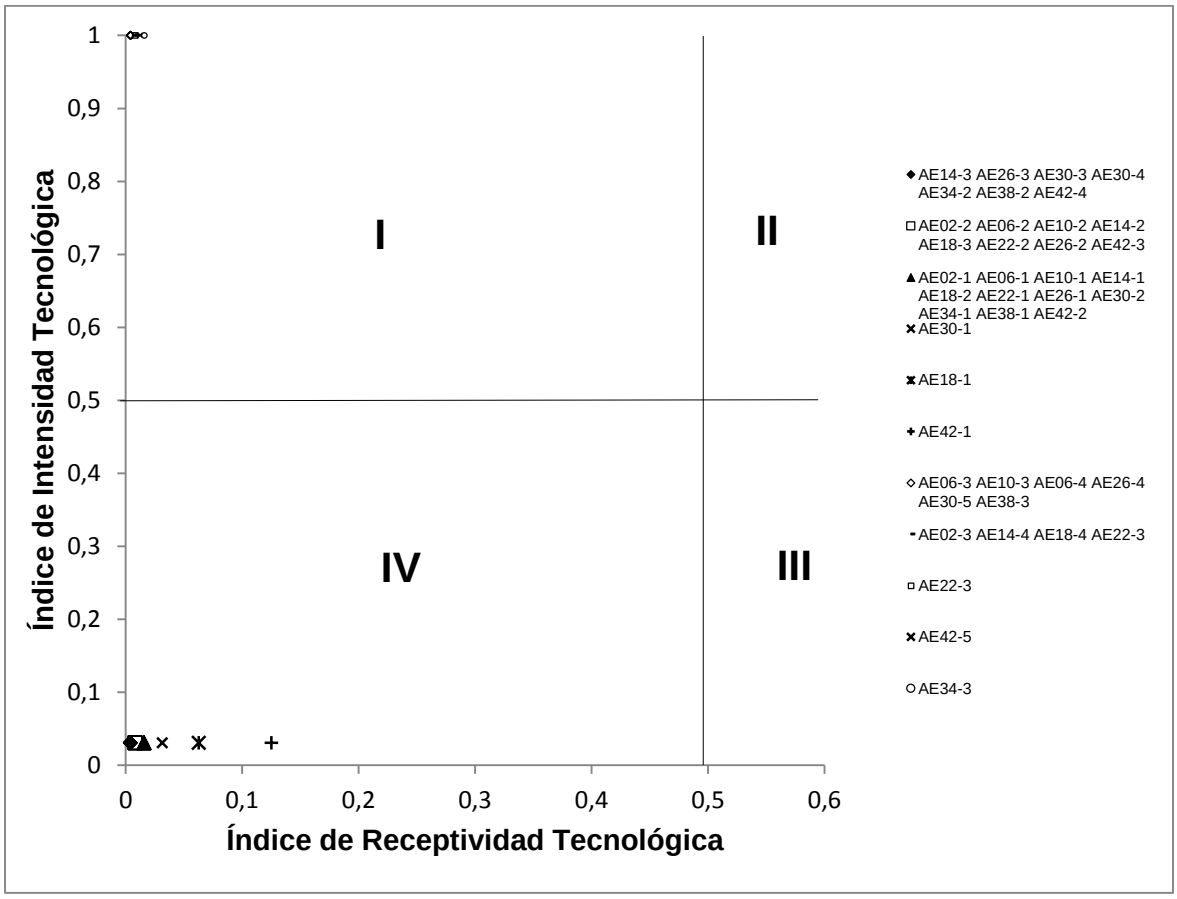
El predio presenta las mayores limitaciones para recibir tecnología principalmente por las condiciones de pendiente y humedad ambiental. El SMA implementado a nivel de las praderas no resulta adecuado para las restricciones biofísicas que presenta el predio por lo que en términos productivos su tendencia es a degradarse. La categoría de intensidad media en el uso de la mano de obra en el manejo de los potreros tiene relación con la operación a la capacidad total del predio, la baja eficiencia en la producción de forraje y en la ineficiencia del consumo por parte de los animales. Esto denota escasos cuidados de la cobertura, que se reflejan en la mala condición y tendencia deteriorante de los potreros. La presencia de 5 AES y dos coberturas vegetales conducen a determinar la baja diversidad del predio. La gráfica 12 relaciona las 4 variables que determinan la condición del predio La Fortuna.



Cuadro 12. Espacio de integración de las variables de estado del predio La Fortuna

- **Estado de los AES en los predios de la tipología 2**

Se definieron 43 AES en los 11 predios correspondientes a la tipología 2. La característica principal de estos AES son las condiciones de baja RT, mientras que el SMA que se tiene implementado sobre los pastos se define como tradicional lo cual resulta inadecuado para el 70,7% de los casos estudiados y para 20,3% de los predios se manejan de forma adecuada. En el cuadro 13 se representan 43 AES caracterizados para la tipología 2.



Cuadro 13. Espacio de evaluación y análisis de 43 AES en predios de la tipología 2.

El cálculo del IMO y el ID en los predios restantes permitió realizar la evaluación y análisis de los AES a nivel predial. La tabla 20 resume el cálculo de los 4 índices determinantes en la evaluación y análisis a nivel predial.

Tabla 20. Valores de índices que determinan la condición de los predios de la tipología 2.

Predios	Índice de Receptividad Tecnológica	Índice de Intensidad Tecnológica	Índice de Mano de Obra	Índice de Diversidad
El Diamante	0,0072	0,209	0,0625	0,3
El Diamante	0,0089	0,21	0,125	0,3
Los Guayabos	0,0093	0,325	0,125	0,7
Villa Martha	0,0095	0,0287	0,125	0,3
Monteclaro	0,0216	0,161	0,0625	0,3
La Minita	0,0122	0,0688	0,0625	0,3

Tabla 20. (Continuación)

Predios	Índice de Receptividad Tecnológica	Índice de Intensidad Tecnológica	Índice de Mano de Obra	Índice de Diversidad
El Barranquero	0,0035	0,2122	0,0625	0,7
La Fortuna	0,0003	0,2081	0,0625	0,2
La Guaca	0,0109	0,1699	0,0625	0,3
Los Llanitos	0,0097	0,2253	0,0625	0,3
La Isleta	0,0007	0,0787	0,0625	0,2

En esta tipología la categoría de receptividad tecnológica es de máxima restricción para todos los predios, los valores del IRT están principalmente influenciados por la provincia de humedad y por las pendientes predominantes que se encuentran en rangos entre 12% y 25% y entre 25 y 50%. Los predios que se diferencian son Monteclaro que presenta el 45% de su área en pastoreo con valores de pendientes inferiores al 25% de pendiente y el predio la minita donde el 70% del área en pastoreo se encuentra en un rango de pendiente entre 12 y 25%. De este modo, al igual que en la tipología previamente analizada, la pendiente del terreno y la humedad ambiental constituyen variables determinantes de la baja capacidad de acogida tecnológica y consecuentemente del grado de vulnerabilidad de los AES.

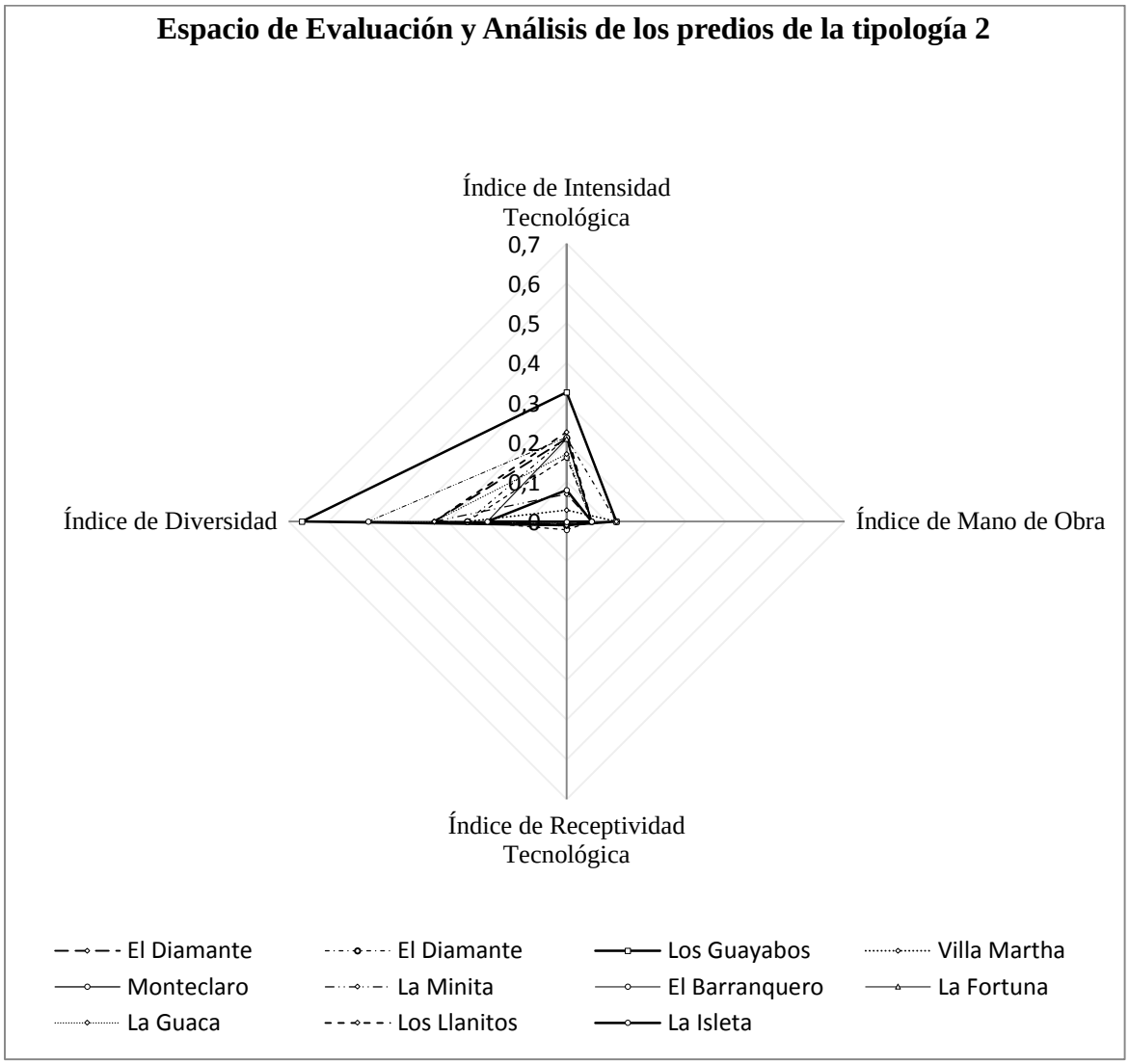
Los valores más bajos del IIT corresponde a predios como Villa Martha y La Minita, estos se relacionan con amplias áreas del predio bajo sistemas de manejo inadecuados para las condiciones de receptividad tecnológica, es estos no se evidencian planes de mejoramiento de las praderas, las aplicaciones de plaguicidas se realizan con base en fechas de calendario y sin monitoreos, aunque se cuenta con recurso e hidroestructuras, esta presenta grado de deterioro o desuso y las condiciones de productividad de las praderas son deteriorantes. El resto de los predios no distan mucho de esta realidad por lo cual se encuentran bajo condiciones similares a las descritas.

Los valores del IMO conducen a los predios de la tipología a ubicarse en la categoría Muy Intensivo con más de 40Has/trabajador, a excepción del predio Los Guayabos donde la familia participa de otras actividades agrícolas como el cultivo de aguacate y el cultivo de alimentos para el autoconsumo y los predio Villa Martha y el Diamante donde la cantidad de animales cercanos al límite superior de la tipología demanda toda la mano

de obra de los propietarios y donde necesariamente deben intervenir otros miembros de la familia o contratar mano de obra. Por tal motivo, la categoría para estos dos últimos predios es extensiva.

Predomina en esta tipología la categoría de diversidad media a excepción de los predios El Barranquero donde se presentan 3 AES y el arreglo productivo cerdos-pastos-lechería generando así dos usos dentro del mismo y el predio Los Guayabos donde la situación es semejante pero enfocado hacia el cultivo del aguacate.

Estos resultados demuestran que a nivel predial la capacidad de acogida tecnológica presenta la máxima restricción en la mayoría de los casos por las condiciones de humedad ambiental y altas pendientes del terreno. En el 72.7% de los casos la categoría de mano de obra es Muy extensiva y en el 27.2% es extensiva. Con respecto a la diversidad de usos de la tierra, en el 63.6% de los casos se definió como diversidad media, el 18.2% diverso y 18.2 baja diversidad. Por último, se encuentran implementadas estrategias productivas que no son las adecuadas para mantener la sostenibilidad de los predios, razón por la cual la tendencia del sistema productivo en todos los predios es a deteriorarse. En la gráfica 14 se representan los 11 predios de la tipología 2 con sus correspondientes índices.



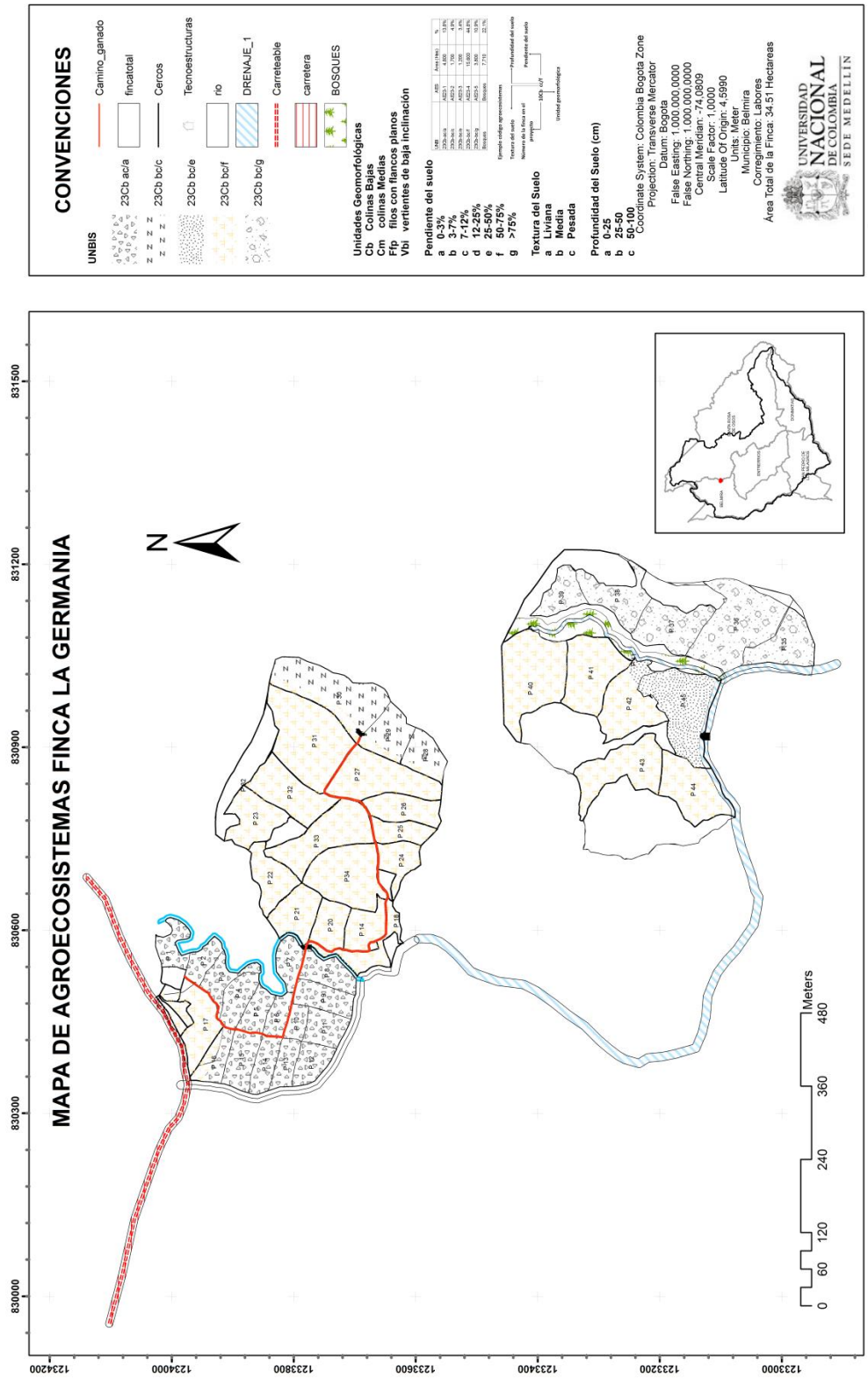
Cuadro 14. Representación del estado de los predios en la tipología 2.

3.3.3 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 3. Productores con más de 30 vacas hasta 50.Estudio de caso: Predio La Germania

- **Estructura, Administración y Manejo.**

El predio La Germania se localiza en el corregimiento de Labores, en el límite entre los municipios de Belmira y Santa Rosa de Osos, los propietarios son ausentistas, adquirieron el predio hace 2 años, residen en la ciudad de Medellín y delegan la administración del predio a una familia de la región compuesta por padre, madre y dos hijos. Su extensión es de 34.81 Has., de las cuales 27.11 Has (77.9%) están dedicadas a la producción de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst Ex Chiov), 7.5 Has. (21.5%) corresponden a relictos de bosques y 0.23 Has. (0.6 %) corresponden a construcciones y caminos. El área total se divide en 54 unidades espaciales (UNES) de las cuales 45 corresponden a potreros con áreas entre 0,17 y 1.5 Has y 9 corresponden a parches de bosques dispersos que se conservan con el fin de proteger las fuentes de agua. El hato lo conforman 37 vacas que se distribuyen de la siguiente manera: Los potreros 1 al 16, equivalentes a 4.95 Has., son ocupados por un primer grupo compuesto por 23 vacas en producción o “lechería 1”, el periodo de descanso de estos potreros es de 47 días, lo que equivale a 7.8 rotaciones/año y una carga de 4.6 animales/ha. Los potreros 18 al 34 que suman 11.6 Has., son ocupados por un segundo grupo compuesto por 14 vacas en producción o “lechería 2”; el descanso de estos potreros es de 35 a 40 días, lo que le ubica en un rango entre 9.1 y 10,4 rotaciones/año, con una carga de 1.12 animales/ha.

El potrero 17, con 0,6 Has., está destinado al pastoreo de 13 terneras destetas y 8 lactantes; este potrero se subdivide diariamente con cerca eléctrica en lotes de 400m² aproximadamente donde permanecen los animales de 2 a 3 días y la carga llega a los 35 animales/Ha. Los potreros 35 al 45 con una extensión de 9.95 Has., en el sector conocido como El Granizo, son dedicados al sostenimiento de 12 novillas de levante, 6 de vientre y 12 vacas horras y la capacidad de carga en los potreros de levante es de 3 animales/ha. La figura 3 es una representación espacial de la estructura del predio La Germania.


MAPA DE AGROECOSISTEMAS FINCA LA GERMANIA
CONVENCIONES
UNBIS
Camino_ganado
fincatotal
Cercos
Tecnoestructuras
rio
DRENAJE_1
Carreteable
carretera
BOSQUES
Unidades Geomorfológicas
Cb Colinas Bajas
Cm colinas Medias
Ffp filos con flancos planos
Vbi vertientes de baja inclinación
Pendiente del suelo
a 0-3%
b 3-7%
c 7-12%
d 12-25%
e 25-50%
f 50-75%
g >75%
Textura del Suelo
a Liviana
b Media
c Pesada
Profundidad del Suelo (cm)
a 0-25
b 25-50
c 50-100
Coordinate System: Colombia Bogota Zone
Projection: Transverse Mercator
Datum: Bogota
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0809
Scale Factor: 1.0000
Latitude of Origin: 4.5990
Units: Meter
Municipio: Belmira
Corregimiento: Labores
Área Total de la Finca: 34.51 Hectareas
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLIN
N
Meters
0 60 120 240 360 480
830000 830300 830600 830900 831200 831500
1234200 1234000 1233800 1233600 1233400 1233200 1233000

- **Mapificación de las variables biofísicas y socio económicas**

Las texturas en el mapa representan los AES y se interpretan como la espacialización e integración de las variables biofísicas (pendiente, profundidad, textura, hidromorfismo) que delimitan las 5 UNBIS identificadas en el predio, en las cuales la pendiente del terreno fue la principal variable diferenciadora y también las variables de tipo socio económico que se subdividen en el factor de manejo y el factor productivo reflejadas en el SMA.

El predio corresponde al número 23 en la lista de 44 unidades de análisis, está localizado en la unidad geomorfológica Colinas bajas (Cb). El AE codificado como AE23-1 con área equivalente a 4.8 Has, 13.8% del área total, presenta suelos de textura liviana y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 0 a 3%; sobre esta unidad homogénea el productor ha dispuesto 16 de 45 unidades espaciales (UNES) cuya cobertura principal son las pasturas. El AE codificado como AE23-2 con un área de 1.7 Has, el 4.9% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 7 a 12%, están dispuesta 1 UNES y su cobertura vegetal son pasturas. El AE codificado como AE23-3 comprende un área de 1.2 has, equivalente al 3.4% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 25 a 50%, está dispuesta 1 UNES cuya cobertura son pasturas. El AE codificado como AE23-4 comprende un área de 15.6 has, 44.8% del área total presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 50 a 75%, están dispuestas 18 UNES cuya cobertura son pasturas. El AE codificado como AE23- comprende un área de 3.8 has, el 10.9% del área total del predio, presenta suelos de textura media, profundos, la pendiente del terreno es mayor del 75%, están dispuestas 5 UNES y la cobertura vegetal son pasturas arboladas. El área en bosque equivale a 7.7Has lo que representa el 22.2%.

- **Establecimiento de los potreros**

El montaje de las praderas ha sido producto del trabajo acumulado en el tiempo de permanencia de anteriores propietarios del predio. Tradicionalmente, el pasto kikuyo ha estado presente en el predio desde hace más de 20 años y no se ha acudido a la adición

de semilla asexual ni a prácticas de renovación de praderas principalmente por las dificultades que presenta el relieve. Se desconoce el historial de uso de la tierra, sólo es verificable el uso en pasturas en los tres últimos años.

- **Manejo de la Fertilización de los potreros**

Las aplicaciones de fertilizantes se realizan al voleo en el 100% del área en praderas. Las principales formulaciones utilizadas son 40-0-0-6, 25-15-0-2. En los potreros 1 al 34 las aplicaciones por hectárea /año equivalen a 317, 73, 19 Kilos de NPK respectivamente y se aplican 2.8 K de fertilizantes foliares con elementos menores disueltos en 5.500L de agua que se asperjan con bomba de espalda en los potreros 28 al 30 y con bomba estacionaria en los potreros 1 al 27. Por lo general, la frecuencia de las aplicaciones es cada 40 y 47 días, se aplica cuatro o cinco días después del pastoreo de los animales. En el sector El Granizo el manejo se hace con la mitad de fertilizantes respecto a los lotes de vacas en producción, esto es 158,5, 35.5 y 9.5 K/Ha/año.

- **Manejo Fitosanitario de los Potreros**

Se realiza aplicación calendario de insecticidas 4 o 5 días después del pastoreo. Los productos comunes usados en la estrategia de manejo químico son principalmente Regent® cuyo ingrediente activo es Fipronil, rotado con Engeo® cuyo ingrediente activo es Tiametoxam, que actúan por contacto y con algunas propiedades sistémicas, a razón de 0.44 L/Ha/año disuelto en 800L de agua. Las aplicaciones se realizan en mezcla con fertilizantes foliares, de modo que los potreros 1 al 27 se asperjan con bomba estacionaria y los potreros 28 al 30 se asperjan con bomba de espalda. Los potreros 35 a 45, correspondientes al lote de levante de novillas no reciben aplicaciones. Los insecticidas se aplican de manera preventiva sin monitoreo de las poblaciones de insectos ni de los niveles de daño en la vegetación. Comúnmente otras especies de gramíneas competidoras se erradican de forma manual haciendo uso del “Güinche”; no se realiza la aplicación de fungicidas ni herbicidas.

- **Mantenimiento de los Potreros**

El mantenimiento a nivel de los potreros consiste en la adecuación de los canales de drenaje en los potreros, el cambio de alambres en las zonas periféricas del predio y en los potreros propiamente, el cuidado de los límites en los humedales y bosques para evitar el ingreso de los animales. Los estacones de madera se obtienen de árboles de Eucalipto (*Eucaliptus sp*), plantados aleatoriamente dentro del predio y se contratan las labores de aserrío y ubicación de los postes a tres metros (3m) de distancia entre sí.

- **Productividad y Costos de Producción**

La productividad bruta de las praderas es 2.0 K/m² y la productividad neta o cantidad de forraje consumido por los animales es 1.72 K/m², por lo anterior se estima un desperdicio del 14%. El mayor valor porcentual dentro de la estructura de costos del manejo de las praderas corresponde a los fertilizantes con el 81.3%, seguida de la mano de obra con el 10.7% y los insecticidas con el 4.4%. Con base en el cálculo de la productividad el costo de producción/ha/año es $ 1.488.020 mientras que cada K de pasto consumido por los animales cuesta $11.

- **Manejo del bosque y áreas de protección**

Los bosques permanecen aislados de las áreas productivas por medio del uso de cercas en malas condiciones pues estas no impiden el ingreso de los animales; el principal uso del bosque es la protección de las fuentes de agua. El Sistema de Manejo Agrotecnológico (SMA) para estas UNES es primitivo el cual resulta adecuado para las condiciones de RT. La tabla 13 presenta los IIT de acuerdo con el uso de las UNBIS.

- **Manejo de los animales**

El manejo de los animales requiere de la presencia permanente del administrador, 2 operarios y ocasionalmente un tercer operario. La principal actividad es el ordeño de las

vacas en producción, la cual se realiza bajo dos modalidades: mecanizada en sala y manual desplazando la fuerza de trabajo hasta los potreros 18 al 34. Esta labor demanda 911.6 jornales/año; diariamente los operarios invierten el 75% de su tiempo en la actividad de ordeño, arriería, acopio y desinfección de equipos e implementos. Otras actividades son el suministro de leche y concentrados a las terneras, la atención de partos, el desplazamiento de animales entre lotes, el abastecimiento de sal y agua, la inseminación de novillas y vacas, atención médica y manejo de animales de descarte.

Las vacas en producción consumen diariamente en promedio 78 K de pasto, 1.95K de concentrado y 100g de sal. Los medicamentos que se utilizan son variables, principalmente antibióticos, desparasitarios y vitaminas, mientras que siempre se requieren las pruebas para determinar la presencia de mastitis, como también el secado de vacas 2 meses antes del parto, las vacunas preventivas de fiebre aftosa, brucelosis y sellantes para los pezones. En cuanto a los costos de producción el 33% corresponde a los suplementos concentrados, el 30.4% la mano de obra, 13.3% al transporte de la leche y el restante 23.3% tiene que ver con medicamentos, higiene y desinfección, servicios públicos y otros gastos derivados de la producción.

- **Determinación de la Receptividad Tecnológica**

Todo el predio La Germania presenta restricciones por condiciones de humedad ambiental, la región es muy húmeda y le corresponde un índice de 0.125. Se diferenciaron cinco unidades y se delimitaron principalmente por rango de pendientes, pues en general los suelos son de textura media, profundos y con drenaje rápido a excepción de la parte plana del predio como se presenta en la tabla 21. De este modo las UNBIS quedaron delimitadas por las pendientes.

Tabla 21. UNBIS caracterizadas en el predio La Germania

Código	Área (Has)	%	Pendiente (%)	Textura	Profundidad	Hidromorfismo	UNES
023Cb-ac/a	4.8	17.7	0 – 3	Liviana	Profundo	Estacional medio	1al 16
023Cb-bc/c	1.7	6.2	7 - 12	Media	Profundo	Estacional medio	27 al 31

Tabla 21. (Continuación)

Código	**Área (Has)**	**%**	**Pendiente (%)**	**Textura**	**Profundidad**	**Hidromorfismo**	**UNES**
023Cb-bc/e	1.2	4.4	25 – 50	Media	Profundo	Drenaje rápido	42 y 45
023Cb-bc/f	15.6	57.7	50 – 75	Media	Profundo	Drenaje rápido	16 al 27 – 31 al 34 – 40 al 44
023Cb-bc/g	3.8	14	>75	Media	Profundo	Drenaje rápido	35 al 39

El producto de los índices de humedad, pendiente y de condiciones del suelo determinó la categoría de *Máxima Restricción* en cada uno de las UNBIS y un IRT predial de 0,003 donde el mayor peso en la determinación fue para la UNBI 023Cb-bc/f caracterizada por presentar suelos profundos de textura media y pendientes predominantes entre 50 y 75% que ocupan el 57.7% del área total del predio de acuerdo con la tabla 22. Del mismo modo se determinó el IRT para cada uno de los 11 predios restantes dentro de la tipología 3.

Tabla 22. Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica para el predio La Germania.

UNBI	Índice de Humedad	Índice de Pendiente	Índice de Suelo	Índice de R.T.	Categoría de R.T.	Índice de Área	I.R.T. Predial
23Cb-ac/a	0,125	1,00	1,00	0,125	Máxima restricción	0,177	0,022
23Cb- bc/c	0,125	0,25	1,00	0,031	Máxima restricción	0,062	0,002
23Cb-bc/e	0,125	0,0625	1,00	0,008	Máxima restricción	0,044	0,024
23Cb-bc/f	0,125	0,0312	1,00	0,004	Máxima restricción	0,577	0,002
23Cb-bc/g	0,125	0,0312	1,00	0,004	Máxima restricción	0,14	0,001
Predio					Máxima restricción	1,000	0,003

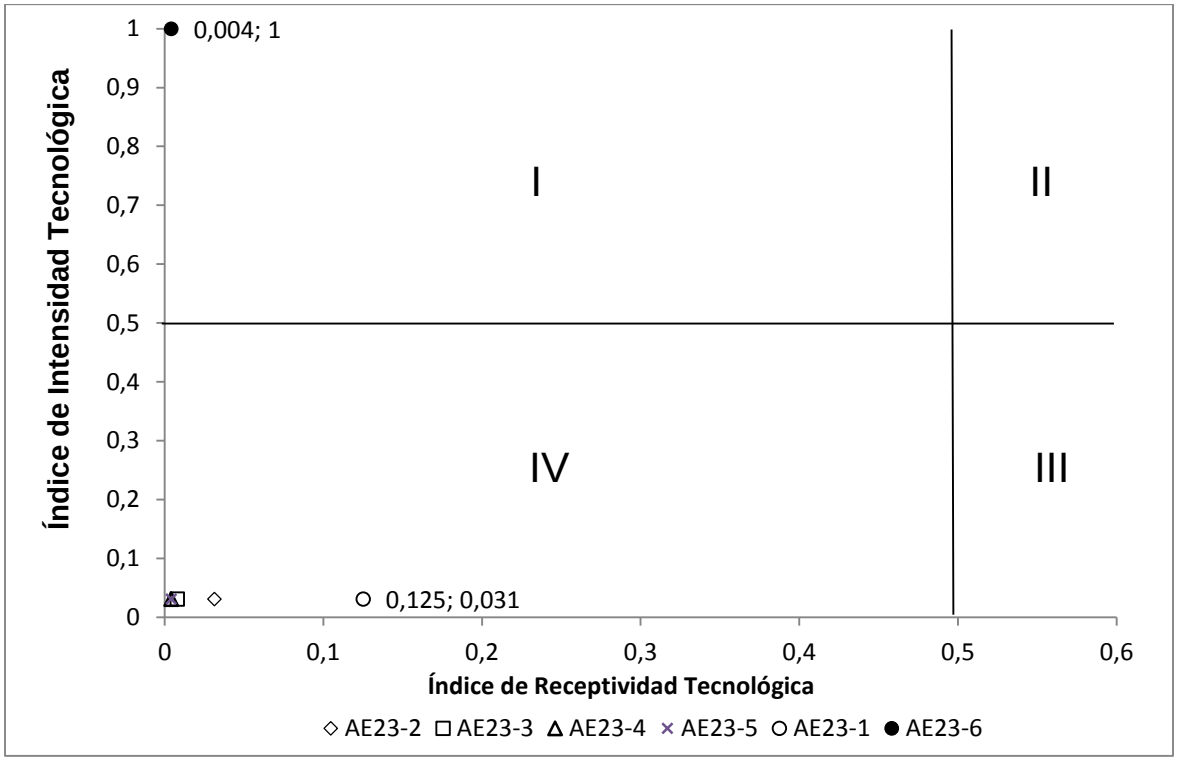
- **Determinación de la Intensidad Tecnológica**

Cada UNBI presenta una categoría de RT y usos respectivos sobre los cuales opera un SMA a partir del cual se determina la categoría de IT. Sobre los pastos como principal cobertura vegetal no se realizan prácticas de renovación y la fertilización de los suelos no se hace con base en un análisis de la fertilidad periódico. Del mismo modo, las aplicaciones de plaguicidas se efectúan sin precedencia de monitoreos y evaluaciones de las poblaciones de artrópodos y microorganismos por lo cual se define como un SMA Tradicional. Los parches de bosques son cercados con alambre de púas para evitar el ingreso de los animales y en pocas ocasiones se extrae material vegetal de estos, el propósito de uso es la conservación del recurso hídrico por lo cual se considera que el SMA es primitivo y adecuado para las condiciones de RT del predio. Los usos asociados con el sistema pecuario como caminos, corral, sala de ordeño, tanque de enfriamiento, vivienda y otras tecnoestructuras reflejan importantes inversiones y se considera que el SMA es avanzado. La tabla 23 presenta la caracterización de la intensidad tecnológica con la que se opera sobre cada UNBI y el respectivo índice de acuerdo con el SMA implementado.

Tabla 23. Determinación del Índice de Intensidad Tecnológica para el Predio La Germania

UNBI	Categoría de RT	Cobertura	SMA	Índice de I.T.	Categoría de IT	Índice de Área	I.T. Predial
023Cb-ac/a	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,151	0,0047
023Cb-bc/c	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,052	0,0016
023Cb-bc/e	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,034	0,0011
023Cb-bc/f	Máxima restricción	Pastura mejorada	T	0,031	Inadecuada	0,467	0,0145
		Bosque	P	1	Adecuada	0,187	0,1868
023Cb-bc/g	Máxima restricción	Pastura arbolada	T	0,031	Inadecuada	0,109	0,0034
Predio					Extensiva	1,000	0,2120

Se caracterizaron 5 UNBIS diferenciadas principalmente por la pendiente del terreno, todas manejadas bajo SMA tradicional y sólo los bosques se manejan de manera primitiva, lo cual se adecúa a las condiciones restrictivas de RT presentes en los AES del predio. Se definieron 6 agroecosistemas con sus respectivos valores de IRT e IIT y que son representados en el cuadro 15. Los Agroecosistemas se ubican en el cuadrante IV que representa muy baja capacidad de acogida tecnológica y su grado de artificialización puede causar degradación de los mismos, solo los bosques se ubican en el cuadrante I que representa la máxima intensidad que soporta



Cuadro 15. Espacio de evaluación y análisis de los Agroecosistemas del predio La Germania.

- **Determinación del Índice de Mano de Obra (I.M.O)**

En términos de mano de obra, la aplicación de fertilizantes demanda 2.8 jornales/Ha/año, la aplicación de insecticidas demanda 5.85 Jornales/Ha/año y las labores de mantenimiento y desyerbas demandan 0.5 Jornales/Ha/año. En consideración del tiempo de trabajo dedicado al área en manejo y la distribución de las actividades dentro

del predio, se determinó el valor del IMO para el manejo de los AES de acuerdo con las relaciones presentadas en la tabla 24.

Tabla 24. Determinación del I.M.O. para el manejo de los AES

Área Total en Manejo (Has)	Número de trabajadores	Área / # de trabajadores	I.M.O	Categoría
27.11	0.67	40.46	0.0625	Muy extensivo

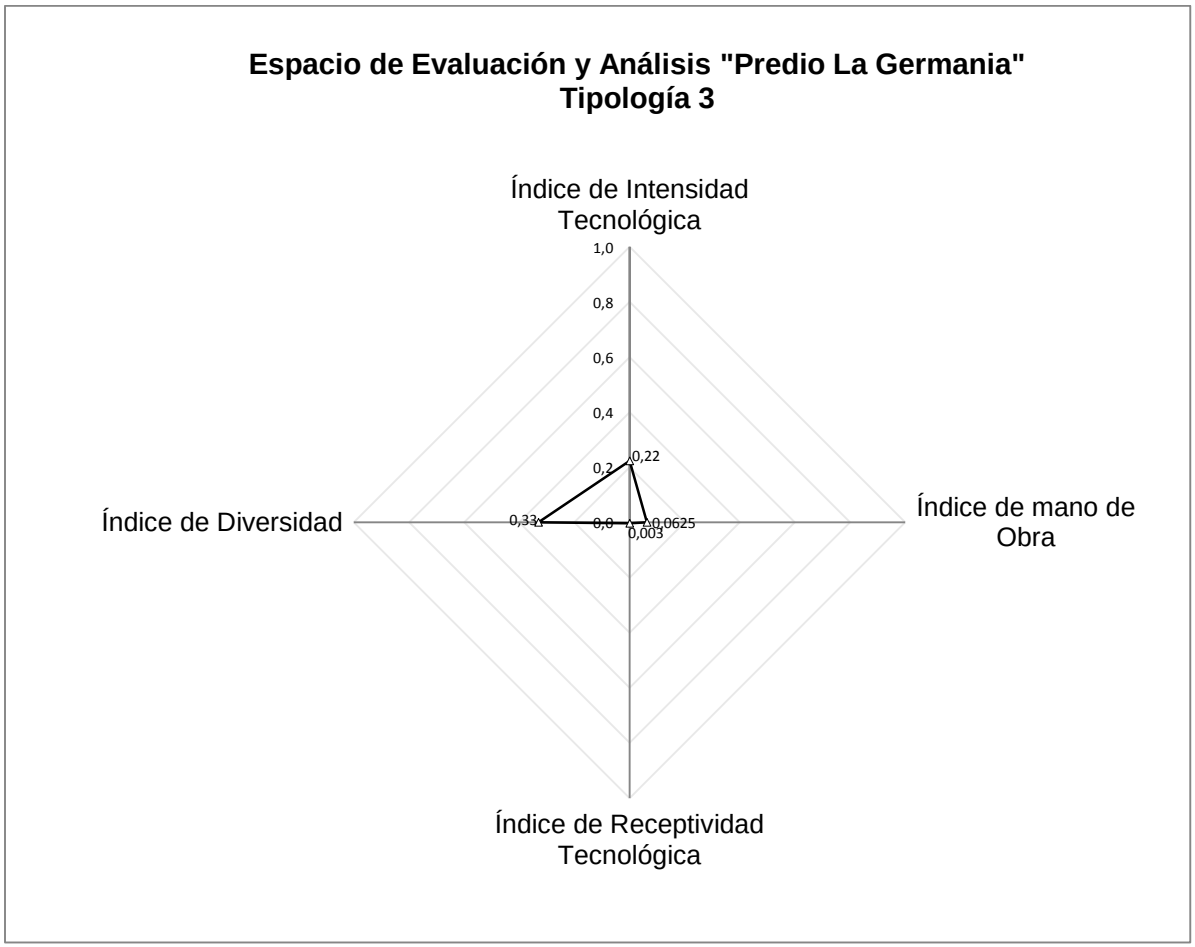
- **Determinación del índice de diversidad**

Las 5 UNBIS del predio están relacionados con 6 AES donde el principal uso es el cultivo del pasto kikuyo asociado a la producción de leche y en menor proporción el manejo de los bosques. La tabla 25 presenta el cálculo del índice de diversidad del predio La Germania.

Tabla 25. Índice de diversidad del predio La Germania

Coberturas	Número de AES	# Coberturas / #AES	I.D.	Categoría
2	6	0.33	0.2	Baja diversidad

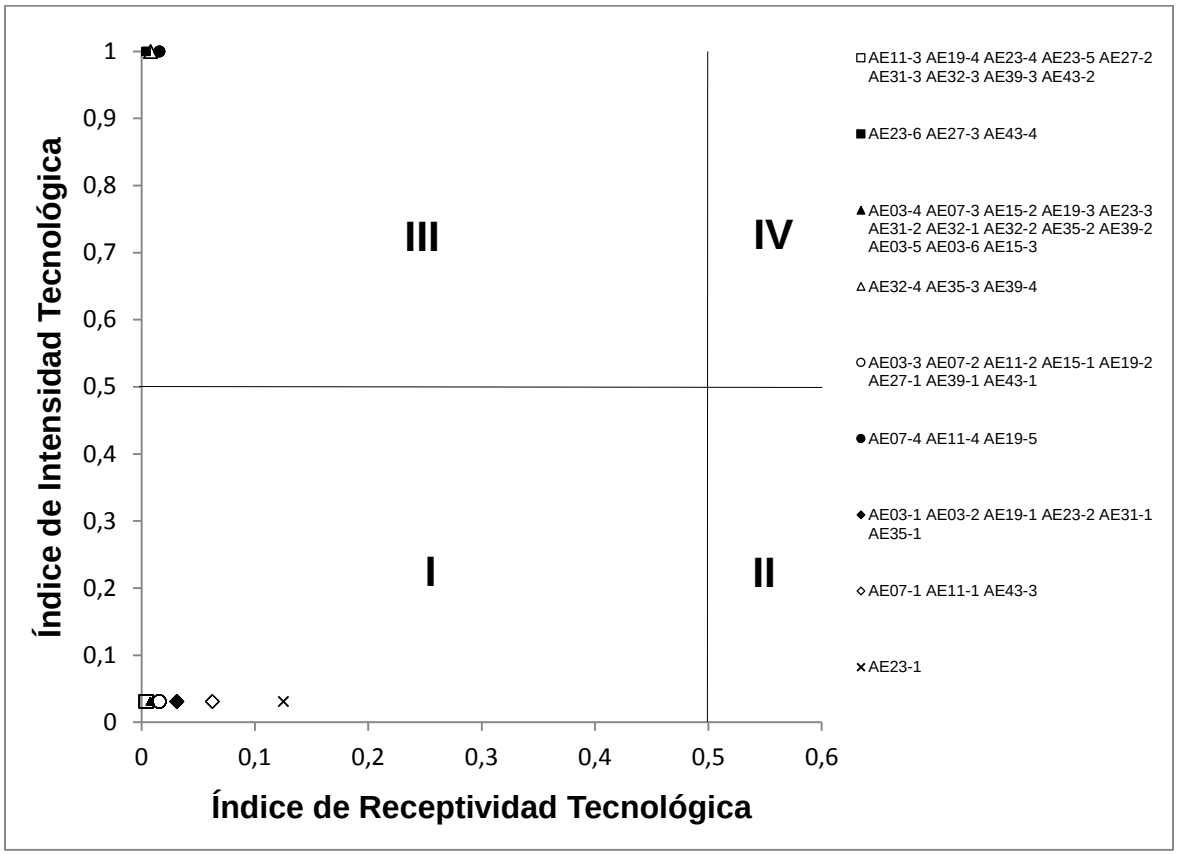
El predio presenta las mayores limitaciones para recibir tecnología principalmente por las condiciones de humedad ambiental y factor topográfico. El SMA implementado a nivel de las praderas no resulta adecuado para las restricciones biofísicas que presenta el predio por lo que en términos productivos su tendencia es a degradarse. Los niveles de suplementación nutricional, la atención médico veterinaria preventiva y curativa y las medidas higiénico sanitarias de los animales hacen referencia a un SMA Avanzado aplicado al componente de producción animal siendo este el más recomendado. La mano de obra asignada al sistema de producción animal, de intensidad media, quintuplica los requerimientos que tiene el manejo de potreros que se hace muy extensivo, estas decisiones de tipo administrativo se toman tras la meta de mejorar el rendimiento en la producción de leche. La presencia de varios agroecosistemas y un solo uso determinan su baja diversidad a nivel predial. La gráfica 16 relaciona las 4 variables que determinan la condición del predio La Germania.



Cuadro 16. Integración de las variables de estado del predio La Germania

- **Estado de los Agroecosistemas en los predios de la tipología 3**

De la misma forma que se presentó el estudio de caso anterior, los AES de los 12 predios correspondientes a la tipología 3 fueron caracterizados y evaluados. Esta tipología presentó un total de 49 AES cuya característica principal son las condiciones de baja RT. En 22 de estos AES, es decir, en el 77.6% se aplica una intensidad tecnológica inadecuada, mientras que en el 22.4% la intensidad tecnológica es adecuada. En la gráfica 17 se representan los AES caracterizados para la tipología 3.



Cuadro 17. Espacio de evaluación y análisis de 54 AES en predios de la tipología 3.

El cálculo del IMO y el ID en los predios restantes permitió realizar la evaluación y análisis de los AES a nivel predial. La tabla 26 resume el cálculo de los 4 índices determinantes en la evaluación y análisis a nivel predial.

Tabla 26. Determinación del estado de los predios de la tipología 3.

Predios	Índice de Receptividad Tecnológica	Índice de Intensidad Tecnológica	Índice de Mano de Obra	Índice de Diversidad
La Selva	0,0083	0,031	0,0625	0,33
La Madreseca	0,0336	0,138	0,0625	0,50
El Molino	0,0178	0,2072	0,0625	0,25
La Esperanza (SR)	0,0086	0,042	0,25	0,33
Tierra Caliente	0,0132	0,391	0,0625	0,20
La Germania	0,0028	0,2233	0,0625	0,33
El recreo	0,0045	0,0886	0,0625	0,67
La Magnolia	0,0176	0,0508	0,125	0,67
La Mallita	0,0074	0,1632	0,125	0,25
El Paolín	0,0144	0,34	0,125	0,50
Ñangazal	0,0115	0,1041	0,125	0,50
La Tablaza	0,0121	0,0688	0,25	0,25

Los resultados demuestran que todos los predios de esta tipología presentan la categoría de receptividad tecnológica correspondiente a la máxima restricción. A pesar de que predominan características edafológicas favorables como suelos profundos de textura media y con buen drenaje, las variables biofísicas de humedad ambiental y la pendiente del terreno afectan considerablemente la capacidad de acogida tecnológica de los AES.
En los predios La Germania y El recreo se encuentran 70 y 95% del área en pastoreo respectivamente en pendientes mayores del 50%. En el predio La Mallita el 64% del área en pastoreo se encuentra en pendientes entre 25 y 50%.

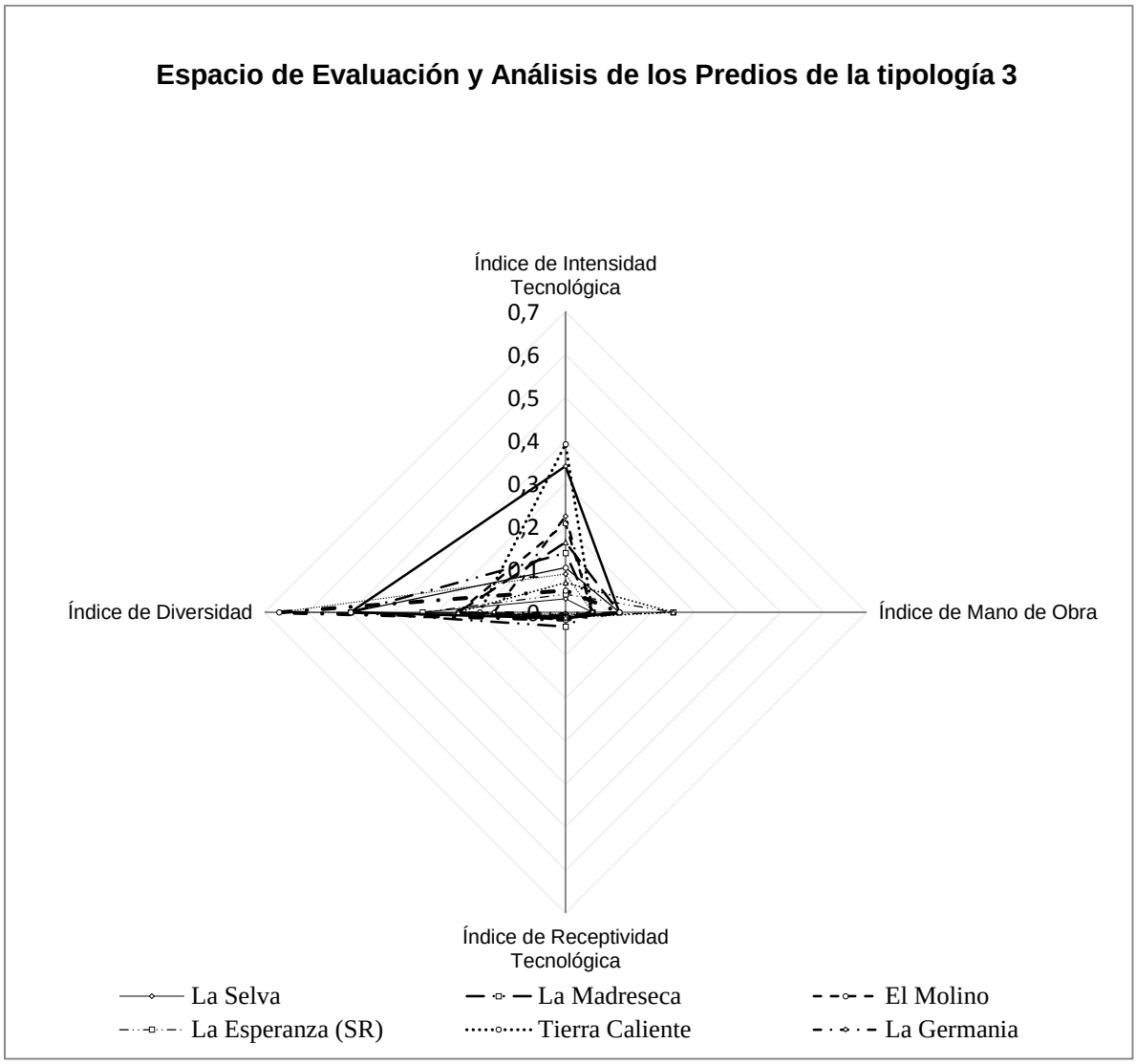
Los bajos valores del índice de intensidad tecnológica en estos predios se explica por la presencia de áreas extensas bajo sistemas de manejo que son inadecuados para las condiciones de receptividad tecnológica. La Tablaza, La Magnolia, El Recreo y La Selva presentan 92.1, 91.2, 80.3 y 74.6% de sus respectivas áreas en pastoreo bajo sistema de manejo tradicional, lo cual incide considerablemente en el IIT. Por otro lado, los predios El Molino, Tierra Caliente, La Germania presentan 14, 36.6 y 22.4 de su área total en bosques bajo sistemas de manejo primitivo lo cual favorece el valor del IIT.

Se destaca la intensificación de la mano de obra en los predios La Esperanza y La Tablaza, sin embargo se debe anotar que los propietarios de estos predios acostumbran

alquilar lotes de otros predios para llevar a cabo las labores de levante del ganado de reemplazo, por lo que la relación en la obtención del índice se ve afectada.

En esta tipología se presenta mayor tendencia a la diversificación en los usos del predio, siendo característico el levante de cerdos que son complemento en el arreglo cerdos – pastos – lechería y la implementación de cultivos comerciales dentro o por fuera del predio. Ñangasal con 30 cerdos de levante, El Recreo con el alquiler de espacios para 100 cerdas de cría, La Magnolia con 100 cerdos de levante, La Madreseca con 60 cerdos de levante y una cerda de cría El Paolín con 15 cerdos de levante y cultivo de tomate de árbol son predios que se sobresalen en cuanto las estrategias de diversificación.

En el 50% de los casos la categoría de mano de obra es muy extensiva, el 30% fue extensiva y el 20% de intensidad media. Con respecto a la diversidad de usos de la tierra, en el 41.6% de los casos se definió como diversa, el 41.6% en la categoría de diversidad media y 16,6% con diversidad baja. Por último, se encuentran implementadas estrategias productivas que no son las adecuadas para mantener la sostenibilidad de los predios, razón por la cual la tendencia del sistema productivo es a deteriorarse. En la gráfica 18 se representan los 12 predios de la tipología 4 evaluados mediante la estimación de los índices IIT, IRT, IMO e ID.



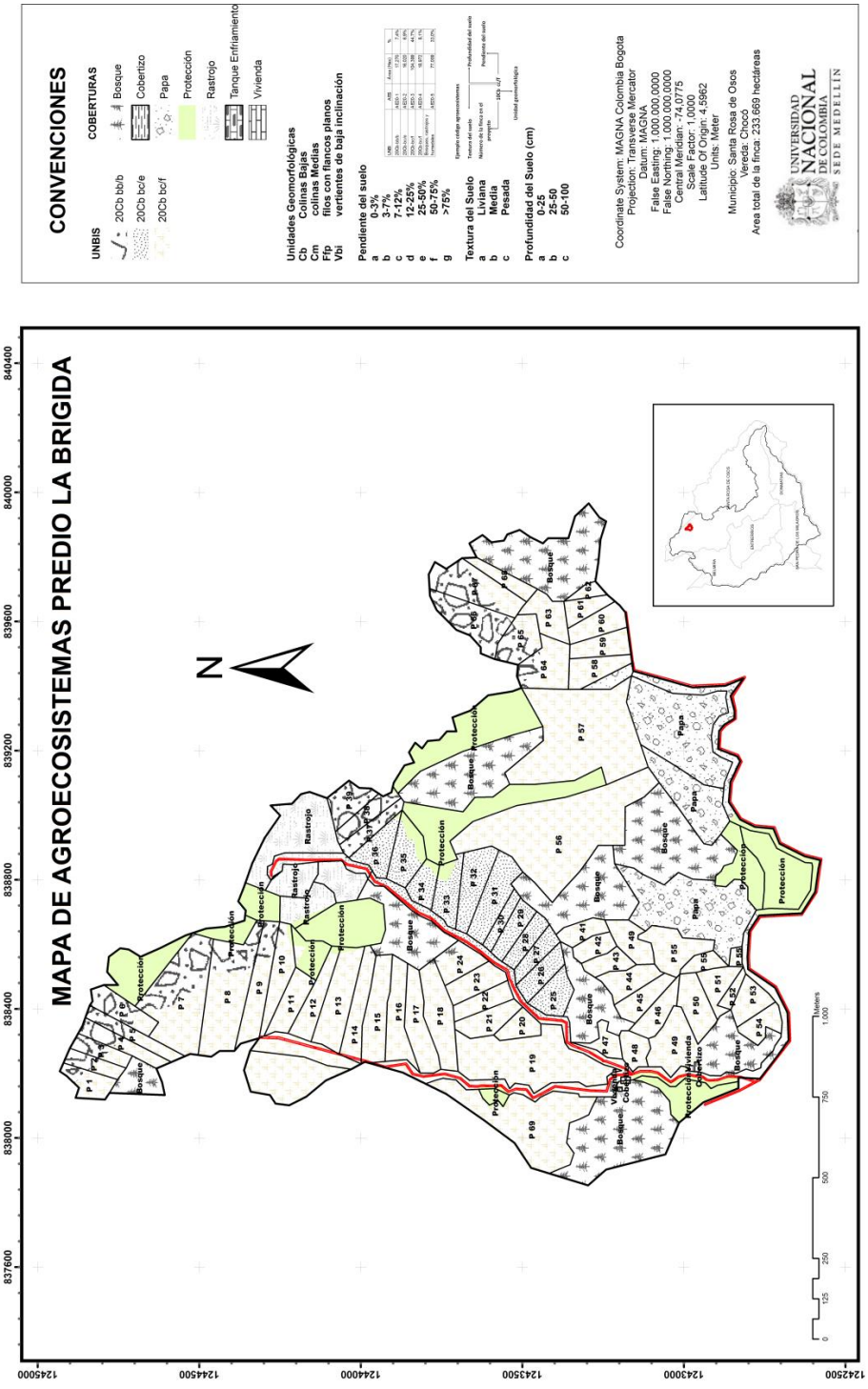
Cuadro 18. Representación del estado de los predios en la tipología 3.

3.3.4 Caracterización y evaluación del estado de los agroecosistemas correspondientes a la tipología 4. Productores con más de 50 vacas. Estudio de caso: Predio La Brígida.

- **Estructura, Administración y Manejo**

El predio La Brígida está localizado, al norte de la cuenca del Riogrande, corregimiento de Aragón, vereda Chocó del municipio de Santa Rosa de Osos. El propietario delega la administración de la predio a un administrador. La extensión del predio es de 233.7 Has., de las cuales 136 has (58,2%) están dedicadas a la producción de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst Ex Chiov), 42,2 has (18%) corresponden a relictos de bosques naturales, 36,1 has (15,4%) son humedales protegidos y rastrojos, 18,9 (8,1%) has están destinadas a la producción de papa y 0,70 Has. (0,3%) corresponden a construcciones y carreteras. Con 88 UNES en total, el área en praderas está dividida en 70 potreros con áreas entre 0.32 y 10. 7 Has., cuyo propósito de uso es el sostenimiento de animales para la producción de leche y carne, la distribución se hace de la siguiente manera: El hato lechero, están distribuidos en dos grupos o “lecherías” compuestas por 130 vacas en ordeño que ocupan 42 potreros (11 al 18, 20, 25 al 55) equivalentes a 61.24 has. El periodo de no ocupación o descanso de cada potrero es de 30 días, que representan 12 rotaciones/año; 40 terneras lactantes y 60 terneras menores a seis meses conforman un lote terneril y ocupan 6 potreros (19, 21 al 24) equivalentes a 12.96 has. 40 novillas o lote de levante ocupan los potreros más alejados dentro del predio con respecto a la casa o administración (1 al 10, 58 al 68 y 70) equivalente a 40.83 has. Los 20 novillos de ceba ocupan dos potreros (56 y 57) equivalentes a 21,1 has. Con respecto a la división del ganado, la carga es 2.1 vacas/Ha, 2.6 Novillas /Ha y 7.7 terneras/Ha.

Otras UNES las comprenden 8 parches de bosques que totalizan 42.2 Has., 7 zonas de humedales que suman 27.4 Has, 1 rastrojo de 8.6 Has y 2 lotes de papa de 18.9 Has. El área de construcciones y carreteras equivale a 0.43 Has. La figura 5 es la representación espacial del predio La Brígida donde se representan las unidades espaciales UNES, unidades tecnoestructurales UNTES y los correspondientes AES.


MAPA DE AGROECOSISTEMAS PREDIO LA BRIGIDA
CONVENCIONES
UNBIS
20Cb bb/b
20Cb bc/e
20Cb bc/f
COBERTURAS
Bosque
Cobertizo
Papa
Protección
Rastrojo
Tanque Enfriamiento
Vivienda
Unidades Geomorfológicas
Cb Colinas Bajas
Cm colinas Medias
Ffp filos con flancos planos
Vbi vertientes de baja inclinación
Pendiente del suelo
a 0-3%
b 3-7%
c 7-12%
d 12-25%
e 25-50%
f 50-75%
g >75%
Textura del Suelo
a Liviana
b Media
c Pesada
Profundidad del Suelo (cm)
a 0-25
b 25-50
c 50-100
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter
Municipio: Santa Rosa de Osos
Vereda: Chiscas
Area total de la finca: 233.669 hectáreas
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
N
Meters
0 125 250 500 750 1,000
837600 838000 838400 838800 839200 839600 840000 840400
1245000 1244500 1244000 1243500 1243000 1242500

- **Mapificación de las variables biofísicas y socio económicas**

Las texturas en el mapa representan los AES y se interpretan como la espacialización e integración de las variables biofísicas (pendiente, profundidad, textura, hidromorfismo) que delimitan las 3 UNBIS identificadas en el predio, en las cuales la pendiente del terreno fue la principal variable diferenciadora y las variables de tipo socio económico que se subdividen en el factor de manejo y el factor productivo reflejado en los SMA implementados.

El predio corresponde al número 20 en la lista de 44 unidades de análisis, está localizado en la unidad geomorfológica Colinas bajas (Cb). El AE codificado como AE20-1 con área equivalente a 17.27 Has, 7.4% del área total, presenta suelos de textura media y mediana profundidad, la pendiente del terreno está en el rango de 3 a 7%; sobre esta unidad homogénea el productor ha dispuesto 17 UNES cuya cobertura principal son las pasturas. El AE codificado como AE20-2 con un área de 16.02 Has, el 6.9% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 25 a 50%, están dispuesta 12 UNES y su cobertura vegetal son pasturas. El AE codificado como AE20-3 comprende un área de 104.4 has, 44.7% del área total, presenta suelos de textura media y profundos, la pendiente del terreno está en el rango de 50 a 75%, están dispuestas 56 UNES cuya cobertura son pasturas. El AE codificado con el código AE20-4 corresponde a un cultivo de papa y equivale al 8.1% del área total. Finalmente la cobertura boscosa equivale a 77Has, el 33% del área total.

- **Establecimiento de las praderas**

En el predio se maneja el arreglo de papa (*Solanum tuberosum* L.) y pastos en rotación y generalmente se cultivan 20 has en papa por año, esto significa que cada 7 años se rotan por completo los potreros del predio. Generalmente, se realizan labores de mecanización de los suelos con arado de discos, rotavator y aplicación de herbicidas para el posterior establecimiento del cultivo. Posterior al cultivo de la papa los suelos quedan removidos, sueltos, sin cobertura vegetal y son cultivados con semillas de raygrass a razón de 3 bultos/ha, el ciclo de este cultivar de pasto es corto por lo cual

después de 3 meses se produce la colonización del pasto kikuyo con relativa facilidad y sin requerimiento de semilla asexual.

- **Manejo de la fertilidad de los potreros**

La administración del predio efectúa un análisis anual de la fertilidad del suelo de acuerdo con el plan de rotaciones que se hace con el cultivo de la papa. Las aplicaciones de fertilizantes se realizan al voleo en el 84,5% de área en praderas. La principal formulación utilizada es 31-8-8-2, las aplicaciones por hectárea /año equivalen a 262, 68, 68 Kilos de NPK respectivamente y se aplican 6.2 K de fertilizantes foliares con elementos mayores y menores disueltos en 2000L de agua. Por lo general, la frecuencia de las aplicaciones es cada 30 días, un día después del pastoreo de los animales y solamente en 21.1 has de praderas destinadas al levante de novillos no se aplican fertilizantes. En 115 has se efectúa esta práctica agronómica.

La aplicación de fertilizantes a los potreros se realiza “al voleo”, es una actividad que se efectúa de forma manual entre dos operarios del predio y que demanda alrededor de 60 horas/mes equivalentes al 10% del tiempo total requerido en el manejo de las UNES. La fertilización foliar se realiza al mismo tiempo que la aplicación de insecticidas lo cual demanda 3horas/ha equivalentes al 70% , los desplazamientos a diferentes puntos del predio para el traslado de insumos e implementos requeridos para el manejo son 60 horas/mes, esto es el 10% y las labores de mantenimiento demandan 60 horas/mes, equivalentes al 10%.

- **Manejo fitosanitario de los potreros**

Se realiza aplicación calendario de insecticidas principalmente del grupo químico de los fenil irasoles comercialmente con el nombre de Regent® cuyo principio activo es fipronil, a razón de 1.25 L/Ha/año disuelto en 2000L de agua. Las aplicaciones se realizan en mezcla con fertilizantes foliares en canecas de 200L y son asperjadas sobre las pasturas haciendo uso de bombas estacionarias que funcionan a base de combustible fósil. Los insecticidas se aplican de manera preventiva sin monitoreo de las poblaciones de

insectos ni de los niveles de daño en la vegetación. Comúnmente otras especies de gramíneas competidoras se erradican de forma manual haciendo uso del "Güinche" como herramienta usual y con mano de obra contratada exclusivamente para esta labor; los herbicidas que se utilizan se aplican principalmente durante el tiempo de manejo del cultivo de la papa.

- **Mantenimiento de los potreros**

Estas actividades son realizadas por los operarios contratados en el predio, el mantenimiento consiste en la limpieza de canales recolectores de agua en las carreteras, en la adecuación de los canales de drenaje en los potreros, el corte de madera y reemplazo de estacones para los cercos, el cambio de alambres en las zonas periféricas del predio y en los potreros propiamente, el cuidado de los límites en los humedales y bosques para evitar el ingreso de los animales. Se estima un perímetro cercado con 9000 m de alambre de púas dispuesto en 3 líneas y 38400 m de cerca eléctrica dispuesta a dos líneas divisorias. Los estacones de madera se obtienen de árboles y arbustos localizados dentro del predio y se realizan las labores de aserrío y ubicación de los postes a 3m de distancia.

- **Productividad y costos de producción**

La productividad bruta de las praderas es 2.16 K/m² y la productividad bruta o cantidad de forraje consumido por los animales es 1.58 K/m², por lo anterior se estima un desperdicio equivalente al 27%. En cuanto a costos del manejo de los potreros, las labores de fertilización representan el 68.4%, los insecticidas el 11.7%, la mano de obra el 11.1% y el mantenimiento 8.8%. Con base en el cálculo de la productividad el costo de producción/ha/año es $ 1.400.923 mientras que cada K de pasto consumido por los animales tiene un costo de $7.

- **Manejo del bosque y áreas de protección**

De manera general los relictos de bosques, los rastrojos y los humedales son aislados de las áreas productivas por medio del uso de cercas a base de estacones y alambre de púas y cerca eléctrica; de forma esporádica se aprovechan algunos árboles y arbustos para obtener estacones que sirven para los mismos cercos. En estos casos se busca conservar los recursos maderables que resultan de utilidad en el predio y la protección del agua y el sistema de manejo determinado es primitivo, adecuado para las condiciones de RT

- **Manejo de los animales**

El manejo de los animales demanda un profesional calificado y 10 trabajadores que aportan 300 jornales/mes para las diferentes actividades relacionadas con el manejo de las vacas en producción, las novillas en levante y las terneras lactantes. Las terneras recién nacidas se dejan con las madres durante los primeros 3 días y luego se aíslan a los terneriles, allí se les suministra 4L/leche durante 4 meses, mientras que el suplemento nutricional se les suministra hasta el mes 6 a razón de 0.5K/día. Después del mes 6 las terneras pasan al lote de novillas donde consumen pasto, y a cada animal se le suministra aproximadamente 0.8K/concentrado/día y 50g de sal. Las labores de ordeño demandan el 75% de los jornales y las labores de cuidados de terneras, cambio de potreros, suministro de agua, desplazamiento y suministro de suplementos alimenticios ocupan el 25% de la mano de obra disponible para el manejo del componente pecuario. La inseminación y manejo de la genética está a cargo del administrador.

Las vacas en producción consumen en promedio 4 K concentrado/día, 150g de sal, los medicamentos preventivos y curativos son altamente variables, a excepción de los kit de secado, diagnóstico para la mastitis y las vacunas obligatorias de aftosa, brúcela y los sangrados. Se estimó que dentro de los costos de manejo de los animales el 39.3% corresponde a la alimentación, 24.4% a la mano de obra, 3% a la sanidad animal y el 33.3% son gastos relacionados con la gestión de la leche propiamente.

- **Determinación de la receptividad tecnológica.**

El predio La Brígida presenta restricciones por condiciones de humedad, al estar localizado en una región muy húmeda el índice que le corresponde es de 0.125. Se determinaron 3 UNBIS bien diferenciadas por sus rangos de pendientes aunque con condiciones de suelos muy similares: textura media, profundos y con drenaje moderado a rápido como se presenta en la tabla 27. De acuerdo con los resultados el principal criterio diferenciador que permitió delimitar las UNBIS fueron las pendientes.

Tabla 27. UNBIS caracterizadas en el predio La Brígida

Cód	Área (Has)	%	Pendiente (%)	Textura	Profundidad	Hidromorfismo	UNES
20Cb-bb/b	17.27	12.7	3-7%	Liviana	Profundo	Estacional medio	Potreros 1 al 10; 37 al 39; 64 al 67.
20Cb-bc/e	16.02	11.7	25-50%	Media	Profundo	Drenaje moderado	Potreros 25 al 36
20Cb-bc/f	102.7	75.5	50-75%	Media	Profundo	Drenaje rápido	Potreros 1 al 24; 45 al 70; cultivo de papa

El producto de los índices de humedad, de pendiente y de sitio determinó la categoría de *Máxima Restricción* en cada una de las UNBIS con un valor de índice de 0,016 para las UNBIS 20Cb-bb/b y 20Cb-bc/e y 0,004 para la UNBI 20Cb-bc/f. La mayor ponderación se le asignó a la UNBI 20Cb-bc/f que se caracteriza principalmente por sus pendientes predominantes entre 50 y 75% ocupando el 52.8% del área total del predio. Como resultado el valor del IRT a nivel predial fue de 0,009 en la categoría de Máxima Restricción de acuerdo con la tabla 28. Del mismo modo se determinó el IRT para cada uno de los 10 predios restantes dentro de la tipología 4.

Tabla 28. Determinación del Índice de Receptividad Tecnológica para el predio La Brígida

UNBI	Índice de Humedad	Índice de Pendiente	Índice de Suelo	Índice de R.T.	Categoría de R.T.	Índice de Área	I.R.T. Predial
20Cb-bb/b	0,125	0,5000	0,250	0,016	Máxima restricción	0,074	0,001
20Cb-bc/e	0,125	0,125	1,000	0,016	Máxima restricción	0,398	0,006
20Cb-bc/f	0,125	0,0312	1,000	0,004	Máxima restricción	0,528	0,002
Predio					Máxima restricción	1,000	0,009

- **Determinación de la intensidad tecnológica**

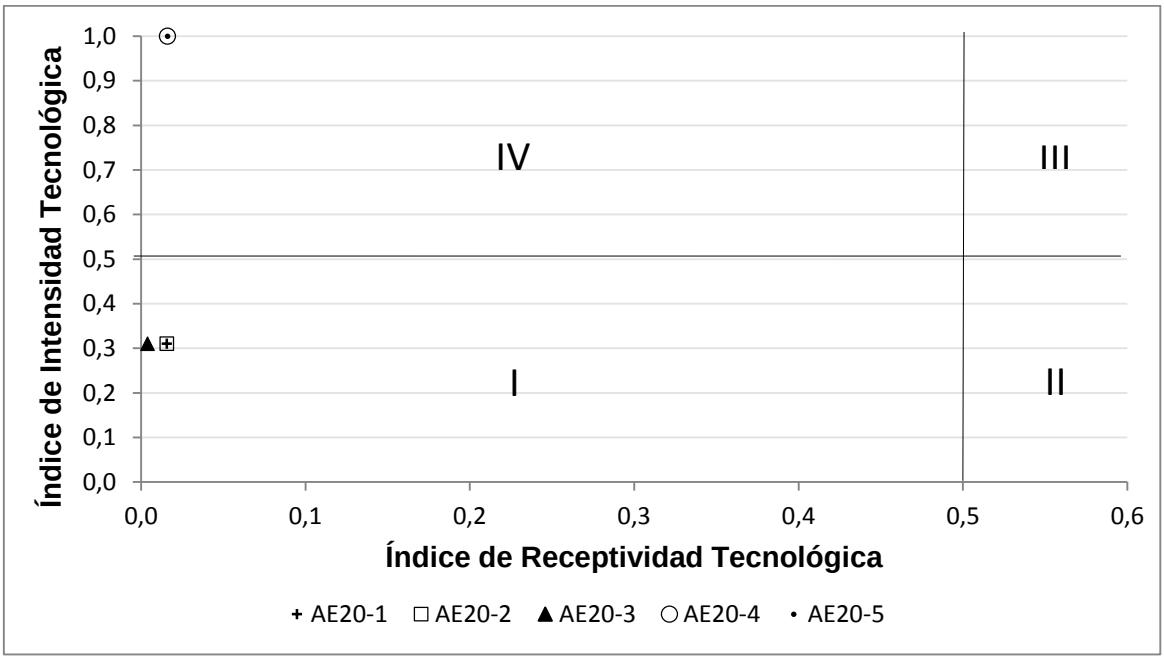
Cada una de la 3 UNBIS está asociada con diferentes usos, las áreas de conservación incluyendo los parches de bosque se encuentran bien aislados y se realizan aprovechamientos esporádicos de algunos recursos maderables, sin embargo lo que se busca en mantenerlos para la regulación del recurso hídrico por lo que el SMA se determinó como primitivo. Aunque los planes de fertilización de los potreros se hacen basados en análisis de fertilidad química del suelo, estos diagnósticos se hacen cada 7 años y la estrategia química del control de artrópodos y microorganismos no contempla el monitoreo y evaluación de estos, razón por la cual se define como un SMA tradicional. La tabla 29 define el SMA implementado bajo las condiciones de RT de la UNBIS y les asigna valores del IIT.

Tabla 29. Cálculo del Índice de Intensidad Tecnológica para el Predio La Brígida

UNBI	**RT**	**Coberturas**	**SMA**	**Índice de I.T.**	**Categoría de IT**	**Índice de Área**	**I.T. Predial**
020Cb-bb/b	Máxima restricción	Pastura en monocultivo	T	0,031	Inadecuada	0,0739	0,0023
020Cb-bc/e	Máxima restricción	Pastura en monocultivo	T	0,031	Inadecuada	0,0621	0,0019

		Rastrojo	P	1	Adecuada	0,0371	0,0371
		Bosques	P	1	Adecuada	0,1805	0,1805
		Humedales	P	1	Adecuada	0,1175	0,1175
020Cb-bc/f	Máxima restricción	Pastura en monocultivo	T	0,031	Inadecuada	0,4468	0,0139
		Cultivo Papa	T	0,031	Inadecuada	0,0812	0,0025
Predio					Media	0,999	0,356

Se determinaron tantos AES como UNBIS en el predio, puesto que correspondió el mismo manejo tradicional sobre cada una de estas. En la gráfica 19 se representan los AES del predio La Brígida con sus respectivos valores de IRT e IIT.



Cuadro 19. Espacio de Evaluación y Análisis de los AES del predio La Brígida.

- **Determinación del índice de mano de obra**

En consideración del tiempo de trabajo en el predio y la distribución de las actividades, se determinó el valor del IMO para el manejo de los agroecosistemas. La tabla 30 presenta las correspondientes relaciones en la estimación del IMO.

Tabla 30. Determinación del IMO para el manejo de los agroecosistemas

Área Total en manejo (Has)	Número de trabajadores	Área / # de trabajadores	I.M.O	Categoría
136	2.25	60.44	0.0625	Muy Extensivo

- **Determinación del índice de diversidad**

Se caracterizaron 3 AES y el uso del predio tiene que ver de manera directa con el cultivo de la papa, la producción de leche y la producción de carne. La tabla 31 presenta las variables que determinan el índice de diversidad I.D. para el predio La Brígida a partir del número de coberturas y los AES caracterizados en el predio.

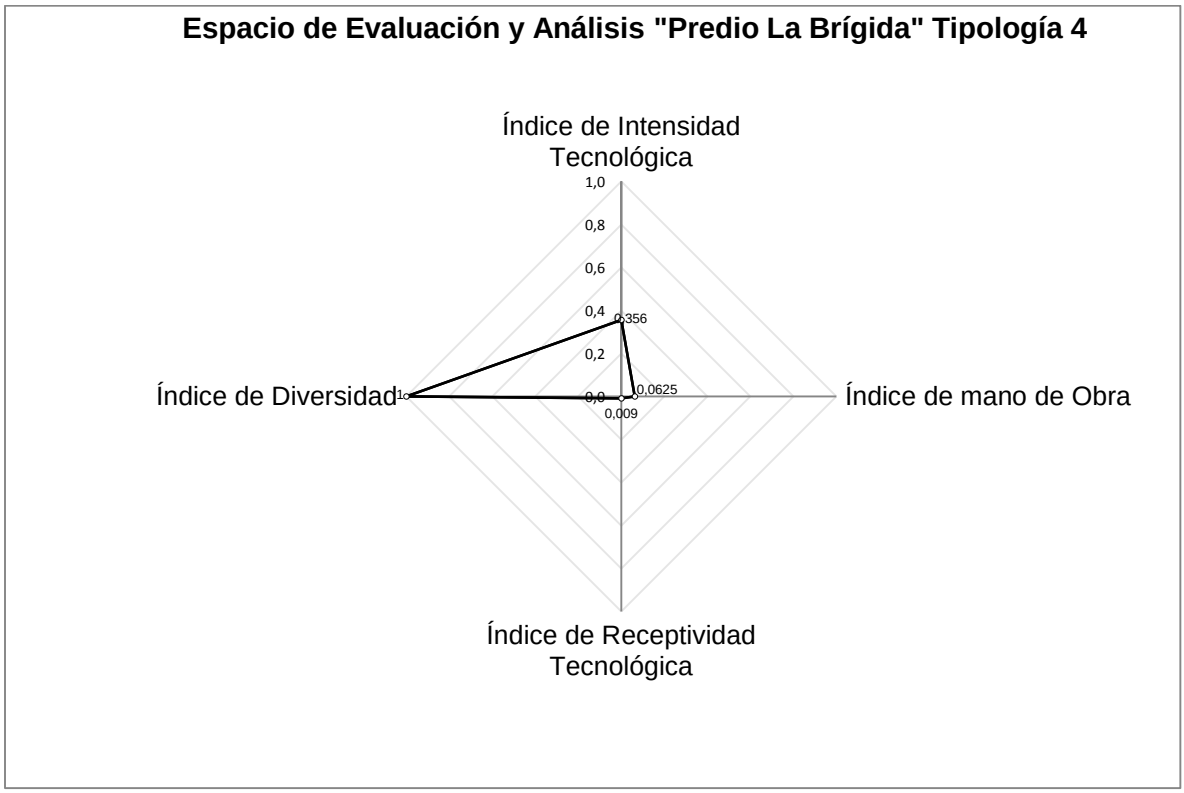
Tabla 31. Estimación del Índice de diversidad del predio La Brígida

Coberturas	Número de AES	# Coberturas / #AES	I.D.	Categoría
3	3	1	Muy diverso	1

Los cuatro índices determinados se integraron en un espacio de análisis en el cual se indica que bajo las condiciones actuales el predio presenta las mayores limitaciones para recibir a tecnología. En el caso de las praderas y de las áreas destinadas al arreglo papa-pastos, que ocupan el 57,7% y 8,1 % del área respectivamente, se aplica un SMA tradicional cuando lo recomendado es aplicar un SMA avanzado o primitivo. Los rastrojos, bosques y humedales que en conjunto representan el 33.5% del área son manejados adecuadamente al igual que las tecnoestructuras vinculadas a la extracción de leche pero que ocupan áreas inferiores al 1%.

La categoría de mano de obra Muy extensiva para los potreros y extensiva para el manejo de los animales denota mayor atención concentrada en el componente animal

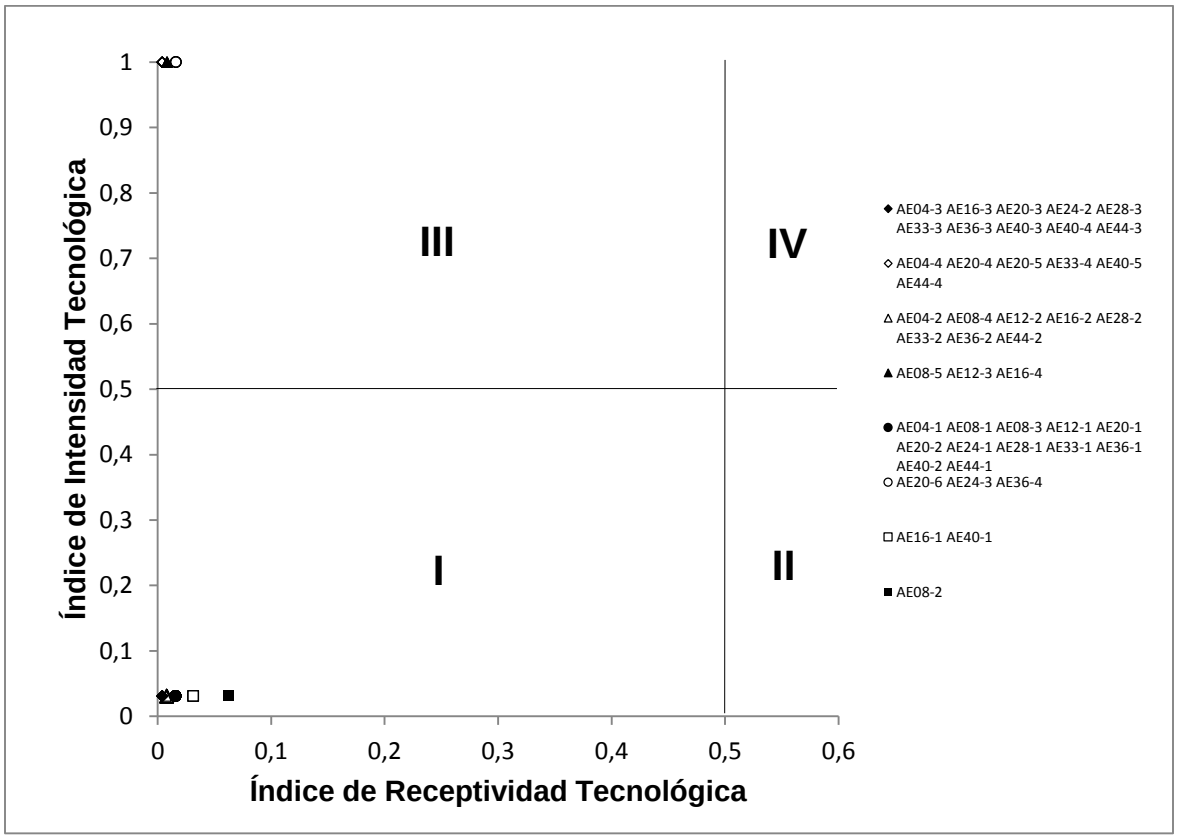
mientras que los AES operan bajo SMA inadecuados para la capacidad de acogida tecnológica que presenta el predio, lo que causa riesgo de degradación. La gráfica 20 representa la condición del predio La Brigida.



Cuadro 20. Espacio de integración de las variables de estado del predio La Brígida

- **Estado de los Agroecosistemas en los predios de la tipología 4**

De la misma forma que se presentó el estudio de caso anterior, los AES de los 11 predios correspondientes a la tipología 4 fueron caracterizados y evaluados. Esta tipología presentó un total de 46 AES cuya característica principal son las condiciones de baja RT. En 33 de estos AES, es decir en el 71.7%, se aplica una intensidad tecnológica inadecuada, mientras que en el 26.6% la intensidad tecnológica es adecuada. En el cuadro 21 se representan los AES caracterizados para la tipología 4.



Cuadro 21. Espacio de evaluación y análisis de 46 AES en predios de la tipología 4.

El cálculo del IMO y el ID en los predios restantes permitió realizar la evaluación y análisis de los AES a nivel predial. La tabla 32 resume el cálculo de los 4 índices determinantes en la evaluación y análisis a nivel predial.

Tabla 32. Determinación del estado de los predios de la tipología 4.

Predios	Índice de Receptividad Tecnológica	Índice de Intensidad Tecnológica	Índice de Mano de Obra	Índice de Diversidad
Monserrate	0,0084	0,138	0,125	0,50
La Gloria	0,0049	0,057	0,0625	0,20
La Esperanza	0,0089	0,0912	0,0625	0,67
El Corral de las Bestias	0,0155	0,162	0,125	0,25
La Brígida	0,0094	0,356	0,0625	1
La Montañita	0,0101	0,1756	0,125	0,33

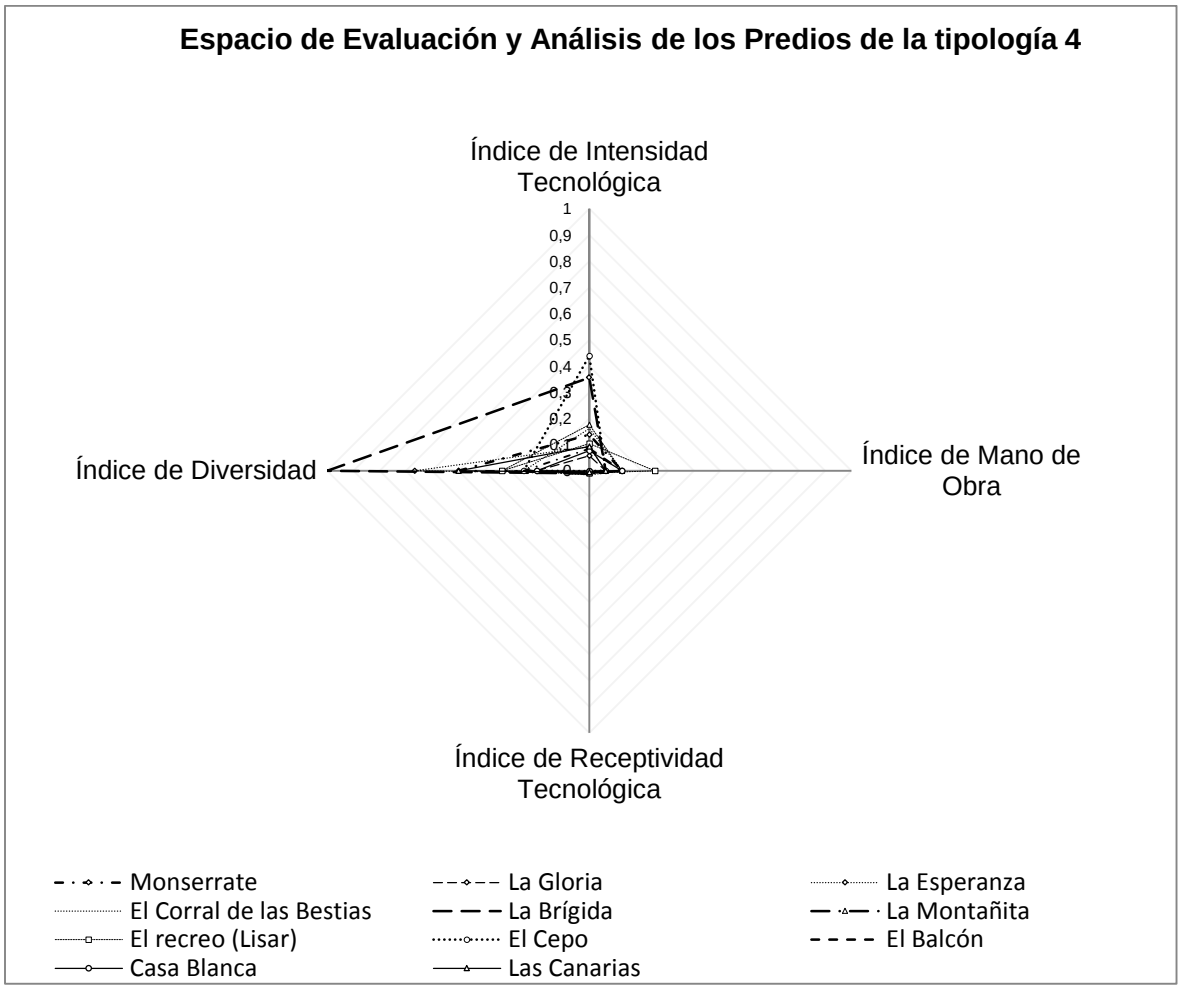
Tabla 32 (Continuación)

El Recreo	0,0087	0,1041	0,25	0,33
El Cepo	0,0011	0,4388	0,0625	0,25
El Balcón	0,0120	0,084	0,125	0,25
Casa Blanca	0,0007	0,077	0,125	0,20
Las Canarias	0,0044	0,0936	0,0625	0,50

En términos generales el IRT en esta tipología de predios es bajo y se ubica en la categoría de máxima restricción, relacionada principalmente con las variables humedad ambiental y pendiente del terreno que comúnmente se encuentran en el rango de 25 a 50%. La intensidad tecnológica se ve favorecida en los predios que presentan amplias áreas en cobertura boscosa ya que el manejo que se les aplica a estas coberturas resulta adecuado para la conservación de los AES. La Brígida y El Cepo son los predios de mayor tamaño en el estudio y conservan 34 y 35% de su área total en bosques que regulan el recurso hídrico lo cual les confiere un mejor IIT con respecto a los demás predios.

La mano de obra tiende a ser extensiva a muy extensiva esta tipología debido al tamaño de los predios, sin embargo, predios como El Recreo con un alto nivel de tecnificación en su estructura física, área limitada y con el asocio cerdos-pastos-lechería tienden a intensificar el uso de la mano de obra de manera considerable ubicándose en la categoría de intensidad media siendo el único caso excepcional.

En el 45.5% de los casos la categoría de mano de obra es muy extensiva, el 45.5% fue extensiva y el 9% de intensidad media. Con respecto a la diversidad de usos de la tierra, en el 9.1% de los casos se definió como diversa, el 72.7% en la categoría de diversidad media y 18.2% con diversidad baja. Por último, se encuentran implementadas estrategias productivas que no son las adecuadas para mantener la sostenibilidad de los predios, razón por la cual la tendencia del sistema productivo es a deteriorarse. En la gráfica 22 se representan los 11 predios de la tipología 4 evaluados mediante sus respectivos índices: IRT, IIT, IMO e ID.



Cuadro 22. Representación del estado de los predios en la tipología 4.

La evaluación y análisis de los AES en cada uno de los predios agrupados por tipologías, no solamente aclaró el estado en que estos se encontraron sino que permitió el acercamiento a las variables que contribuyen a explicar su vulnerabilidad biofísica y socioeconómica, en primer lugar por su bajo grado de correlación lo que hace independientes a estas variables y en segundo lugar porque se comprobó en campo que ante eventos climáticos extremos en la cuenca estas variables presentaron sensibilidad a los mismos. Por medio del análisis estadístico de los datos se abrió paso a la selección de las variables portadoras de información relevante para valorar las modificaciones de los sistemas de producción y las estrategias productivas implementadas en la cuenca.

El 98.3 % de los AES evaluados presentan la categoría de receptividad tecnológica de máxima restricción, mientras que 1.7% presenta categoría muy baja. El 76.3% son manejados de forma tradicional y 23.7% de forma primitiva.

.

En términos generales, los bosques son aislados con cercas eléctricas o alambres de púa para evitar que los animales ingresen y en algunas ocasiones se obtiene madera para ser utilizada. Este SMA implementado para bosques y humedales se define como primitivo y se considera un manejo adecuado para las condiciones de receptividad tecnológica a nivel predial. Las pasturas no son manejadas con rigurosidad técnica científica al no considerar prácticas culturales como encalamiento, evadir el monitoreo de insectos herbívoros, aplicar sobredosificación de fertilizantes de síntesis química y en algunos casos orgánicos como la porquinaza, sin renovación de praderas por lo que se definió como un SMA tradicional que resulta inadecuado para las condiciones de receptividad tecnológica de los AES.

El manejo fue adecuado para las condiciones de receptividad tecnológica en el 10% de los AES en la tipología 1 de predios, 28% en la tipología 2, 16.6% en la tipología 3 y 26% en la tipología 4. Esto pone en evidencia que en predios de menor tamaño se presenta menos áreas en protección, en predios de las tipología 2 y 4 hay tendencia a disponer de áreas para ampliar la capacidad productiva; mientras que en predios de la tipología 3 se evidenció mayor tendencia al alquiler de tierras para ampliar su capacidad productiva, el 41,6% de los propietarios acuden a esta situación.

El manejo es inadecuado para las condiciones de receptividad tecnológica en el 90% de los AES en predios de la tipología 1, lo mismo sucede con el 67.4% en la tipología 2, 74% en la tipología 3 y 71.4% en la tipología 4.

A nivel predial, en 84.1% de los predios se presentó una intensidad tecnológica inadecuada para las condiciones de RT, en 13.6% intensidad media y sólo en un predio, que equivale al 2.3% se presentó intensidad tecnológica alta. El 90% de la utilización de mano de obra corresponde a las categorías extensiva y muy extensiva y predomina la diversidad media y baja.

Los resultados previamente descritos permitieron entrar en el análisis detallado de los datos para la definición de las variables que contribuyen con la explicación de la vulnerabilidad biofísica y socioeconómica al cambio climático en los AES de la cuenca del Río Grande.

3.4 Definición de las variables explicativas de la vulnerabilidad biofísica y socio económica al cambio climático en agroecosistemas de la cuenca

Se midieron 30 variables agrupadas en 3 factores: 4 variables correspondientes al factor biofísico espacial, 18 variables al factor de manejo y 8 variables al productivo.

Mediante análisis de componentes principales (ACP) se redujo la dimensionalidad del conjunto de datos estudiado en 43 predios[4], al pasar de las 30 variables inicialmente descritas a 6 variables que se consideran explicativas de la vulnerabilidad de los AES y predios en la cuenca del Río Grande: 1 de tipo biofísico espacial, 4 relacionadas con el manejo y 1 con la productividad. La tabla 33 presenta la colección de variables que fueron medidas en cada predio, con su respectivo código y clasificadas en tres factores para su adecuada interpretación. Con estas variables se valoraron las modificaciones de los sistemas de producción y las estrategias implementadas en los predios por parte de los productores.

Tabla 33. 30 Variables factorizadas en biofísicas espaciales, de manejo y productiva

FACTOR	VARIABLE	CÓDIGO
BIOFÍSICO ESPACIAL	Área del Predio (Has)	APRE
	Área en Pastoreo (Has)	APAST
	Área en Conservación (Has)	ACONS
	Pendiente del terreno	PEND
	Número Total de Animales	TOTAN
	Número de vacas en producción	HATO
	Número de vacas Horras y Novillas	LEVAN
	Número de terneras	TERN

[4] En uno de los predios no se contó con información clave por lo que se excluyó del análisis

Tabla 33. (Continuación)

FACTOR	VARIABLE	CÓDIGO
MANEJO	Carga animal	CARGA
	Días de descanso de los potreros	DESC
	Número de rotaciones/año	ROT
	Costo / Ha en pastoreo/año	COSHA
	Costo Fertilizantes / año	COSFER
	Costo concentrados / año	COSCON
	Costos totales / año	COSTOT
	Costo del litro de leche	COSLIT
	Precio de venta Litro de leche	PREVENT
	Utilidad (Precio/Costo)	UTIL
	Costo pasturas/costo totales /año	COPAST
	Ingresos / año	ING
	Egresos / año	EGR
	Punto de Equilibrio (Litros/año)	PEQU
PRODUCTIVO	Productividad Bruta (Kg de pasto)	PBRUT
	Desperdicio (Kg de pasto)	DESP
	Productividad Neta (Kg de pasto)	PRONET
	Eficiencia en el consumo de pasto (%)	EFIPAST
	Producción / Vaca /día	PROVAC
	Producción / Hato / año	PROHAT
	Concentrado/vaca/día	CONVAC
	Litros / Ha / AÑO	LIHA

En la evaluación de los AES se determinó que las variables humedad ambiental, textura, profundidad efectiva e hidromorfismo, propuestas en la metodología de Vélez y Gastó (1.999), no fueron diferenciadoras de las condiciones biofísicas en las unidades de análisis. Todos los predios se localizan en la zona de vida bh-MB con transiciones al bmh-MB, en el 100% de los estudios de caso se encontraron texturas medias y en el 94.4% de los estudios de caso suelos profundos y drenajes moderados a rápidos (Ver anexo 1). Por lo anteriormente descrito, la principal variable diferenciadora de tipo biofísico fue la pendiente del terreno al definirse 7 rangos diferentes en 1.022.45 Has.

La variable área total del predio (APRE) presentó correlaciones positivas del 98.4% con el área en pastoreo (APAST) y del 95.5% con el área en conservación. Se logró evidenciar que en predios de gran superficie se presentaron mayores áreas en

conservación y que en los predios de menor superficie las áreas en conservación son porcentualmente muy reducidas o inexistentes. El área en conservación presentó una correlación positiva del 95% con los predios donde predominan niveles de pendiente del terreno superior al 50%. La alta correlación del 96% entre las variables APRE y PEND indica redundancia entre estas; pese a la importancia de ambas variables se consideró que las características del relieve desempeñan un papel clave en la vulnerabilidad de los predios, argumento soportado por los testimonios de los mismos productores quienes afirman que cuando los potreros son muy pendientes los animales en producción no pueden descansar y tienen que permanecer de pie, el desgaste energético de los animales se refleja en la disminución de la producción de leche, por el contrario, en relieves ondulados y planos se presenta una mejor producción tanto de los pastos al no quedar expuestos a la desecación por el viento, como de la leche al disminuir el gasto energético de los animales y en consecuencia mejorar su bienestar. El argumento se verificó mediante mediciones de productividad de los pastos y registros de la productividad de las vacas. Con base en lo anterior, se seleccionó a la variable PEND, como explicativa dentro del factor biofísico espacial, representada por valores >25% ya que fue una característica en el 57,2% del área estudiada. Además, se reitera que entre las variables medidas para determinar la receptividad tecnológica, PEDN fue la única diferenciadora.

Las variables del factor manejo: número total de animales (TOTAN), número de vacas en producción (HATO), número de novillas (LEVAN) y número de terneras (TERN) presentaron alto grado de correlación positiva entre sí. Los productores comúnmente mantienen entre 30% y 100% de los animales que reemplazarán a los individuos que hacen parte del hato y ellos deciden si mantienen o no cada cría de acuerdo con la capacidad de ampliar la carga animal en el predio. En este sentido, la variable que determinó el número total de animales en los predios es el número de vacas en ordeño (HATO). También definido como el eje de la actividad productiva, el tamaño del hato se encuentra directamente relacionado con los niveles de ingresos, egresos y por lo tanto con el punto de equilibrio de la actividad lechera. Generalmente, a mayor tamaño del hato los costos de producción se incrementan, los productores optan por ampliar el área en pastos dentro de sus predios o alquilar lotes para distribuir los reemplazos y con alta probabilidad se incurre en otras inversiones como la adquisición de equipos portátiles de ordeño, tanques de enfriamiento, unidades finales, la construcción de salas, caminos y

carreteras, en general la ampliación de la capacidad instalada. Además, estadísticamente la variable HATO presentó mayor factor de carga en esta primera agrupación por lo cual se selecciona como una de las variables representativas de este factor.

La variable costos totales/año (COSTOT) presenta una correlación positiva del 80.9% y 95.6% con las variables costo/fertilizantes/año (COSFER), costo/concentrado/año (COSCON) respectivamente. Los costos anuales totales en los predios se relacionan con el mantenimiento y manejo de las pasturas, el cuidado, alimentación y bienestar de los animales, el mantenimiento de equipos e infraestructura y el transporte de la leche, es decir, relaciona los costos de operación en los AES del predio y del componente animal. Con base en las estructuras de costos elaboradas con cada productor se demostró que los dos rubros de mayor representatividad fueron efectivamente los costos de fertilizantes y concentrados, razón por la cual la variable COSTOT es portadora de información de las variables COSFER y COSCON. A pesar de que COSTOT presentó el mayor factor de carga, el costo del litro de leche (COSLIT) desagrega los costos del proceso productivo, se relaciona de manera detallada cada ítem de la estructura de actividades en el predio, presenta una correlación negativa del 17% con el costo /Ha/año, lo cual indica débilmente que cuando se invierte poco en las pasturas se incrementa el costo litro de leche, también presenta una correlación negativa media con la variable costos pastos/costos totales (COPAST). Por el bajo grado de asociación con las demás variables, se eligió COSLIT como variable representante en gran medida de las estrategias de manejo implementadas por los productores.

El incremento del costo del litro de leche afecta negativamente las utilidades de los productores, en particular porque el precio de venta del mismo (PREVENT) es una variable aleatoria que no necesariamente se relaciona con las actividades de manejo implementadas por los productores, esta puede variar con base en los precios en la región costera del país, el incremento o disminución de las importaciones, los monopolios comerciales etc. En acopios comunitarios de leche no fue posible explicar las diferencias en los precios de venta entre productores a pesar de realizarse el mismo control para todos los usuarios.

Las variables días de descanso de los potreros (DESC) y número de rotaciones /año (ROT) presentaron una correlación negativa del 95%; este resultado indica que la información que portan las dos variables son similares, es información redundante y por

lo tanto fue suficiente con incluir a una de estas en el análisis, se eligió entonces a la variable ROT como otra representante del factor manejo que además presentó bajo grado de correlación con las demás variables del factor.

Igualmente, la relación Vacas en producción / Área en pastoreo, (CARGA) presentó bajo grado de correlación con las demás variables del factor, por lo tanto, presenta mayor grado de independencia y se considera una variable importante en la explicación de estrategias de adaptación por parte de los productores quienes optan por un pastoreo extensivo cuando disponen de áreas en sus predios, esto es básicamente disminuir la carga animal para disminuir a la vez costos de producción de las pasturas.

Entre las variables del factor productivo, la productividad bruta de las pasturas (PBRUT) presentó una correlación positiva del 83.5% con la variable productividad neta (PRONET) y del 56.4% con el desperdicio (DESP). Se interpretó que en los predios donde la productividad de las pasturas fue mayor se presentó un mayor consumo por parte de los animales y también se incrementó el desperdicio a causa del pisoteo, orinas, heces de los animales y en algunos casos volcamiento por el efecto del viento. A su vez, PRONET presenta una correlación positiva del 70% con la eficiencia en el consumo (EFIPAST). En otros casos se evidenció alta productividad y baja productividad neta por subpastoreo como estrategia para favorecer el rápido desarrollo de las pasturas y la conservación de la humedad del suelo en épocas de poca precipitación.

La variable producción/vaca/día (PROVAC) presentó una correlación positiva del 40.2% con la productividad neta y del 44% con el suministro de concentrado /vaca/día (CONVAC) y en general presenta grados medios de correlación con las demás variables del factor productivo. Los productores afirmaron que el rendimiento de las vacas desciende cuando hay cambios intempestivos de las condiciones climáticas, además que las épocas de precipitaciones generan más estrés por el frío lo que también les hace disminuir en la producción mientras que periodos secos favorece a los animales pero no sucede lo mismo con las pasturas. Esta situación permitió postular a la variable PROVAC como explicativa de la vulnerabilidad socioeconómica en predios donde los productores dependen de la alta genética de los animales y de estrategias de tecnificación de los sistemas basados en la especialización.

Por el grado de multicolinealidad, la técnica de ordenamiento del ACP permitió sintetizar la información redundante de 30 variables. La tabla 34 presenta la codificación de las variables originales y de las 6 variables seleccionadas como representantes de los factores biofísico espacial, de manejo y productivo.

Tabla 34. Variables originales y seleccionadas mediante ACP para los factores biofísico espacial, de manejo y productivo.

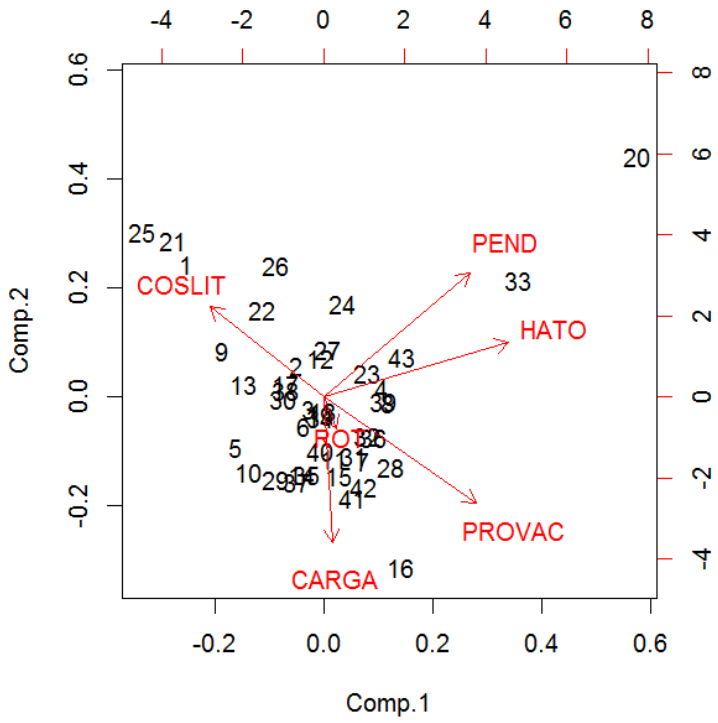
Factor	Código de variables originales	Código de variables seleccionadas
Biofísico espacial	APRE, APAST, ACONS, PEND	PEND
Manejo	TOTAN, HATO, LEVAN, TERN CARGA, DESC, ROT, COSHA COSFER, COSCON, COSTOT COSLIT, PREVENT, UTIL, COPAST, ING, EGR, PEQU	HATO, CARGA, ROT, COSLIT
Productividad	PBRUT, DESP, PRONET EFIPAST, PROVAC, PROHAT CONVAC, LIHA	PROVAC

Entre las variables depuradas se presentaron altamente asociadas las variables HATO y PEND lo cual se explica por la predominancia de pendientes del terreno mayores de 50% en el 64% de los predios estudiados y no significa que a mayores valores de pendientes mayor tamaño del hato. La tabla 35 presenta el grado de asociación de las variables que se consideran explicativas de la vulnerabilidad de los AES y predios de la cuenca del Río Grande.

Tabla 35. Matriz de correlaciones entre variables de los factores biofísico espacial, de manejo y productivo

	PEND	HATO	CARGA	ROT	COSLIT	PROVAC
PEND	1	0.71	-0.19	0.06	-0.04	0.15
HATO	0.71	1	-0.002	-0.009	-0.24	0.45
CARGA	-0.19	-0.002	1	0.11	-0.03	0.21
ROT	0.06	-0.009	0.11	1	0.19	0.18
COSLIT	-0.04	-0.24	-0.03	0.19	1	-0.49
PROVAC	0,15	0.45	0.21	0.18	-0.49	1

Las variables incorrelacionadas o que presentaron bajo grado de correlación son las que harán parte de las combinaciones lineales que explicarían el fenómeno complejo de la vulnerabilidad. El cuadro 23 presenta las variables que explicarían la vulnerabilidad de los predios ante la exposición a eventos climáticos extremos.



Cuadro 23. Biplot de 43 predios analizados y 6 variables explicativas de la vulnerabilidad de los AES en predios de la cuenca del Río Grande.

El biplot presenta de manera gráfica la información contenida en la tabla 34, pues las variables poco correlacionadas forman en el espacio *p* dimensional ángulos cercanos a 90 y se dice que exhiben independencia. La longitud de cada vector es proporcional a su contribución a los componentes principales. En la tabla 36 se relacionan los vectores propios que corresponden a las 6 variables que explican la estructura de varianzas y covarianzas de los datos. La longitud de cada vector es proporcional a su contribución a los componentes principales.

Tabla 36**.** Vectores propios de las variables que explican la varianza de los datos

	[Comp1]	[Comp2]	[Comp3]	[Comp4]	[Comp5]	[Comp6]
[PEND]	-0.48	0.50	0.17	-0.17	0.32	0.59
[HATO]	-0.60	0.22	0.07	-0.25	-0.15	-0.70
[CARGA]	-0.02	-0.59	0.28	-0.71	0.23	0.06
[ROT]	-0.04	-0.13	0.79	0.50	0.28	-0.16
[COSLIT]	0.37	0.36	0.51	-0.30	-0.60	0.08
[PROVAC]	-0.50	-0.43	0.04	0.23	-0.61	0.36

Los coeficientes dados por los vectores propios son directamente proporcionales a las correlaciones entre las variables originales y los componentes principales (CP). La matriz de carga o matriz estructura, representan cuan cercana se encuentra la variable al CP. Entre más cercano a 1 el CP porta casi la misma información que la variable. A mayor valor propio habrá mayor poder de explicación potencial del componente. La tabla 37 sintetiza el porcentaje explicado por las combinaciones lineales.

Tabla 37. Importancia de los componentes principales y porcentaje de varianza explicada.

Componente principal	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Desviación estándar	1.43	1.15	1.07	0.88	0.61	0.44
Proporción de la varianza	0.35	0.23	0.20	0.13	0.06	0.03
Varianza acumulada	0.35	0.57	0.77	0.90	0.97	1

Tres componentes principales podrían explicar en un 77% la estructura de varianzas y covarianzas de los datos y a la vez permitirían explicar la vulnerabilidad de los AES en predios asociados a la producción especializada de leche en la cuenca del Rio Grande. Se debe tener en cuenta que con la inclusión de un cuarto CP se lograría el 90% de explicación, donde la variable CARGA sería determinante en el aporte de dicha explicación, que se considera muy alta para un fenómeno complejo como el de la vulnerabilidad. Así, se definieron los componentes principales que se presentan a continuación:

En el CP 1 los mayores coeficientes se encuentran asociados a las variables HATO y PROVAC, estás variables por lo tanto contienen información a fin al CP y lo pueden

explicar ampliamente. El primer CP se definirá como el Componente productivo, se escribió como: **Y1 = 0.61*HATO + 0.5*PROVAC + 0.48*PEND – 0.37*COSLIT**

El CP2 se explicó por medio de la carga animal con el mayor coeficiente y de la pendiente del terreno PEND como variable del factor biofísico espacial que más incide en CARGA. El Segundo CP se definirá como el componente Biofísico espacial, se escribió como:

Y2 = 0.51*PEND–0.60*CARGA–0.43*PROVAC+0.37*COSLIT+0.22*HATO–0.13*ROT

El tercer CP se definió como el componente de manejo y se escribió como:

Y3 = 0.79*ROT+0.51*COSLIT+0.28*CARGA+0.17*PEND+0.07*HATO+0.04*PROVAC

En algunos predios localizados en las mayores altitudes de la cuenca y con valores de pendiente predominantes del terreno por encima del 50%, se evidenció físicamente y se constató con los productores la condición desfavorable en el desarrollo vegetativo de las pasturas. Se argumenta que los vientos durante las épocas secas son la causa principal de esta situación. Durante las épocas de alta precipitación estas mismas áreas favorecen la salida de los excesos de agua, debido a una mayor escorrentía superficial y se percibe una mejoría considerable en el desarrollo vegetativo de las pasturas, fue el caso particular en los predios de mayor extensión. Cabe mencionar que el 57.2% del área total estudiada el valor de PEND estuvo en el rango de 25 – 75%. Este hallazgo reafirma el planteamiento de Fisher *et al* (2.002) en cuanto al énfasis que debe hacer la investigación en la respuesta de las plantas ante el incremento de la temperatura y en la adaptación de los sistemas de producción a este tipo de eventos climáticos.

Lo anterior también concuerda con las aseveraciones de Altieri (1.999) referidas al alto nivel de interactividad entre el ambiente físico, que incluye el área del predio con su topografía, con las poblaciones de plantas y de animales. Por su parte, Vélez y Gastó (1.999) especifican que la geoforma ejerce un efecto directo sobre la cobertura vegetal al modificar la incidencia de los factores climáticos, como ocurre en los casos mencionados. En la misma dirección, Rueda, *et al* (2.011) refuerzan el resultado al argumentar que en periodos de sequía, las elevadas temperaturas, muchas veces con vientos desecantes afectan las áreas ganaderas, pues la oferta de forraje se minimiza incrementándose el sobrepastoreo, la compactación y la degradación de los suelos.

Bajo los escenarios futuros de CC proyectados por el IPCC (2.007) resulta alarmante el pronóstico de la disminución de lluvias y las altas tasas de evapotranspiración en las mayores altitudes del trópico, pues los valores de PEND en combinación con el diseños inadecuados de los sistemas productivos contribuirían al incremento de la vulnerabilidad de los AES en un área considerable de la cuenca.

El efecto de la variable PEND sobre los rendimientos del hato lechero se confirmó en uno de los estudios de caso (Predio La Germania), mediante la revisión de registros de producción. Cada vaca disminuía su producción de leche en promedio 1,6 L/día al tener que desplazarse en un tramo de 1Km en pendientes >50%. Esto justificó la adopción de la estrategia del ordeño manual en la parte alta del predio para evitar el desplazamiento de los animales. En varios predios los productores argumentaron similares situaciones pero no se contó con ningún tipo de evidencias. Se debe tener en cuenta que este es un efecto que una variable del factor biofísico sobre una variable del factor productivo como lo es el rendimiento por animal. Esta situación demuestra que la vulnerabilidad de la agricultura es un estado continuo de flujos entre procesos biofísicos y socioeconómicos, en este caso se enfatiza en los efectos de la variable PEND sobre la variable socioeconómica PROVAC como resultado del sistema de manejo definido por el productor, tal y como señalan O´Brien *et al*., (2.004).

Entre las estrategias de los productores, que tienen que ver con el manejo y que contribuyen con la gestión del medio biofísico, es destinar las áreas con mayores valores de PEND al cuidado de animales en etapas no productivas, ya que son áreas alejadas dentro del predio a las cuales se les aplica un manejo extensivo que generan menos impactos sobre el suelo y no compromete el factor productivo. Según Nadine *et al*., (2.016), esta elección demuestra la capacidad que tienen los productores primarios de transformar la estructura y función de su agricultura para incrementar la probabilidad de adaptarse a los escenarios de CC.

Sin embargo, la estrategia puede resultar insuficiente para hacer frente a los efectos del clima a mediano y largo plazo. Para precisar, Infante (2.013); Kaushik & Sharma (2.015) en sus investigaciones mencionan que entre las características de manejo que presentan los sistemas menos vulnerables en términos biofísicos, se han documentado la presencia

de bosques y cercas vivas y otras coberturas vegetales que minimizan los efectos desecantes del viento y del incremento de la temperatura. Otras contribuciones claves son aportadas por los sistemas silvopastoriles en los que Milera (2.013) y Murgüeitio *et al*.; (2.014) han demostrado que los suelos mejoran la capacidad de retención de agua, algo fundamental en las cuencas hidrográficas.

Entre las características de manejo que presentan los sistemas especializados en producción de leche en la cuenca del Rio Grande, está la homogeneidad de las coberturas vegetales expresada en monocultivos con la especie *Pennisetum clandestinum* Hochst Ex Chiov (pasto Kikuyo), escasa vegetación circundante, homogeneidad genética animal, el conocimiento tradicional campesino ha sido sustituido casi en su totalidad por la asistencia técnica para el *productor* con base en las metas del sector agroindustrial, alto uso de insumos externos como fertilizantes inorgánicos, suplementos alimenticios para los animales y medicamentos, ausencia de estrategias de recolección y cosecha de aguas en épocas lluviosas y escasos sistemas de irrigación. En fin, es una situación contraria a lo que Infante (2.013); Altieri (2.013) y Kaushik & Sharma (2.015) ilustran acerca de los sistemas menos vulnerables.

Al respecto, Lal (2.013) se refiere a que este tipo de sistemas pueden crear mecanismos de retroalimentación positiva y de ese modo amplificar los cambios bajo determinadas condiciones climáticas. Igualmente Blakie *et al.,* (1.994); Ajetamobi *et al.,* (2.011); Nicholls, (2.013) y Altieri *et al.,* (2.015) describen los sistemas agrícolas intensivos modernos, con características similares a las mencionadas y los definen como sistemas de mayor vulnerabilidad al ser más propensos a los impactos negativos de la variabilidad climática.

El tamaño del hato o número de vacas en ordeño (HATO) es una variable socioeconómica que determina la capacidad que tienen los productores para administrar y operar los recursos del predio, como también para desarrollar estrategias de adaptación. La situación de vulnerabilidad es diferencial entre los predios de acuerdo con el HATO. Las áreas totales de los predios con HATO<15 vacas oscilan entre 1.1 y 7.2 Has. En predios de menor área ejercen mayor presión sobre el medio biofísico por lo que los recursos forrajeros escasean rápidamente en épocas secas y las condiciones físicas del suelo se deterioran en épocas de altas precipitaciones. Ante tales efectos, los

productores optan por rentar otros espacios para sus animales y escasamente venden sus vacas. En esta misma tipología los predios con mayor área optan por manejar su sistema productivo de manera extensiva para no agotar sus recursos. En cualquier situación, los productores que administran los predios correspondientes a esta tipología generalmente disponen de tiempo para diversificar sus actividades productivas bien sea al interior o por fuera de sus predios con un menor nivel de dependencia con un mercado bajo la sombra de los efectos de los tratados de libre comercio (TLC).

En contraste, De los Ríos (2.015) demostró que en la misma región de estudio, los predios con HATO<15 vacas o escala de producción baja, presentaron una vulnerabilidad resultante alta ante el fenómeno de la Niña 2.010-2.011 debido a las altas limitaciones que presentaron para recuperarse después del evento. Dichas limitaciones se relacionaron con los bajos rendimientos productivos, la imposibilidad de asociarse a cooperativas o empresas que ofrecen mejores precios de compra, préstamos y suministro de insumos y mejoramiento genético de los animales.

Los predios con 16<HATO<30 vacas determinan la adquisición de herramientas tecnológicas (equipos de ordeño, tanque de enfriamiento, hidroestructuras), la incursión en el mejoramiento genético animal, en el arrendamiento de potreros para poder crecer, en la contratación de mano de obra. Bajo estas circunstancias todos los esfuerzos están puestos en la producción de leche con pocas opciones de diversificación y si en el camino de la especialización.

Los predios con 31<HATO<50 vacas determina la obligatoriedad de incorporar todas las herramientas tecnológicas posibles en el sistema productivo, la contratación de mano de obra, el cumplimiento de las normas de calidad en el sector lácteo, los procesos de certificación. Es clave en esta tipología que de acuerdo con las limitantes socioeconómicas, como disponibilidad de mano de obra, capital de trabajo o acceso a créditos y tamaño de la propiedad, los productores se tracen o no objetivos de crecimiento de la producción o de su negocio ante los efectos derivados de la variabilidad climática o de los tratados comerciales que pudieran eventualmente afectar su economía.

Los predios con HATO>50 vacas determinan el movimiento de altos flujos de capital inversiones en infraestructuras de avanzada, un gran número de trabajadores asalariado, compromiso total con la reglamentación para mejorar la competitividad del sector lácteo. De acuerdo con las cifras de Lafaurie (2.012) relacionadas con las importaciones de leche en polvo y la caída de las escasas barreras que aún protegen la leche colombiana en 2.026 y 2.027 para USA y la UE respectivamente, podría resultar previsible una mayor vulnerabilidad socioeconómica para esta tipología de predios. Sin embargo, De los Ríos (2.015) sitúa a esta tipología con bajo nivel de vulnerabilidad y mayor resiliencia ante eventos climáticos extremos debido a las áreas disponibles para ampliar la escala de producción, la capacidad de relaciones institucionales que le confieren capacidad para aumentar su potencial tecnológico y atender las exigencias del sistema lechero.

La variable socioeconómica carga animal CARGA hace parte del conjunto de estrategias de adaptación por parte de los productores. Al implementar una menor carga animal, se garantiza suficiente disponibilidad de forraje para los animales, bien sea ante los efectos de las épocas secas u otros de carácter socioeconómico como el colapso de los precios, o las eventuales *"enlechadas"* o sobreproducción de leche en la región.

En algunos predios se implementan bajos niveles de carga animal como estrategia para garantizar mayor desarrollo de las pasturas con menores costos de producción. Esta situación depende de las áreas disponibles para mantener animales en diferentes etapas de desarrollo. Un pastoreo extensivo disminuye la frecuencia en la aplicación de insumos externos a las pasturas e inclusive el suministro de suplementos nutricionales a los animales haciendo que su punto de equilibrio sea más bajo, se logran mejores utilidades con menor presión sobre los AES y por lo tanto disminuye su vulnerabilidad. Sin embargo, Hecht y Altieri (1.999) sostienen que los aspectos relacionados con la tenencia de la tierra pueden afectar la implementación de este tipo de estrategias.

Otros productores ven en la intensificación la forma de adaptarse a las demandas del mercado y para tal efecto una de las estrategias es aumentar los volúmenes de producción que se logra mediante la utilización intensiva del área en pastoreo con el incremento de la carga animal hasta de 5,2 vacas/Ha. A partir de esta común situación en la región de estudio, Murgüeitio (2.003) aduce que la compactación resultante de la alta carga animal, por el transito permanente de los animales, afecta en forma negativa el

flujo de agua a través del perfil del suelo y la estabilidad estructural, procesos que causan erosión superficial al no tener control sobre las aguas de escorrentía. En este sentido, los requerimientos de las pastura en épocas de sequía se ven afectados ante el impedimento para retener agua en el perfil, lo cual puede incrementar la vulnerabilidad socioeconómica debido los bajos niveles productivos y altos costos en los que el productor puede incurrir.

El análisis de la variable CARGA convalida la afirmación de Ojha *et al*., (2.014) acerca de que los productores no reciben de manera pasiva los impactos de los eventos climáticos o socioeconómicos, sino que responden de diferentes maneras, involucrando por ejemplo los cambios en los sistemas de manejo.

La variable socioeconómica costo de producción del litro de leche (COSLIT) engloba cada ítem que tiene relación con el manejo y mantenimiento de las pasturas, la cría, levante, cuidados y bienestar de los animales. Algunos productores consideran que los gastos derivados del acopio, transporte, servicio de deuda, impuestos entre otros, también hacen parte del costo de producción del litro de leche, otros por su parte, prefieren que se cuantifiquen sólo los costos de operación. Es una variable sensible a cualquier cambio que se aplique sobre la estructura de actividades del sistema productivo y por lo tanto, puede representar la racionalidad y las estrategias productivas implementadas en los AES del predio. En las unidades analizadas el costo mínimo fue de $326 (U$ 0.11), el costo máximo fue de $1.147 (U$ 0,37) y el valor promedio $554 (U$ 0.18). Estas cifras corresponden a los costos operativos, pues en estos no se incluyeron elementos de costos que los productores han considerado como inversiones y con los cuales no se podría explicar racionalmente su permanencia en el sistema especializado de producción de leche.

Según Estrada y Hollman (2.008), Colombia sería un mercado competitivo si produjera leche a menos de U$ 0,15. En concordancia con sus hallazgos, los predios se encuentran en una fase inicial de evolución y están demandando recursos principalmente para la adquisición de equipos de ordeño, tanques de enfriamiento, infraestructuras etc., lo cual resulta en la mayoría de los casos de la intensión de los productores por alcanzar la meta de mejores precios en razón a la resolución 000017 de 2.012 del Ministerio de

Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la cual se establecen bonificaciones o descuentos de acuerdo a los rangos de higiene y composición de la leche. Estas inversiones aunque "*se pagan con leche*", dicen los productores" no están reflejadas en el costo por litro producido. Contrario a lo expuesto por los mismos autores, para la región no se cumple ampliamente que haya un marcado interés en establecer pasturas mejoradas, ya que poco interés se presta a las labores de manejo de la pastura como cultivo, cumpliendo sólo con la aplicación de fertilizantes. Lo que es evidente es el infaltable suministro de insumos para los animales entre los cuales pesan los suplementos nutricionales, medicinas veterinarias, pajillas, servicios técnicos y médicos para los animales, para lo cual se acude comúnmente a créditos.

Los hallazgos de la investigación van de la mano con los resultados de Barrios y Olivera (2.013) en cuanto a que la mayor proporción de los costos se concentra en la alimentación (base forrajera + suplementos) con una participación promedio por encima del 50% del costo total. Aunque se considera que la obtención de una media aritmética de los puntos de equilibrio es una relación que desconoce la racionalidad que manejan los productores en los diversos predios y tampoco permite reflejar sus particulares estrategias de adaptación.

Otra incompatibilidad entre los resultados presentados en esta tesis y los de Barrios y Olivera, (2.013), a partir de sus análisis comparativos entre predios, tiene que ver con aquello de que los municipios con mayores volúmenes de producción son, al mismo tiempo, los de menores costos de producción, lo que obedece a las economías de escala. Aunque este postulado es cierto para en varios de los estudios de caso que se abordaron en esta investigación, también se evidenció que el 40% de los predios presentan costos por encima del promedio regional. También es cierto que en algunos estudios de caso en el municipio de Donmatías, donde no hay el nivel de especialización de otros municipios de la cuenca, sino que diversifican mediante el arreglo cerdos-pastos-leche, presentaron los menores costos de producción de pasto pero los mayores COSLIT. De esta manera, COSLIT es una variable que permite explicar las estrategias de adaptación de los productores frente a eventos naturales y económicos que puedan afectar su producción.

La productividad/vaca/día (PROVAC) es una variable socioeconómica del factor productivo que es dependiente del sistema de manejo implementado por el productor. En esta variable se reflejan numerosas actividades del proceso productivo entre las que se destacan el manejo de las pasturas para suplir las necesidades nutricionales de los animales, el nivel genético adoptado en el hato lechero, el nivel de suplementación por medio de insumos externos y la sanidad animal.

PROVAC hace alusión a la cuantificación del volumen de leche producida por vaca/día; por lo que es necesario especificar que la raza *Holstein* es considerada en la región como ideal para lograr altos volúmenes aunque los productores reconocen que la calidad de su leche no es la mejor. En lo referente a esta raza, Bustamante *et al*., (2.016) concluyeron que el porcentaje de grasas y proteínas en la leche no se afecta significativamente al comparar épocas secas con épocas de lluvia; sin embargo, los estudios se realizaron en periodos de 5 semanas para cada condición climática, lo que amplía la incertidumbre acerca de los que pueda suceder en periodos prolongados.

La raza *Jersey* produce volúmenes más bajos que la raza Holstein; sin embargo, los productores que las manejan consideran que es una raza ideal para obtener mejor calidad de producto en cuanto a grasas y proteína, y en consecuencia obtener mejores precios en el mercado que logran compensar los bajos rendimientos.

Rust & Rust (2.013) consideran que la reducción de la producción animal puede ser sustancial y podría resultar en costos significativos para algunas regiones teniendo en cuenta que a mayor volumen de producción se presenta más dilución de los costos, mientras que Barrios y Olivera (2.013) han demostrado que la variación en PROVAC explica el COSLIT en un 99.8%. Pese a lo anterior, junto al grado medio de correlación negativa obtenido entre las variables PROVAC y COSLIT, la elección de la variable PROVAC se basó en la importancia de esta para brindar información sobre aspectos críticos en los AES del predio como las razas manejadas, el cuidado de las pasturas y los niveles de suplementación.

Sobre la variable rotaciones de las pasturas / año (ROT) se evidenció y se recibieron testimonios de la sensibilidad de los pastos a los periodos prolongados de sequía. En

épocas de bajas precipitaciones y altas temperaturas se incrementa el número de rotaciones debido a la disminución de la productividad de las pasturas, este efecto se amplifica ante la escasa tendencia a almacenar agua o implementar sistemas de riego, con excepción de los predios donde se presentan arreglos cerdos-pastos-leche, donde la aplicación de porquinaza funciona como fertirriego. Se encontró que la variable fluctuó entre 6 y 17.4 (rotaciones/año) y aunque pareciera relacionarse con la variable CARGA, es de aclarar que en la mayoría de los casos ROT se relacionó con decisiones tomadas por el productor con base en el nivel de productividad de las pasturas, ya sea por degradación agronómica de la misma o por el efecto de las épocas secas.

En ese sentido, Milera (2.013) sostiene que el uso de árboles y arbustos permite mayor tolerancia a la sequía y estabilidad en la producción de forraje; mientras que Nicholls y Altieri (2.012) señalan que la diversificación al interior de los sistemas agrícolas puede reducir la vulnerabilidad al proteger la producción agrícola cuyo, respecto a lo cual Arriaga *et al.,* (1.999) concluyeron que las praderas cultivadas en el asocio pastos con trébol blanco (*Trifolium repens* L.), ofrecen una mejor base nutricional para los animales, en consecuencia las vacas requieren menos cantidad de suplementos para producir y se reduce la necesidad de fertilizantes sobre las pasturas. Esto, según De los Ríos (2.015) flexibilizaría las relaciones del productor con el mercado de insumos, lo cual contribuye con la disminución de la vulnerabilidad.

El Centro de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) en cabeza de Murgüeitio (2003) ha evaluado suficientemente los efectos ambientales de esta intensificación destacando entre los principales impactos: la compactación de los suelos, la erosión en terracetas (pata de vaca), la desecación de humedales, la demanda de recursos maderables nativos, entre otros efectos que pueden deteriorar la condición de los recursos naturales incrementando así la vulnerabilidad de los AES.

La elección de la variable ROT se fundamentó en la importancia de esta para interpretar la intensidad de uso que se ejerce sobre los AES de los predios, mediante presión de pastoreo, las entradas de insumos externos y pérdidas de los mismos por inadecuado manejo.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Los eventos climáticos que más afectan los agroecosistemas de la cuenca del Rio Grande son la disminución de las lluvias y el incremento de la temperatura que conlleva a sequías prolongadas.

Bajo las condiciones ecológicas en las que se encuentra ubicada la cuenca del Río Grande, a saber, bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) con transiciones al bosque muy húmedo Motano Bajo (bmh-MB), las características biofísicas: humedad ambiental, profundidad efectiva del suelo e hidromorfismo no son variables diferenciadoras en la mayoría de los agroecosistemas. La principal variable biofísica espacial diferenciadora en la evaluación del estado de los AES es la pendiente del terreno PEND.

En el 100% de los agroecosistemas, los Índices de Receptividad Tecnológica (IRT) obtenidos corresponden a las categorías de máxima restricción y las variables que más inciden en la valoración del IRT son la humedad ambiental y la pendiente del terreno. La vulnerabilidad del medio biofísico está determinada por la intensidad tecnológica que se le aplica a los agroecosistemas bajo sus condiciones de receptividad tecnológica. De un

total de 173 AES, a 132 de estos (76.3%) se les aplica una intensidad tecnológica inadecuada, lo cual quiere decir que su vulnerabilidad biofísica tiende a incrementar. A un total de 41 AES (23.7%) principalmente áreas en conservación, se les aplica una intensidad tecnológica adecuada lo cual indica que su vulnerabilidad biofísica tiende a disminuir.

A nivel predial, en el 100% de los casos se presenta un Índice de Receptividad Tecnológica correspondiente a la categoría de máxima restricción y los sistemas de manejo agrotecnológico implementados no son los recomendados para las condiciones de Receptividad Tecnológica en el 30.2% de los estudios de caso, 20.9% de estos corresponden a una intensidad tecnológica Muy extensiva,34.9% extensiva, 14% media y sólo en 1 predio equivalente al 2.3% de los estudios de caso se están implementando sistemas de manejo agrotecnológico que están consultando las restricciones del medio biofísico.

.

La pendiente del terreno “PEND” se seleccionó como variable explicativa de la vulnerabilidad biofísica por ser diferenciadora entre las demás variables biofísicas medidas y porque condiciona el manejo de los agroecosistemas y por la sensibilidad de las pasturas cuando se localizan en altas pendientes bajo condiciones de sequía.

El tamaño del hato “HATO” se definió como variable explicativa de la vulnerabilidad socio económica porque es determinante del nivel tecnológico adoptado por los productores, define sus niveles de asociación y determina la flexibilidad que puedan tener en sus relaciones con el mercado.

La carga animal “CARGA” se definió como una variable explicativa de la vulnerabilidad socioeconómica porque sobre su base se definen algunas estrategias productivas por parte de los productores con el fin de adaptarse al medio socioeconómico. Bien por la vía de la intensificación o del manejo extensivo, lo que su vez es función de las metas de los productores.

El costo del litro de leche “COSLIT” se definió como variable explicativa de la vulnerabilidad socioeconómica porque brinda información sobre las diferentes estrategias

productivas implementadas por los productores en sus predios. Generalmente, muy sensible a los efectos de los eventos climáticos extremos.

La producción/vaca/día “PROVAC” se definió como variable explicativa de la vulnerabilidad socioeconómica porque brinda información sobre la sensibilidad de aspectos claves del proceso productivo como el manejo de los pastos, de las razas de ganado y el nivel de suplementación nutricional de los animales.

Las rotaciones / año “ROT” se definió como una variable explicativa de la vulnerabilidad socioeconómica porque brinda información sobre aspectos críticos relacionados con la intensidad de uso de los recursos naturales y los flujos de entradas y salidas en los agroecosistemas, además es sensible en épocas de sequía.

Los mapas de agroecosistemas de los predios representan la espacialización de las variables biofísicas y socioeconómicas seleccionadas en esta investigación. Este producto comprende un completo archivo cartográfico generado en todos los predios estudiados y entregados a los productores junto con las estructuras de actividades y los análisis de los costos de producción que incluyen los puntos de equilibrio, el estudio de la productividad de las pasturas, el espacio de análisis de los predios y las recomendaciones técnicas derivadas del análisis de la condición y tendencia de los agroecosistemas. Esta información entregada fue muy bien valorada por parte de los productores, quienes atestiguan que es común que los investigadores no retornen la información que procesan a partir de los datos tomados en sus predios.

4.2 Recomendaciones

En vista de las dificultades para sincronizar los muestreos de coberturas vegetales en los diferentes rangos de pendientes del terreno y las limitantes de tiempo que se presentan en este tipo de actividades, se recomienda que las mediciones y evaluaciones se realicen con base en el efecto de las pendientes del terreno sobre las coberturas vegetales y garantizarlas de manera trimestral.

Se requiere el establecimiento de parámetros que resulten útiles como puntos de referencia para las variables que podrían explicar la vulnerabilidad de los AES y predios entre las diferentes tipologías.

Sería necesaria una investigación adicional que tenga que ver con la renta de la tierra y acerca del proceso de fragmentación de los espacios naturales. Esto en razón a la evidencia que se tuvo con respecto a la localización de los predios de mayor tamaño a considerables distancias de las cabeceras municipales mientras que en las cercanías de las cabeceras se evidenció mayor subpredialización.

Bibliografía

ABBOT, J; GUIJT, I. 1.998. Changing View son Change: Participatory Approaches to monitoring the environment. SARL paper No 2. [Fecha de consulta: 26 de Agosto de 2.015]. Disponible en: http://www.cgiar-ilac.org/files/Abbot_changing_views.pdf.

ADGER W.N. 2006 Vulnerability. Global Environmental Change 16 (2006) 268–281 Disponible en: www.elsevier.com/locate/gloenvcha.

ALTIERI, M.A. 1.999. Agroecologia: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable. Con contribuciones de Susanna Hecht, Matt Liebman, Fred Magdoff, Richard Norgaard y Thomas O. Sikor. Editorial Nordan Comunidad. 325p.

ALTIERI, M.A. 2.013. Construyendo Resiliencia Socio-ecológica en Agroecosistemas: Algunas Consideraciones Conceptuales y Metodológicas. En: Agroecología y Resiliencia Socio Ecológica: Adaptándose al Cambio Climático. REDAGRES, SOCLA, CYTED, Universidad de La Frontera Temuco-Chile, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de Antioquia. p. 94 – 104.

ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.; HENAO, A.; LANA, M.A. 2.015. Agroecology and the Design of Climate Change Resilient Farming Systems. Agron.Sustain.Dev. 35. 869-890. [Recuperado en Marzo 23 de 2.016]

ÁLVAREZ, A. 2.014. El cambio climático y la producción animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola [en linea] 48 ( ): [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2015] Disponible en:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193030122004> ISSN 0034-7485

AJETOMOBI, JOSHUA, ABIODUN, AJIBOYE, HASSAN, RASHID. Impacts of Climate Change on Rice Agriculture in Nigeria. Tropical and Subtropical Agroecosystems. [en linea] 2011, 14 (Mayo-Agosto) : [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2015] Disponible en:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93918231024> ISSN

APOLLIN F. & EBERHART C. 1999. Análisis y Diagnóstico de los Sistemas de Producción en el Medio Rural “Guía Metodológica” CAMAREN, Quito-Ecuador. 237p.

ARIAS, R.A.; MADER, T.L.; ESCOBAR, P.C. 2008. Factores Climáticos que Afectan el Desempeño Productivo del Ganado Bovino de Carne y Leche. Archivos de medicina Veterinaria Vol. 40 (1) p7-22

ARRIAGA, J.C.; ESPINOZA A.; ALBARRÁN, B.; CASTELÁN,O. 1.999. Producción de Leche en Pastoreo de Praderas Cultivadas: Una alternativa para el altiplano central. Ciencia Ergo Sum. 6 (3). Universidad Autónoma del Estado de México. [Disponible en Redalyc. Recuperada en Abril 3 de 2.016]

BARRIOS,D. & OLIVERA, M. 2.013. Análisis de la Competitividad del sector lechero: Caso Aplicado al Norte de Antioquia, Colombia. Innovar 23 (48) p 33-42.

BATES, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds., 2008: El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.

BERRY, P.M., ROUNSEVELL, M.D.A., HARRISON, P.A.,AUDSLEY E. 2006. Assessing the vulnerability of agricultural land use andspecies to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. Environmental Science & Policy (9) 189 – 204

BIALA, K.; BIELDERS, C.; BROUCKAERT, V.; FRANCHOISE, L.; GARCÍA, V.; HERMY, M.; MATJIGS, E.; MUYS, B.; PEETERS, A.; REIJNDERS, J.; VALCKX, J.; VAN CAUWENBERGH, N.; VAN DER VEKEN; B.; VAN CLOOSTER, M. 2005. Preeliminary Ideas on the Development of a Framework for Assessing Sustainability Levels in Agricultural Systems (SAFE). In : Molin a Alcaide E. (ed.), Ben Salem H. (ed.), Biala K. (ed.), Moran d-Feh r P. (ed.).*Sustainable grazing, nutritional utilization and quality of sheep and goat products .* Zaragoza : CIHEAM. p. 445-451 (Option s Méditerran éen n es : Série A. Sémin aires Méditerran éen s; n . 67).

BLAIKIE P., CANNON T., DAVIS I. y WISNER B. 1994. Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. Tercer mundo editores. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América latina.374 p.

BLANCO, H.; WAUTIEZ, F.; LLAVERO, A. y RIVEROS, C. 2001. Indicadores Regionales de Desarrollo Sustentable en chile: ¿Hasta qué punto son útiles y necesarios? Revista EURE (Santiago). Vol. 27, n.81, p. 85-95. ISSN 02507161. http://dx.doi.org/ [Consultado online el 27-07-2.015).

BULATKIN, G.A. 2012. Analysis of Energy Flows in Agroecosystems. Herald of the Russian Academy of Sciences Vol 82. N 4. p.326-334

BUSTAMANTE, C.L.M; SEPULVEDA, V.J.U.; RESTREPO, M.A. 2.016. Effect of the Climatic Period on the Nutritional Quality of Cow´s Milk in Antioquia. Revista Facultad Nacional de Agronomía. 69 (1). pp 7855 – 7865.

CABELL, J.F.; OELOFSE, M. 2012. An Indicator Framework for assessing Agroecosystem Resilience. Ecology and society 17(1):18. Disponible en: www.ecologyandsociety.com/vol17/iss1/art18/. [consultado el 28-07-2.015].

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ, 2.013. Informe anual. 184p.

COLLINSON, M. 2000. A History of Farming System Research. Published by FAO and CABI publishing. 406p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CENTRO DE ANTIOQUIA CORANTIOQUIA – Universidad Nacional de Colombia 2002. Mapa geomorfológico, de amenazas y áreas degradadas de la jurisdicción de CORANTIOQUIA a escala 1:100.000. Medellín.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CENTRO DE ANTIOQUIA CORANTIOQUIA Y Universidad Nacional de Colombia 2012. Valoración Económica, Ecológica y Socio Cultural de Bienes y servicios Ambientales en la Cuenca de Riogrande. Aproximación Conceptual y Metodológica. Contrato 8811. 547p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CENTRO DE ANTIOQUIA CORANTIOQUIA, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA (2012). Diseño de un Modelo Conceptual de Análisis de Riesgo Asociado con Cambios Ambientales Globales en la Cuenca del Río Grande. Caso de Aplicación: Estudio de Impactos Proyectados para

Diferentes Escenarios de Cambio Ambiental en la Cuenca del Río Hato, con Énfasis en la Disponibilidad y Calidad del Recurso Hídrico. Facultad de Ingeniería. Grupo GIGA. Contrato 8824 – 2010.

COSTA; P.C. 2007. La Adaptación del Cambio Climático en Colombia. Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes, núm. 26 Bogotá p 74-80. [Recuperado en Febrero de 2016]

DE LOS RÍOS, C.J. 2.015. Vulnerabilidade da Agricultura ás Mudancas Climaticas na Bacia Do Rio Grande (Antioquia-Colombia): Uma Abordegem a partir do Territorio e da Resiliencia dos Sistemas Socioecológicos. Tesis de Doctorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Brasil.305p.

DUQUE, E.G. 2.010. Tomado del diario La Patria – Manizales [Julio 19- 2.010] Profesor de la Universidad Nacional de Colombia.

DURSTON, J. 2.002. El Capital Social Campesino en la Gestión del Desarrollo Rural. Santiago de Chile: CEPAL.

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN (epm) 2.014. Boletín Informativo de la Vicepresidencia de Comunicación y Relaciones Corporativas. [Disponible en www.epm.com.co. Recuperado en Abril 2 de 2.016].

ESTRADA, R.D. HOLMANN, F. 2.008. Competitividad de la Producción de Leche Frente a los Tratados de Libre Comercio en Nicaragua, Costa Rica y Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. International Livestock Research Institute ILRI. 79p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ESRI, 2.013. ArcGIS Desktop. Versión 10.1. Redlands, CA

ETTER, A. 1990. Introducción a la Ecología del Paisaje. Un marco de Integración para los Levantamientos Ecológicos. Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá. 99p. [Recuperado en Julio 28 de 2.015].

ETTER, A. 1991. Introducción a la Ecología del Paisaje. Bogotá D.E. IGAC.83 p.

FAO y BANCO MUNDIAL. 2001. Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza. "Cómo mejorar los medios de subsistencia de los pequeños productores en un mundo cambiante". Roma y Washington D.C. 483p.

FELLMANN, T. 2012. The Assessment of Climate Change – Related Vulnerability in the Agricultural Sector: Reviewing Conceptual Frameworks. Building Resilience for Adaptation to Climate Change in the Agriculture Sector P. 37 – 61

FISCHER, G. SHAH, M. VAN VELTHUIZEN, H. 2002. A special report, prepared by the International Institute for Applied Systems Analysis under United Nations Institutional Contract Agreement No. 1113 on "Climate Change and Agricultural Vulnerability" as a contribution to the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg. Remaprint. Vienna. 160p.

FREDERIKSEN, P. Y P. KRISTENSEN. 2008. An indicator framework for analysing sustainability impacts of land use changes, Sustainability Impacts Assessment of Land Uses Changes, 293 – 304. Disponible en: www.springer.com

FUHRER, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO2, Ozone and global climate change. Agriculture, Ecosystems and Environment. 97 (1-20). Disponible en www.elsevier.com/locate/agee. [Consultado el 28-07-2.015].

GASTÓ, J. 1983. Ecosistema: Componentes y Atributos Relativos al Desarrollo y medio Ambiente. Bases Ecológicas de la Modernización de la Agricultura. Informes de Investigaciones. Sistemas de Agricultura. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile, Central de Apuntes. 170 p.

GASTÓ, J.; VÉLEZ, L.D.; D´ANGELLO, C. 1997. Gestión de Recursos Vulnerables y Degradados. En: Programa Cooperativo para el desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur. Libro verde: Elementos para una Política Agroambiental en el Cono Sur. Montevideo: Procisur. P. 75 – 116.

GERDESSEN, J.C. & PASCUCCI, S. 2013. Data envelopment analysis of sustainable indicators of european agricultural systems at regional level, *Agricultural Systems* (118): 78 – 90. Disponible en: www.sciencedirect.com

GLIESSMAN, S.R. 2.002. Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Turrialba. C.R. CATIE. 359p.

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. 2011. Anuario Estadístico de Antioquia. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. 2011. Perfil Subregional del Norte Antioqueño. 180p

GOLUSIN, M. & IVANOVIC, O.M. 2009. Definition, Characteristics and State of the Indicators of Sustainable Development in Countries of Southeastern Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol 130. p. 67-74. Disponble en: www.elsevier.com/locate/agee. [Consultado el 29-07-2015].

HART, R.D. 1985. Agroecosistemas: Conceptos básicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. 211p.

HECHT, S.B. 1.999. La Evolución del Pensamiento Agroecológico. En: Agroecologia: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable. Editorial Nordan Comunidad. 325p

HERNANDEZ, S.R.; FERNANDEZ, C.C.; BAPTISTA, L.P. 2006. Metodología de la Investigación. Cuarta Edición. McGraw Hill Interamericana. 850p.

HESS, G.R.; CAMPBELL,C.L. FISCUS, D.L.; HELLKAMP, A.S.; MC QUAID, B.F.; MUNSTER, M.J.; PECK, S.L.; SHAFER, S.R. 2.000. A conceptual Model and Indicators for assessing The Ecological Conditions of Agricultural lands. Published in: Journal of Environmental Quality Vol. 29 N. 3 (p.728-737). Disponible en www.sciencesociety.org. [Consultado el 28-07-2.015).

HOLMAN, F.; RIVAS, L.; CARULLA, J.; RIVERA, B.; GIRALDO, L.; GUZMÁN, S.; MARTINEZ, M.; MEDINA, A.; FARROW, A. 2.003. Evolution of Milk Production Systems in Tropical Latin América and its Interrelationship with Markets: An Analysis of the Colombia Case. Livestock research for Rural Development. *Volume 15, Article # 68.* Retrieved March 9, 2016, from http://www.lrrd.org/lrrd15/9/holm159.htm

HÜNNEMEYER, A.J., CAMINO, R., MÜLLER, S. 1997. Análisis del Desarrollo Sostenible en Centroamérica. Indicadores para la Agricultura y los Recursos Naturales. IICA, BMZ, GTZ. San Jose de Costa Rica. 157p.

IDEAM (2.010). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Resumen ejecutivo 66p. Bogotá.

IGAC. 2007. Levantamiento Semi detallado de las Coberturas Terrestres del departamento de Antioquia. Resultados Subregión Norte.

IGAC. 2007. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Antioquia. Imprenta nacional de Colombia. 992p.

INFANTE, A. 2.013. Agroecología y Programas de Desarrollo Sustentable en el Secano de Chile. En: Agroecología y Resiliencia Socio Ecológica: Adaptándose al Cambio Climático. REDAGRES, SOCLA, CYTED, Universidad de La Frontera Temuco-Chile,

Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de Antioquia. P 1 – 17.

IPCC, 2007: *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

IPCC, 1995: *Cambio Climático 1.995.* Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Segundo Informe. OMM, WMO, PNUMA, UNEP. 81p. Cambridge University Press, Reino Unido.

IPCC, 2.014: *Cambio Climático 2.014. Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.. Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. OMM.PNUMA. 40p.

JANSSEN, M.A.& OSTROM, E. 2006. Global Environmental Change 16 (2006) 237–239 Resilience, vulnerability, and adaptation: A crosscutting theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. p238.

KAUSHIK, G; SHARMA, K.C 2015. Climate Change and Rural Livelihoods – Adaptation and Vulnerability in Rajasthan. Global Nest Vol 17 No 1 p.41-49 [Recuperado en Febrero de 2016]

KAWULICH, Barbara B. 2006. La observación participante como método de recolección de datos [82 párrafos]. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* [On-line Journal], *6*(2), Art. 43, http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0502430.

LAFAURIE, J.F. 2.012. Retos de la Globalización en el Mercado Lácteo. Federación Colombiana de ganaderos FEDEGAN. Oficina de Planeación. [En: Foro cámara gremial de la leche].

LAL, R. (2.013). Vulnerability of Agroecosystems to Environmental Factors. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences “Understanding and addressing Threats to Essencial Resources. Vol 4. Climate Vulnerability , p 109 – 116. Consultado el 25-08-2015.Disponible en www.sciencedirect.com/science/article/pii/B97801238470340.

LEÓN, S.T. 2.010. Agroecología: Desafíos de una Ciencia Ambiental en Construcción. En: Vertientes del pensamiento Agroecológico.Fundamentos y Aplicaciones. León, T. y Altieri, M. Eds. P 53-77.

LEÓN, S.T. 2.012. Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas – la perspectiva ambiental. Universidad Nacional de Colombia – Instituto de estudios Ambientales. 261 p.

LEÓN, 2.013. La Dimensión Ambiental del Cambio Climático en la Agricultura. En: Agroecología y Resiliencia Socioecológica: Adaptándose al Cambio Climático. REDAGRES, CYTED, SOCLA. Universidad de La Frontera Temuco-Chile, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de Antioquia. pp 180-192

LEÓN, S.T. 2.014. Perspectiva Ambiental de la Agroecología. La Ciencia de los Agroecosistemas. Primera edición. Instituto de Estudios Ambientales IDEA. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. 418p.

METZGER, M. 2005. European Vulnerability to Global Change. A spatial Explicit and Quantitative Assessment. PhD Thesis. Wageningen University. Netherlands.

MILERA, M. 2.013. Contribución de los SSP en la producción y el medio ambiente. Revista Avances en Investigación Agropecuaria. Vol 17 (3) pp 7-24. Universidad de Colima México [Recuperado en marzo 23 de 2.016]

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2.012. Diario Oficial 48335. Del 6 de febrero. Resolución 17 de Enero 20 de 2.012.

MURGUEITIO, E. 2003: Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development. Volume 15, Article #78.* Retrieved March 9, 2016, from http://www.lrrd.org/lrrd15/10/murg1510.htm

MURGUEITIO, R.E.; CHARÁ, O.J. BARAHONA, R.R.; CUARTAS, C.C.; NARANJO, R.J. 2.014. Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi), Herramienta de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 17 (3) pp.501-507 [Recuperado en marzo 23 de 2.016]

NADINE, A.M.; CRIMP, S.; CURNOCK, M.; GREENHILL, M.; KUEHNE, G. LEVINSON, Z.; OUZMAN, J. 2.016. Some Primary Producers are more Likely to transform their Agriculture Practices in Response to Climate Change than others. Agriculture, Ecosystems and Environment 222. 38-47 [Recuperado en Marzo 23 de 2.016]

NARDONE,A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M.S., BERNABUCCI, U. 2.010. Efects of climate Changes on Animal Production and Sustainability of Livestock Systems. Livestock Science 130. pp.57-69 [Recuperado en Marzo 23 de 2.016]

NICHOLLS, C.I. 2.013. Enfoques Agroecológicos para Incrementar la Resiliencia de los Sistemas Agrícolas al Cambio Climático. En: Agroecología y Resiliencia Socio Ecológica: Adaptándose al Cambio Climático. REDAGRES, SOCLA, CYTED, Universidad de La Frontera Temuco-Chile, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de Antioquia. P 18 – 29.

NICHOLLS, C.I. & ALTIERI, M.A. 2.012. LEISA Revista de Agroecología Vol 28 # 2.

O´BRIEN, K., LEICHENKO, R., KELKAR, U., VENEMA, H., AANDAHL, G., TOMPKINS, H., JAVED, A., BHADWAL, S., BARG, S., NYGAARD, L., WEST, J. 2004. Mapping Vulnerability to Multiple Stressors: Climate Change and Globalization in India. Global Environmental Change (14) 303 – 313.

OCAMPO, 2.011. Olga. El Cambio Climático y su Impacto en el Agro. Revista de Ingeniería [en línea] (Enero-Junio): [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2015] Disponible en:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121022658012> ISSN 0121-4993

OJHA, H.R.; SULAIMAN, R.; SULTANA, P.; DAHAL, K.; THAPA, D.; MITTAL, N.; THOMPSON, P.; BHATTA, G.D.; GHIMIRE, L.; AGGARWAL, P. 2.014. Is South Asian Agriculture Adapting to Climate Change? Evidence from the Indo-Gangetic Plains. Agroecology and Sustainable Food Systems. 38. 505-531 [Recuperado en Marzo 23 de 2016]

PARSON, E., BURKETT, V., FISHER-VANDEN, K. KEITH, D., MEARNS, L., 2007. Global Change Scenarios: Their Development and Use. US Department of Energy Publications. Paper 7. Part of Bioresource and Agricultural Engineering Commons. 118p.

PNUD (2.008). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano 2007/2008 Resumen. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo divido. Cambio climático y Desarrollo. Grupo Mundi Prensa. 31p.

QIU, H., ZHU, W., WANG, H. Y X. CHENG. 2007. Analysis and Design of Agricultural Sustainability Indicators System, *Agricultural Sciences in China* 6 (4): 475 – 486. Disponible en: www.sciencedirect.com

R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.Rproject.org/.

RAMÍREZ, C.D. 2014. Determinantes Espacialmente Explícitos de Transiciones en Coberturas Terrestres con Significativo Impacto para la Provisión de servicios Ecosistémicos. Análisis Temporal y Espacial, 1986-2012. Tesis de Maestría. 154p.

REED,M.; FRASER, E.; DOUGILL, A. 2006. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities, *Ecology Economic.* (59): 406–418. Disponible en: www.sciencedirect.com

RIGBY, D., WOODHOUSE, P., YOUNG T. Y M. BURTON. 2001. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice, *Ecological Economics* (39): 463 – 478. Disponible en: www.sciencedirect.com

RIOS, H.; MIRANDA, S.; VARGAS, D. 2.011. Sistemas descentralizados y participativos para la Adaptación y Mitigacion del Cambio Climático en Cuba. En: Innovación Agroecológica, Adaptación y Mitigación del cambio Climático. CEDECO, REDAGRES, INCA, PIAL, HIVOS, SCCC, DDSA. 248P.

ROY, R. & CHAN, N.W. 2012. An assessment of agricultural sustainability indicators in Bangladesh: review and synthesis. *Environmentalist* 32:99–110.

RUEDA, O.; CUARTAS, C.; NARANJO, J.; CÓRDOBA, C.; MURGUEITIO, E.; ANZOLA, H.. 2.011. Comportamiento de las variables climáticas durante estaciones secas y de lluvia, bajo influencia del ENSO 2009-2010 (El Niño) y 2.010-2.011 (La Niña) dentro y fuera de SSPi en el caribe seco de Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 24(3) 512. [Disponible en rccp.udea.edu.co. Recuperado en marzo 26 de 2.016]

RUST, J.M.; RUST, T. 2.013. Climate Change and Livestock Production: A Review with emphasis on Afrika. South African Journal of Animal Science. 43(3). [Recuperado en Marzo 23 de 2.016]

SARANDON, J.S.; FLORES,C.C. 2.014. Agroecología: Bases teóricas para el Manejo y diseño de Agroecosistemas Sustentables. 467p. Editorial Universidad de La Plata. Primera Edición. Buenos Aires. Argentina.

TAO,S., XU, Y., LIU, K., PAN, J., GOU, S. 2011. Research Progress in Agricultural Vulnerability to Climate Change. Advances in Climate Change Research 2(4): 203-210.www.climatechange.cn

TRICART, J.; KILIAN, J. 1.982. La Eco-geografía y la ordenación del medio natural. Traducción de Jorda *et al*. Barcelona. Anagrama. 288p.

UNITED NATIONS. 1987. Our common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Chapter 12. Toward common Action. Assessing Global Risks. 247p

VAN CAUWENBERGH, N.; BIALA, K.; BIELDERS, C.; BROUCKAERT, V.; FRANCHOIS, L.; GARCIA, V.; HERMY, M.; MATHIJS, M.; MUYS, B.; REIJNDERS, B.; SAUVENIER, X.; VALCKX, J.; VANCLOOSTER, M.; VAN DER VEKEN, B.; WAUTERS, E. Y A. PEETERS. 2007. Safe – a hierarchical framework for assesing the sustainability of agricultural systems, *Agriculture, Ecosystems and Environment* (120): 229- 242. Disponible en: www.sciencedirect.com [Recuperado en Marzo de 2.013].

VANDERMEER, J.H. (2.011). The Ecology of Agroecosystems. 405p. Copyright by Jones and Barlett Publishers. LLC. Printed in the United States of America.

VÉLEZ, L.D. 2.015. Adaptabilidad y Persistencia de las Formas de Producción Campesinas. Primera edición. 112p. Universidad Nacional de Colombia.

VÉLEZ Y GASTÓ (1999). Metodología y determinación de los estilos de agricultura a nivel predial. Ciencia e Investigación Agraria, Volumen 26, No. 2, P 77-99. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

WEI, Y., DAVIDSON, B., CHEN, D. & WHITE R. 2009. Balancing the economic, social and environmental dimensions of agroecosystems: an integrated modelling approach, *Agriculture, Ecosystems and Environment* (131): 263 – 273. Disponible en:www.sciencedirect.com