

**EVALUACIÓN DEL USO Y APROVECHAMIENTO DE LOS SERVICIOS  
HIDROLÓGICOS EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS GANADEROS, VEREDA  
MANCILLA, PARA LA ADAPTACIÓN A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

**CLAUDIA MILENA MURCIA MORALES**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
FACATATIVÁ**

**2017**

**EVALUACIÓN DEL USO Y APROVECHAMIENTO DE LOS SERVICIOS  
HIDROLÓGICOS EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS GANADEROS, VEREDA  
MANCILLA, PARA LA ADAPTACIÓN A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

**CLAUDIA MILENA MURCIA MORALES**

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERA AMBIENTAL**

**DIRECTOR: GUILLERMO ORJUELA RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**FACATATIVÁ**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por guiar mis pasos, llenarme de bendiciones siempre y en todo lugar, y por mantenerme rodeada de personas maravillosas que fueron la base de este y otros logros.

A mis padres por la formación que me dieron, por enseñarme que la disciplina es parte del éxito, por acompañar esas largas noches de estudio y por ser mi mejor ejemplo.

Al profesor Guillermo Orjuela por su paciencia, sus consejos y su constancia durante esta investigación.

A Pao, Yeco y Vale por ser los mejores hermanos y amigos, por cada palabra de aliento y cada abrazo que me ayudó a mantenerme firme y segura.

A Andy por sostenerme con su mano incondicional, por ser mi compañero de largos caminos y fiel cómplice de tantos sueños.

A mis familiares y amigos que siempre estuvieron al tanto de mis avances y me brindaron su apoyo desinteresado

## **DEDICATORIA**

A Vale, mi sobrina, por enseñarnos  
a buscarle soluciones creativas a la vida.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2. OBJETIVOS .....	5
2.2. OBJETIVO GENERAL .....	5
2.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	5
3. JUSTIFICACIÓN .....	6
4. MARCO TEÓRICO.....	7
4.2. Clasificación de ecosistemas .....	7
4.2.1. Clasificación de biomas según Robert Whittaker .....	7
4.2.2. Clasificación de zonas de vida según Leslie Holdridge. ....	8
4.3. Identificación de la vulnerabilidad .....	9
4.4. Valoración de servicios ecosistémicos .....	10
4.5. Cambio y variabilidad climática .....	12
4.6. Enfoque de adaptación al cambio y variabilidad climática .....	14
4.7. Pago por servicios ambientales .....	17
4.8. Sistemas silvopastoriles .....	18
5. MARCO CONCEPTUAL.....	20
5.2. Bosque Andino.....	20
5.3. Sistema productivo ganadero.....	21
5.4. Servicios ecosistémicos .....	21
5.4.1. Servicios hidrológicos .....	22
5.4.2. Valoración ecosistémica .....	23
5.5. Variabilidad climática .....	24
5.5.1. Fenómeno de El Niño.....	24
5.6. Vulnerabilidad.....	24

5.7.	Adaptación basada en ecosistemas .....	25
6.	DISEÑO METODOLOGICO.....	26
6.1.	Enfoque .....	26
6.2.	Variable tiempo.....	26
6.3.	Según el alcance de los objetivos .....	26
6.4.	Diseño operacional .....	27
7.	MARCO REFERENCIAL .....	27
7.1.	GENERALIDADES REGIONALES, MUNICIPALES Y VEREDALES .....	27
7.1.1.	Sabana de Occidente .....	28
7.1.2.	Municipio de Facatativá .....	28
7.1.3.	Vereda Mancilla .....	30
8.	METODOLOGÍA.....	31
8.1.	Caracterización del ecosistema .....	32
8.2.	Caracterización de sistemas productivos ganaderos.....	35
8.3.	Valoración de servicios ecosistémicos hidrológicos .....	37
8.4.	Estrategias de adaptación a la variabilidad climática .....	37
8.4.1.	Pago por servicios ambientales.....	37
8.4.2.	Sistemas Silvopastoriles .....	38
9.	RESULTADOS.....	39
9.1.	Caracterización del ecosistema .....	39
9.1.1.	Clima .....	39
9.1.2.	Hidrografía .....	44
9.1.3.	Geomorfología .....	45
9.1.4.	Flora .....	47
9.1.5.	Fauna .....	47
9.2.	Caracterización del sistema productivo ganadero.....	47
9.2.1.	Departamental .....	48

9.2.2. Municipal .....	49
9.2.3. Veredal .....	50
9.3. Valoración de servicios hidrológicos en función del sistema productivo ganadero .....	54
9.4. Estrategias de adaptación a la variabilidad climática .....	64
9.4.1. Pago por servicios ambientales .....	64
9.4.2. Sistemas silvopastoriles.....	68
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA .....	79
ANEXOS .....	89

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Enfoques y métodos económicos de valoración de servicios ecosistémicos. ....	12
Tabla 2. Impactos potenciales en los objetivos de Desarrollo por el cambio climático .....	13
Tabla 4. Cobertura de Servicios Públicos en Facatativá. ....	30
Tabla 5. Clasificación del Índice de humedad de Thornwaite. ....	33
Tabla 6. Clasificación del Índice de concentración de precipitaciones.....	34
Tabla 7. Clasificación del índice modificado de Fournier. ....	34
Tabla 8. Niveles de IGSC basados en los valores de ITH y respiraciones por minuto.....	36
Tabla 9. Subsistema orográfico del municipio de Facatativá.....	46
Tabla 10 Tipo de pastos de mayor relevancia en el departamento.....	48
Tabla 11. Censo de bovinos para el municipio. ....	49
Tabla 12. Variedades de pastos en Facatativá.....	49
Tabla 13. Tipos de pastos utilizados en la alimentación del ganado.....	50
Tabla 14. Comparación del comportamiento del IGSC para diferentes periodos.....	54
Tabla 15. Análisis estadístico descriptivo de la disposición a pagar .....	59
Tabla 16. Estimación de costo de oportunidad por implementación de PSA .....	65
Tabla 17. Esquema de concertación de los diferentes actores del PSA. ....	66
Tabla 18. Especies arbóreas y arbustivas utilizadas en sistemas silvopastoriles. ....	70

Tabla 19. Aproximación de inversión inicial para el establecimiento SSP de cerca viva por hectárea.....	71
Tabla 20. Aproximación de inversión inicial para el establecimiento de SSP por ramoneo por hectárea.....	74

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límites de temperatura y precipitación de varios biomas mundiales. ....	8
Figura 2. Esquema de clasificación de zonas de vida según Holdridge.....	9
Figura 3. Clasificación de servicios ecosistémicos. ....	22
Figura 4. Municipios de la Sabana de Occidente, departamento de Cundinamarca. ....	28
Figura 5. División política del municipio de Facatativá. ....	29
Figura 6. Población de la vereda Mancilla. ....	30
Figura 7. Relación eventos climáticos extremos, ecosistema y sistema ganadero.....	31
Figura 8 Temperaturas media, máxima y mínima.....	39
Figura 9. Precipitación media mensual del municipio de Facatativá.....	40
Figura 11. Anomalías por temperatura media 1990 - 2013.....	41
Figura 12. Comportamiento de la evapotranspiración potencial.....	41
Figura 13. Índice de humedad.....	42
Figura 14. Índice de concentración de precipitaciones.....	43
Figura 15. Índice modificado de Fournier.....	43
Figura 16. Esquema general de un sistema ganadero convencional. ....	48
Figura 17. Reciclaje de estiércol en las fincas. ....	50
Figura 18. Fuentes de abastecimiento de agua para el ganado.....	51
Figura 19. Porcentaje de fincas que tuvieron impactos por el fenómeno de El Niño.....	51
Figura 20. Comportamiento del ITH en diferentes periodos. ....	53
Figura 21. Correlación entre el valor del agua y los impactos por el fenómeno de El Niño.....	55
Figura 22. Correlación entre el valor del agua y la fuente de abastecimiento.....	55
Figura 23. Calidad y cantidad de agua.....	56
Figura 24. Disponibilidad de agua durante todo el año.....	56
Figura 25. Trabajo conjunto de la comunidad para resolver problemas respecto al agua.....	57

Figura 26. Servicios hidrológicos más importantes .....	58
Figura 27. Posibles factores que pueden estar afectando los servicios hidrológicos. ....	58
Figura 28. Gráfica de distribución normal de la disposición a pagar.....	60
Figura 29. Relación entre disposición a pagar y las pérdidas económicas por sequias .....	60
Figura 30. Relación entre disposición a pagar y situación económica.....	61
Figura 31. Razones del aporte máximo en la disposición a pagar en sistemas ganaderos .....	62
Figura 32. Entidad o persona encargada de recolectar los pagos. ....	63
Figura 33. Responsabilidad de la conservación y protección de bosques.....	63
Figura 34 Esquema general de pago por servicios ambientales hidrológicos.....	64
Figura 35 Sistema silvopastoril de cerca viva.....	69
Figura 36. Arreglo forestal propuesto con diversidad de especies.....	70
Figura 37. Vista de planta de Sistema Silvopastoril de Ramoneo. ....	72
Figura 38. Vista de perfil de Sistema Silvopastoril de Ramoneo.....	73
Figura 39. Vista de alzado de Sistema Silvopastoril de Ramoneo.....	74

## RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la relación de los servicios ecosistémicos hidrológicos brindados por el bosque andino con los sistemas ganaderos ubicados en la vereda Mancilla, municipio de Facatativá; con el fin de proponer estrategias de adaptación a eventos climáticos, como el fenómeno de El Niño.

A partir de la revisión de la literatura se logró la caracterización biofísica del bosque andino, análisis del comportamiento de índices agroclimáticos, identificación de fuentes hídricas superficiales, condiciones geomorfológicas y especies de fauna y flora. Por otro lado, a partir de la aplicación de encuestas a 20 ganaderos de la vereda Mancilla, se identificaron características generales de sus sistemas productivos como cantidad de animales, tipos de pastos utilizados, fuentes de abastecimiento de agua, pérdidas económicas por sequías, entre otras.

Por otra parte, se realizó la valoración de los servicios ecosistémicos hidrológicos, a partir del método de valor contingente, basado en la creación de un mercado hipotético; evaluando la disposición a pagar por parte de las fincas ganaderas, como base para el diseño de un esquema de pago por servicios ambientales. Sin embargo, los diferentes valores propuestos por los encuestados, presentan una amplia variabilidad, dificultando la valoración colectiva y la definición de un monto equitativo entre los sistemas ganaderos.

Finalmente, como medida de adaptación basada en ecosistemas, se propuso un esquema general de pago por servicios ambientales con fuentes de financiamiento público y el diseño de dos sistemas silvopastoriles. Así mismo, se estimó un promedio de costos por la implementación de cada estrategia.

**Palabras Claves:** Sistema ganadero, adaptación, variabilidad climática, servicios ecosistémicos, sistemas silvopastoriles, pago por servicios ambientales.

## SUMMARY

The objective of this research was to evaluate the relationship between the hydrological ecosystem services provided by the Andean forest and the livestock systems located in the village of Mancilla, municipality of Facatativá; with the purpose of proposing adaptation strategies to climate variability, such as the El Niño phenomenon.

A literature review was carried out regarding the biophysical characterization of the Andean forest, behavior analysis of agroclimatic indices, identification of surface water sources, geomorphological conditions and fauna and flora species. On the other hand, through the implementation of surveys to 20 livestock farmers in the Mancilla settlement, general characteristics of their production systems were identified, such as the number of animals, types of pastures used and sources of water supply, economic losses due to droughts, among others.

On the other hand, a valuation of hydrological ecosystem services was done, using the contingent value method, based on the creation of a hypothetical market; we evaluated the willingness to pay on the part of the cattle farms, as a basis for the design of a payment scheme for environmental services. However, the different values proposed by the respondents present a wide variability, hindering the collective valuation and the definition of an equitable amount among the cattle systems.

Finally, as an adaptation measure based on ecosystems, a general scheme of payment for environmental services with sources of public financing and the design of two silvopastoral systems was proposed. Likewise, an average of costs was estimated by the implementation of each strategy.

**Key words:** Livestock system, adaptation, climate variability, ecosystem services, silvopastoral systems, payment for environmental services.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las actividades agropecuarias que más ha generado degradación ambiental, debido a que contribuye a la contaminación del agua, la degradación de suelos, la deforestación, pérdida de la biodiversidad y el cambio climático. Simultáneamente, la ganadería es afectada por la transformación de los ecosistemas asociados y los servicios ambientales que estos brindan; aumentando su vulnerabilidad a los impactos del cambio y la variabilidad climática.

De acuerdo con la Secretaria de Planeación de Cundinamarca (2014), una de las principales actividades económicas con mayor participación en el departamento es la ganadería; en un contexto local, en la vereda Mancilla, municipio de Facatativá, la ganadería también representa una de las principales actividades agropecuarias.

Por lo anterior, esta investigación tiene como principal propósito evaluar la relación de los servicios ecosistémicos hidrológicos brindados por el bosque andino con los sistemas ganaderos de la vereda Mancilla, con el fin de proponer estrategias de adaptación basada en ecosistemas, para contrarrestar los impactos de eventos climáticos, como el fenómeno de El Niño.

La información se obtuvo a partir de una amplia revisión bibliográfica y de la aplicación de encuestas a 20 ganaderos a lo largo de la vereda Mancilla. Adicionalmente, la investigación se apoyó en el uso de diferentes tipos de software para facilitar el análisis de la información y diseño de estrategias.

El primer capítulo con enfoque descriptivo, abarca la caracterización biofísica del bosque andino, como clima, hidrografía, geomorfología, fauna y flora; así mismo, en el segundo capítulo se describen las características generales de los sistemas ganaderos a nivel departamental, municipal y veredal.

El tercer capítulo con enfoque correlacional, se expone la valoración de los servicios hidrológicos en función de los sistemas ganaderos; a partir del método de valor contingente que se basa en la creación de un mercado hipotético.

Finalmente, en el cuarto capítulo con enfoque exploratorio, se proponen estrategias de adaptación basada en ecosistemas, con el fin de que los sistemas ganaderos puedan contrarrestar los impactos a eventos climáticos, a partir del uso y aprovechamiento de los servicios ecosistémicos hidrológicos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el IDEAM, PNUD, MADS, DNP & CANCELLERÍA (2015), para finales del siglo XXI la temperatura media anual en Colombia podría incrementarse 2.14 °C y la precipitación media reducirse entre 10 % a 30 %. Estos cambios en las variables climáticas y los cambios en el uso del suelo, aceleran los procesos de desertificación, disminuyen la productividad de los suelos y generan la pérdida de fuentes y cursos de agua. Lo que tendrá un efecto negativo en la sostenibilidad de gran parte de las actividades económicas del país, especialmente el sector agropecuario.

De este modo, en caso de no tomar medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad a la variabilidad y cambio climático, en los próximos 100 años el sector ganadero tendría pérdidas económicas en promedio del 1.6 % en su producción; como se describe en el informe de Impactos Económicos del Cambio Climático realizado por el Departamento Nacional de Planeación en alianza con el Banco Interamericano de Desarrollo y La Cepal (2014).

Particularmente, los sistemas ganaderos en Colombia son de tipo convencional o tradicional (Restrepo, 2014); es decir, que se caracterizan por prácticas inadecuadas como la deforestación, quemas, pastos en monocultivos, uso indiscriminado de plaguicidas y de recursos hídricos (DANE, 2015). De acuerdo a ello, se infiere en que estos productores son más vulnerables a los impactos de tipo económico y ambiental a causa de la variabilidad climática; debido a que no cuentan con los bienes materiales, sociales, los conocimientos técnicos y/o la flexibilidad suficiente para contrarrestar estos impactos (Agronet, 2016).

De acuerdo a (Leupolz-Rist, Cantarero, & Toruño, 2017), el estrés por calor en el ganado reduce la ingesta de alimento y aumenta el consumo de agua, por lo que causa pérdida de peso en los animales; esto a su vez impacta en la producción de leche, eficiencia reproductiva, susceptibilidad a enfermedades e incluso la muerte. Por otro lado, el cambio de los patrones de precipitación reduce la disponibilidad de agua tanto para el consumo directo de los animales como para mantener suficientes pastizales.

En consecuencia, los productores frente al aumento o disminución de la temperatura y la precipitación (factores importantes para la producción agropecuaria) implementan estrategias como medida de respuesta y búsqueda de estabilidad económica. Existen casos como el desplazamiento de sus labores a zonas donde las condiciones son las óptimas para la producción,

generando así la expansión de la frontera agropecuaria y el uso irracional de los recursos naturales (FONTAGRO, 2008).

Los efectos adversos por la explotación de los recursos naturales y el mal aprovechamiento de los servicios ecosistémicos se refleja en la vulnerabilidad y la capacidad adaptativa frente a la variabilidad climática por parte de la comunidad campesina y el agroecosistema. Así por ejemplo, la ganadería promueve deforestación para la producción de pastos; genera compactación en los suelos y obstruye su capacidad de infiltración; demanda gran cantidad de agua; genera contaminación y eutrofización de las fuentes hídricas (FAO, 2006a); entre otras actividades que se suman a los impactos de la variabilidad climática y reducen la resiliencia del agroecosistema, y por consiguiente la de la comunidad campesina que se abastece de este.

La variabilidad climática presenta un riesgo no solo para los ecosistemas, sino también para los sistemas sociales que dependen de sus servicios, la perturbación de estos últimos puede incurrir en el aumento de la vulnerabilidad social y económica (Montes, 2013). Por tal razón, se hace necesaria la búsqueda de estrategias innovadoras para combatir riesgos y contrarrestar impactos de la variabilidad climática, como la conservación y uso de la biodiversidad y servicios ecosistémicos (A.Lhumeau & Cordero, 2012).

En contexto, en esta investigación se identificaron 20 sistemas ganaderos convencionales, entre los que se encuentran grandes y pequeños productores, los cuales están ubicados en la vereda Mancilla, municipio de Facatativá; los cuales dependen para su producción de los servicios que provee el Bosque Andino y la mayoría de estos sistemas han sido impactados por la variabilidad climática.

El 85 % de los municipios de Cundinamarca presentan una disminución en las fuentes hídricas de las que se abastecen los embalses, siendo Facatativá uno de los municipios más afectados por el fenómeno de El Niño, debido a la sequía del río Botello y la quebrada Mancilla (El Espectador, 2015), impactando principalmente el sector agropecuario, debido a la sequía de cultivos y pastizales (Caracol Radio, 2016).

La quebrada Mancilla, es la fuente superficial con mayor presión por captaciones de agua, dentro de la subcuenca del río Botello, siendo este último la fuente hídrica principal para abastecer el acueducto municipal. Según la Contraloría de Cundinamarca (2010), en la vereda Mancilla se han

identificado 27 de reservorios y 14 captaciones de agua por parte del sector agropecuario, con el fin contrarrestar los impactos del fenómeno de El Niño.

A partir de lo anterior, esta investigación busca dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿De qué manera se relacionan los servicios ecosistémicos hidrológicos del bosque andino con los sistemas ganaderos de la vereda Mancilla, Facatativá, para la adaptación a la variabilidad climática?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.2.OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la relación de los servicios ecosistémicos hidrológicos del bosque andino con los sistemas ganaderos de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá, para la adaptación a la variabilidad climática.

### **2.3.OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar las condiciones del Bosque Andino y de los sistemas productivos ganaderos de la vereda Mancilla.
- Determinar y valorar la relación entre el ecosistema y el sistema productivo ganadero en el marco de un contexto de variabilidad climática.
- Proponer estrategias con un enfoque ecosistémico como alternativa a la adaptación a la variabilidad climática.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Colombia no tiene las suficientes y soportadas investigaciones acerca de la resiliencia socio-ecológica que sirvan de base para la formulación de estrategias en apoyo a las políticas nacionales en situaciones de una crisis social e institucional. Por esto, el interés en este tipo de investigación que trata de descubrir las relaciones inmateriales que hay detrás de las decisiones que toma la comunidad ganadera en el manejo del agroecosistema, descifrando si su interés está en la conservación y cuidado de los recursos naturales, o si por el contrario es netamente económico y social.

Luego de entender la situación ambiental que afrontan los agroecosistemas, especialmente los andinos, es necesario identificar los impactos que los productores están afrontando por eventos climáticos y el valor que le dan a los servicios ecosistémicos, particularmente los hidrológicos. Convirtiéndose en una herramienta para la toma de decisiones, permitiendo al gobierno, entes territoriales y al sector agropecuario proyectar acciones en beneficio del medio ambiente, sin comprometer bajas en el desarrollo socioeconómico.

El propósito de valorar los servicios ecosistémicos hidrológicos en los sistemas ganaderos, en un contexto de variabilidad climática, es con el fin de obtener resultados que favorezcan estrategias de adaptación. Así mismo, se debe hacer un trabajo conjunto donde se propongan mecanismos para la mejora de producción, aumento de los ingresos, uso racional de recursos y promover la seguridad alimentaria; en definitiva, la construcción de la resiliencia (UNISDR, 2012).

Por lo anterior, es necesario resaltar la importancia de convertir la ganadería convencional a una ganadería sostenible, a partir de estrategias como el establecimiento de sistemas silvopastoriles los cuales son un modelo de tecnología que ofrece grandes beneficios económicos, ambientales y sociales; como por ejemplo el aumento en la producción de leche y carne, animales más saludables, reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, restauración de suelos, y aumento de la biodiversidad por la creación de corredores biológicos.

Por otro lado, los temas de planificación y ordenamiento territorial se pueden ver beneficiados por los estudios que se realicen a profundidad acerca de estrategias como pago por servicios ambientales, respetando los usos del suelo y controlando la expansión de la frontera agropecuaria, teniendo en cuenta la experiencia y el conocimiento de la comunidad.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.2. Clasificación de ecosistemas

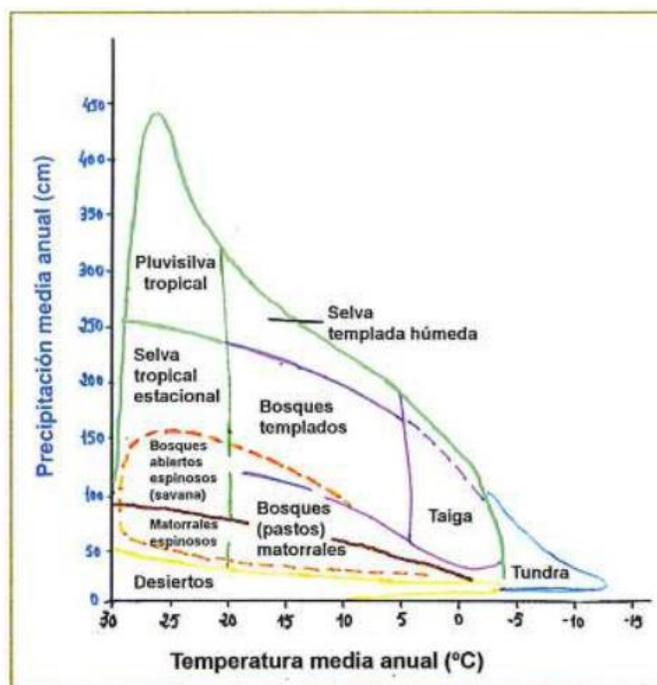
Los seres vivos no se distribuyen de manera uniforme en la naturaleza, por el contrario, se agrupan dependiendo de características climáticas, edáficas y topográficas de un lugar que a la vez condicionan a los seres vivos que allí habitan (Aguayo et al., 1994). Estas dinámicas han sido reconocidas en diferentes sistemas de clasificación de biomas y ecosistemas a nivel mundial; entre los más conocidos esta Robert Whittaker, quien al relacionar las variables climáticas de temperatura y precipitación, definió nueve tipos diferentes de biomas. También se resalta a Leslie Holdridge, quien relaciona la biotemperatura, la evapotranspiración, la precipitación y la altitud para realizar la clasificación de zonas de vida.

#### 4.2.1. Clasificación de biomas según Robert Whittaker

Robert Whittaker relaciona de manera general las principales comunidades de seres vivos representativas de una región climática que habita en condiciones ambientales similares, basándose únicamente en dos variables climáticas, la precipitación y la temperatura promedio anual (Escolastico, Cabildo, Claramunt, & Claramunt, 2013). Cabe aclarar, que no solamente el clima de una zona es la interacción de la temperatura y la precipitación; también influyen otros factores como el viento, la radiación, la humedad, entre otros. Sin embargo, Whittaker solo tomo dos variables con el fin de simplificar la metodología (Fillat, 2008).

De la investigación de Whittaker, se obtienen nueve tipos de biomas que se representan en el siguiente gráfico:

Figura 1. Límites de temperatura y precipitación de varios biomas mundiales.



Nota. Fuente: Whittaker. 1975. Como se cita en (Fillat, 2008).

#### 4.2.2. Clasificación de zonas de vida según Leslie Holdridge.

La clasificación de zonas de vida establecida por Holdridge, tiene como objetivo la agrupación de áreas con condiciones ambientales similares, relacionando el promedio anual de variables climáticas como:

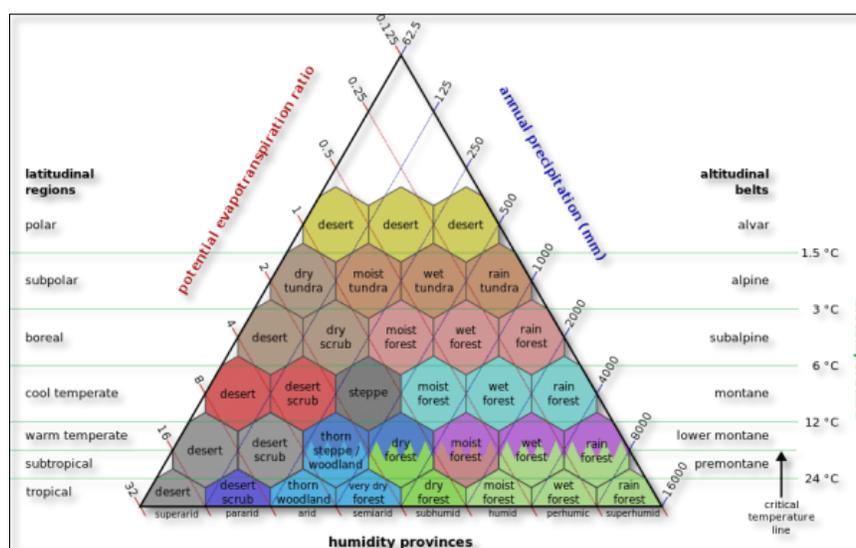
- La biotemperatura que es el promedio anual de las temperaturas entre 0 °C y 30 °C, debido a que se estima que en este rango de temperaturas se da el crecimiento vegetativo. En el diagrama, la línea guía lo atraviesa horizontalmente en rangos que aumentan logarítmicamente.
- La precipitación total anual medida en milímetros que cae en forma de lluvia, granizo o nieve. En el diagrama, las líneas guías lo atraviesan formando ángulos de 60° por la intersección con la línea de biotemperatura.
- La evapotranspiración se trata de la cantidad de agua cedida a la atmosfera, esta variable se calcula multiplicando la biotemperatura por 58,93 que es un factor constante. En el

diagrama, al igual que la precipitación, las líneas guía que lo atraviesan y se interceptan con las líneas de biotemperatura forman ángulos de 60°.

Finalmente, para determinar a qué zona de vida pertenece un lugar en particular, se interceptan los datos climáticos en las líneas guía encontrando de esta forma dentro de cada hexágono una zona de vida diferente, relacionando a derecha e izquierda las características latitudinales y altitudinales.

La figura 2, describe las zonas de vida más comunes, este sistema es aplicable a cualquier parte del planeta, debido a que es útil y práctico para analizar las asociaciones establecidas por los seres vivos (Holdridge, 1978):

*Figura 2. Esquema de clasificación de zonas de vida según Holdridge.*



Nota. Fuente: (Locatelli & Imbach, 2008)

### 4.3. Identificación de la vulnerabilidad

Un estudio realizado en el 2015, sobre la vulnerabilidad de diferentes sistemas de producción frente a la sequía en Cuba, se basó en una metodología establecida por los mismos campesinos, quienes seleccionaron los componentes más expuestos y los indicadores de mayor facilidad de análisis. En particular, uno de los sistemas productivos evaluados fue la ganadería convencional, el cual se calificó como el de mayor vulnerabilidad frente a los demás sistemas; debido a la alta sensibilidad de los pastizales y los animales a la radiación solar, a causa de la ausencia de árboles que brindan sombra y mantienen la humedad de los suelos (Vasquez et al., 2015).

En definitiva, en un sistema ganadero se obtiene mayor productividad al hacer mayor presión sobre la base forrajera; así mismo, cualquier evento extremo que impacte sobre las pasturas afectará el rendimiento del sistema productivo. El evento climático que tiene mayor impacto sobre la tasa de crecimiento de las pasturas y por ende sobre el sistema ganadero, es la sequía (MGAP-FAO, 2013).

Según Magaña (2013), en su Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante el Cambio Climático, describe que no existe una metodología estandarizada y aceptada para cuantificar la vulnerabilidad futura. Por lo cual, se ha evaluado el uso de índices e indicadores, debido a que estos permiten sistematizar de manera cualitativa y cuantitativa la información, facilitando la evaluación y el análisis de la vulnerabilidad.

Por otro lado, el IDEAM ha establecido un Índice de Sensibilidad Ambiental a partir de variables como la pendiente, profundidad efectiva de suelos, el índice de aridez, grado de transformación y degradación de suelos, las coberturas en función de la protección de otros recursos naturales y la erosión en zonas secas. Como resultado se ha obtenido un mapa a nivel nacional; en particular, el municipio de Facatativá presenta una sensibilidad ambiental Baja y Media (anexo 1).

Así mismo, se realizó el estudio de la capacidad adaptativa a nivel nacional; a partir de la evaluación de condiciones técnicas y socioeconómicas de diferentes actores para afrontar daños, afectaciones o pérdidas, sumado a las oportunidades derivadas del cambio y la variabilidad climática. En detalle, las condiciones socioeconómicas se evaluaron a partir del índice de Sisben III (Suministrado por el Departamento Nacional de Planeación); y las condiciones técnicas se estudiaron en función de adecuadas herramientas para implementar obras y acciones que permitan reducir la vulnerabilidad. El municipio de Facatativá presenta una Alta capacidad adaptativa (anexo 2).

#### **4.4. Valoración de servicios ecosistémicos**

El Manual Metodológico para la Valoración de la Biodiversidad elaborado entre el Instituto Humboldt y la Universidad de los Andes, describe diferentes instrumentos sencillos de valoración y facilita la comprensión sobre la racionalidad que tienen los actores sociales en el uso y aprovechamiento de los recursos naturales. A continuación se describen las características de estos métodos (J. C. Cardenas et al., 2012):

- **Experimentos económicos:** Este método permite comprender las decisiones económicas que toman los actores sociales en el manejo de los Recursos de Uso Común; a partir de la inclusión de incentivos económicos reales sujetos a las decisiones de los participantes durante el juego. En el experimento cinco participantes deciden cuantas unidades de recurso aprovechar para generar ganancias, el recurso abarca cien unidades y en cada ronda se puede extraer hasta cinco unidades por jugador; el recurso tienen la capacidad de regeneración del 10 % (por cada 10 unidades extraídas, se repone una).
- **Juego de Rol:** En este método los participantes asumen un rol en un sistema socio-ecológico y realizan actividades simulando la realidad; como característica principal busca que las personas reflexionen sobre sus acciones que transforman el entorno natural, por lo que se cataloga como un método potencial pedagógico y educativo.
- **Encuestas:** Esta herramienta cuantitativa permite obtener información de varios aspectos de interés, con la aplicación de preguntas sociodemográficas, manejo de los recursos naturales, relaciones entre comunidades y la auto-gobernanza; y de esta forma conocer la percepción de las personas sobre el valor de la biodiversidad y los conflictos socio-ambientales. Por otro lado, puede usarse en combinación con los experimentos económicos y juego de roles.
- **Entrevista:** Esta herramienta cualitativa semiestructurada, donde el entrevistador elige el orden y la manera de formular las preguntas a los individuos. El objetivo es ampliar la información sobre la valoración de la biodiversidad, identificar los puntos de vista de la comunidad sobre la problemática ambiental y como estos interactúan con el medio natural.
- **Modelos mentales:** El objetivo de este método es la elaboración de un modelo mental por parte de cada individuo, a partir de su experiencia en el manejo y aprovechamiento de recursos naturales. Así mismo, se conoce la percepción de la comunidad sobre el funcionamiento del sistema socio-ecológico y el valor que le otorgan a la biodiversidad.

Por otro lado, Bustamante & Ochoa (2014) afirma que la valoración permite medir la capacidad que tienen los ecosistemas para satisfacer las necesidades fundamentales de los seres vivos. La valoración se puede realizar a partir de dos enfoques económicos; el primero es el antropocéntrico basado en el valor que el mismo hombre le asigna a los servicios ecosistémicos, el segundo es el

intrínseco el cual se basa en las características del ecosistema considerando lo cultural, religioso y espiritual. Así mismo, cada enfoque se divide en diferentes métodos, a continuación se relaciona a detalle:

*Tabla 1. Enfoques y métodos económicos de valoración de servicios ecosistémicos.*

<b>ENFOQUE</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Antropocéntrico</b>	Costo de viaje	Valorar servicios culturales en áreas recreativas.
	Valor contingente	Valorar servicios de apoyo y regulación en un mercado hipotético.
	Transferencia de beneficio	Valorar servicios de apoyo y regulación a partir de otros estudios.
	Costo de reemplazo	Valorar servicios de provisión a partir del costo potencial por contaminación.
	Costo evitado	Valorar servicios de regulación a partir del costo por evitar daños y preservar.
<b>Intrínseco</b>	Valoración Intrínseca	Evaluar el valor que tienen los servicios en sí y por sí mismos.

Nota. Adaptado de (Bustamante & Ochoa, 2014)

Particularmente, el método de valor contingente se trata de un mercado hipotético basado en la aplicación de encuestas a usuarios, a partir de las cuales se determina la disposición a pagar o la disposición a recibir como compensación por el consumo de un servicio ambiental (García, 2013). De acuerdo a la guía práctica para la valoración de servicios ecosistémicos de Bustamante & Ochoa (2014), este método es aplicable a servicios ecosistémicos de apoyo y regulación; por otro lado, este método brinda información sobre el estado actual del servicio, las modificaciones en cuanto a calidad y cantidad, y datos socioeconómicos del entrevistado.

#### **4.5.Cambio y variabilidad climática**

De acuerdo con el (IPCC, 2014), en las últimas décadas el cambio y la variabilidad climática han ocasionado impactos en los sistemas naturales y humanos a nivel mundial, pero se ha evidenciado en mayor medida en los sistemas naturales. El cambio en los patrones de precipitación o el deshielo de los polos está alterando los sistemas hidrológicos en términos de calidad y cantidad; las especies han modificado sus áreas de distribución geográfica, actividades estacionales y pautas migratorias; y la seguridad alimentaria ha sido impactada por el rendimiento de cultivos.

Por otro lado, el cambio climático ha tenido impactos potenciales en el cumplimiento de los objetivos de Desarrollo del Milenio y objetivos nacionales relacionados con la erradicación de la pobreza y desarrollo sostenible (OCDE, 2009). En la tabla 2, se señalan algunos impactos que se vinculan con estos objetivos:

*Tabla 2. Impactos potenciales en los objetivos de Desarrollo por el cambio climático*

<b>OBJETIVOS DE DESARROLLO</b>	<b>IMPACTOS POTENCIALES</b>
Erradicar la pobreza extrema y el hambre.	Reducción de bienes y fuentes de sustento de personas más humildes; alteración en la seguridad alimentaria regional y dirección del crecimiento económico.
Promover la igualdad de género.	Las mujeres están involucradas de forma desproporcional en actividades que dependen de los recursos naturales, como la agricultura.
Combatir principales enfermedades.	Mayor número de muertes y enfermedades por olas de calor; mayor vulnerabilidad a enfermedades transmitidas por agua, vectores, alimentos o de persona a persona.
Reducir la mortalidad infantil y mejorar la salud maternal.	Los niños y las mujeres embarazadas son más susceptibles a enfermedades transmitidas por el agua o vectores.
Asegurar la sostenibilidad ambiental.	Alteración en la calidad y productividad de recursos naturales y ecosistemas, reducir la biodiversidad y aumentar la degradación ambiental.

Nota. Fuente: Adaptado de (OCDE, 2009).

Particularmente, en Colombia el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estima que para el 2030 se verá afectado el 2 % del total de la población y un valor de capital del orden del 2,2 % del PIB; afectación de un 50 % del territorio por la modificación del régimen hidrológico, impactando a su vez las actividades económicas, el abastecimiento de la población y los niveles de amenaza natural; regiones con disminución del promedio lluvias, mientras que otras registrarán aumentos de las precipitaciones. Adicionalmente, se calcula un aumento de 3.567.068 hectáreas con potencial de desertificación, afectación de una tercera parte de agroecosistemas y el aumento a la vulnerabilidad de enfermedades transmitidas por agua y vectores.

Así mismo, en el estudio de impactos económicos del cambio climático en Colombia, realizado por el Departamento Nacional de Planeación, el Banco Interamericano de Desarrollo y la Cepal, presenta evidencias de los impactos económicos que recaerán en los diferentes sectores productivos. A su vez, recomienda que estos impactos sean vistos como retos y oportunidades para el desarrollo del país.

En particular, el sector ganadero se caracteriza por su alta exposición a los impactos del cambio y la variabilidad climática; dado que los periodos con déficit hídrico que se prolongan en el tiempo, tienen efectos en el desarrollo de los pastizales y en el sistema productivo de las reses en la preñez, gestación y cría (Terra, s. f.). Así mismo, el estrés por calor disminuye la ingesta de alimentos, reduce la ganancia de peso y leche, y hay mayor susceptibilidad a enfermedades (Leupolz-Rist et al., 2017; MGAP-FAO, 2013)

#### **4.6. Enfoque de adaptación al cambio y variabilidad climática**

Son varias las investigaciones que evalúan estrategias para construir o mejorar la resiliencia de los agroecosistemas y la comunidad que se beneficia de este; conviene subrayar que la resiliencia social está relacionada con la resiliencia ecológica, particularmente porque las comunidades dependen de los recursos ecológicos y ambientales para su sustento (Adger, 2000). El conocimiento, el capital natural, el capital social, la tecnología, la infraestructura, las instituciones y los recursos financieros son los componentes importantes de la capacidad adaptativa frente al cambio y variabilidad climática (Franco Vidal & Andrade, 2014); pero se sintetizan en tres elementos, estos persiguen el aumento de los ingresos ambientales de la comunidad campesina mediante la liberación potencial económico de los ecosistemas, los cuales son la propiedad, las capacidades y las conexiones (Ferrante, 2010).

Por otro lado, la diversificación de los agroecosistemas es una de las estrategias que se debe implementar para mejorar la capacidad adaptativa frente al cambio y variabilidad climática; Holt-Gimenez (Citado por Altieri & Nicholls, 2013) afirma que la resistencia de las actividades agropecuarias a desastres climáticos está relacionada con la biodiversidad presente en los sistemas productivos. Sin embargo, los ecosistemas son dependientes de la temperatura, la precipitación, el pH, la disponibilidad de nutrientes y agua, entre otros; la alteración de estos factores generan cambios en la magnitud y tasa de generación de los servicios ecosistémicos (Franco Vidal &

Andrade, 2014). Particularmente, uno de los factores limitantes más importantes lo constituye la cantidad de agua disponible, esto conduce a la búsqueda de información sobre el estado actual de los servicios ecosistémicos hidrológicos, y tomar decisiones sobre su manejo, disponibilidad y la capacidad de los habitantes de la región para adaptarse al cambio climático futuro (Lewandowski, 2015).

Se desarrolló y aprobó el "enfoque ecosistémico" como el principal marco de acción para promover la gestión integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos que promueve la conservación y utilización sostenible de modo equitativo (Chong, 2014). La adaptación con enfoque ecosistémico busca aprovechar la capacidad de la naturaleza para amortiguarle a la comunidad los efectos adversos del cambio y variabilidad climática, mediante la prestación de servicios ecosistémicos (Munang et al., 2013); los cuales después de varias décadas, han pasado a ser una herramienta de comunicación para el análisis y toma de decisiones sobre los desafíos ambientales y de desarrollos mundiales, regionales y locales (Norgaard 2010 en Chong, 2014).

Los principales objetivos de la Adaptación basada en Ecosistemas son promover la resiliencia de las comunidades a través de asegurar el mantenimiento de los servicios ambientales, apoyar la adaptación de los diferentes sectores, reducir los riesgos de desastres, entre otros (Olsen & Bishop, 2009); por ejemplo, la rehabilitación de las cuencas hidrográficas aumenta el carbono almacenado, los bosques y tierras rehabilitadas reducen la recurrencia de inundaciones y mejoran la resiliencia ante los desastres naturales (Altieri & Nicholls, 2013). Esta es una estrategia robusta y flexible que puede hacer frente a la magnitud, la velocidad y la incertidumbre del cambio y variabilidad climática. Los recursos necesarios para la implementación de estos programas incluyen: capital económico, la tecnología y la infraestructura, la información, el conocimiento, las instituciones, la capacidad de aprender, y el capital social (Brooks N, Adger WN, Kelly PM, 2005 en Nelson, Adger, & Brown, 2007).

Los ecosistemas bien manejados son resistentes y se recuperan fácilmente, a diferencia de los ecosistemas fragmentados y degradados que incrementan la vulnerabilidad de la población y de la naturaleza a los impactos de la variabilidad y el cambio climático (Fundación Natura, WWF, 2010). Sin embargo, la respuesta natural que tienen los ecosistemas para adaptarse al cambio climático no es suficiente; por eso, el desarrollo de las actividades propuestas por las sociedades y conocida

como "la adaptación planificada" son obligatorias (Convención de Diversidad Biológica del 2009 en Gatti, 2010).

El conocimiento, el aporte y la práctica de la comunidad en programas de Adaptación Basada en Ecosistemas es importante (Network, Union, & International, s. f.); de ahí que, implementar proyectos con enfoque integrado, es decir, con programas de Adaptación basada en Ecosistemas y Adaptación Basada en Comunidades, hace evidente que el estado del componente social es directamente proporcional al estado del ecosistema; Blaikie (2007) sostiene que “la adaptación al cambio climático dependerá de empoderar a los grupos locales marginales para asegurar el acceso a los recursos y la adecuada gestión de los ecosistemas de los que dependen, ayudando así a construir la resiliencia”. Es el caso de los ecosistemas de los Andes colombianos donde se implementó un programa con enfoque integrado para trabajar en los usos del suelo, el ordenamiento territorial, la mejora los agroecosistemas mediante planes desarrollados por agricultores locales; evaluar y difundir información climática; y monitorear ciclo del agua y carbono (Olsen & Bishop, 2009).

En Suecia, se implementaron programas de adaptación basada en los ecosistemas por pequeños campesinos, con estrategias como la diversificación, rotación e intercalación de cultivos, la diversificación del paisaje y múltiples fechas de siembra (Tengö & Belfrage, 2004). Como resultado, conservación de la humedad del suelo por la sombra brindada por los árboles, regulación de aguas subterráneas, control de inundaciones en campos y zonas aledañas, permanencia de indicadores biológicos para las condiciones del campo.

En Uruguay, investigaciones con ganaderos al norte del país, aseguran que en épocas de sequía extrema el manejo de carga animal es clave para evitar la degradación de pastizales y el sostén económico de la ganadería; es necesario recalcar, que los ecosistemas que acogen cultivos y ganadería se encuentran en proceso de degradación; así mismo descende la provisión de servicios ecosistémicos, algunas de las repuestas por parte de los campesinos fueron el monitoreo del estado de las pasturas y los ganados, y un vasto programa con jornadas de buenas prácticas agropecuarias (Oyhantçabal, 2010).

En Andalucía, se ha realizado un estudio básico para la adaptación al cambio climático en el sector ganadero, tras evaluar la vulnerabilidad de este sector por los cambios previstos en las variables de temperatura y precipitación. Como resumen de las principales medidas de adaptación, se ha

propuesto cambios en las instalaciones de las granjas para mejorar la ventilación, reducción de la carga animal, cambios en la dieta y horarios de alimentación, entre otras (Unión Europea, 2012).

En Colombia, FEDEGAN junto con la fundación CIPAV, han desarrollado y gestionado proyectos de ganadería sostenible con el establecimiento de sistemas silvopastoriles y la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales; con el fin, de que la actividad ganadera contribuya a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, y a su vez mejore su productividad y rentabilidad (Uribe et al., 2011).

Finalmente, en Nicaragua se ha realizado un amplio estudio de la vulnerabilidad del sector ganadero frente a los impactos del cambio y la variabilidad climática; así mismo, han identificado que los enfoques de adaptación basada en ecosistemas a partir del establecimiento de sistemas silvopastoriles, son estrategias promisorias, con proyección a ser incluidos en los planes, programas y políticas del sector ganadero (Leupolz-Rist et al., 2017)

#### **4.7. Pago por servicios ambientales**

El pago por servicios ambientales es un instrumento económico que busca compensar a propietarios de predios por acciones de conservación y restauración de ecosistemas; también se define como la transacción voluntaria entre al menos un vendedor o proveedor de servicios ambientales, y al menos un comprador o interesado en estos servicios (Wunder, 2007).

Según (R. Hernandez, 2012), la ausencia de incentivos que compensen a los propietarios de los predios ubicados en la parte alta de las cuencas hidrográficas, es una de las razones que conllevan al deterioro de los ecosistemas; dado que optan por cambiar el uso del suelo para fines agrícolas y ganaderos, asegurando ingresos para su subsistencia. Esto a su vez, afecta los servicios ecosistémicos que beneficia a los habitantes de la parte baja de la cuenca. De esta forma, el pago por servicios ambientales hidrológicos tiene como finalidad compensar a estos propietarios, de manera que se contribuya en la conservación e incremento de bosques, garantizando el rendimiento y abastecimiento del recurso hídrico (Perevochtchikova & Vasquez, 2010).

De acuerdo con (MAVDT, Unidad Administrativa del Sistema de Parques Nacionales Naturales, WWF, Conservacion Internacional, & The Nature Conservancy, 2008), en Colombia los esquemas nacionales de Pago por Servicios Ambientales no son exitosos por su dependencia a la financiación

del gobierno y la falta de voluntad política del Ministerio de Ambiente. En cambio, la implementación de esquemas de Pago por Servicios Ambientales a nivel local ha sido más promisorio, por la asignación puntual de recursos.

Por otro lado, (Sánchez, 2014) afirma que en Colombia las fuentes de financiamiento para el desarrollo de proyectos de conservación de los recursos naturales son privadas y públicas. Las privadas, se fundamentan en la inversión en tecnologías limpias y el aporte del 1 % del valor de proyectos vinculados a licencias ambientales para la recuperación y conservación de cuencas hidrográficas. En cuanto a las públicas, el gobierno utiliza ingresos procedentes de recargos e impuestos ambientales; así como pagos entregados por voluntarios locales, dirigidos por los acueductos y asociaciones de usuarios de agua, quienes son asesorados por las Corporaciones Autónomas Regionales y el Ministerio de Ambiente.

Finalmente, existen casos donde se ha evaluado implementar esquemas de pago por servicios ambientales en sistemas ganaderos para que se establezcan sistemas silvopastoriles; con el fin de frenar la deforestación y degradación de los ecosistemas asociados, pero también para aumentar la producción e ingresos económicos. Para el 2002, en Colombia, Costa Rica y Nicaragua se implantó este nuevo enfoque financiado por el Medio Ambiente Mundial con la participación de 450 campesinos; concluyendo que son estrategias económicamente viables para los productores agropecuarios (FAO, 2006b).

#### **4.8. Sistemas silvopastoriles**

La ganadería asociada a sistemas silvopastoriles genera servicios ecosistémicos como producción de forraje, mejor reciclaje de nutrientes, menor demanda de fertilizantes, microclimas que protege a los animales de los excesos de calor y lluvias, recuperación de corredores biológicos y cuerpos de agua, producción de madera a largo plazo, mayor rendimiento en la producción de leche, regulación de la fuerza cinética de las precipitaciones y almacenamiento de carbono (Arboleda, Tombe, Morales, & Vivas, 2013; DANE, 2015; Navas, 2010; Wilson, 2013).

Adicionalmente, (Murgueitio, Chará, Barahona, Cuartas, & Naranjo, 2014) afirman que los sistemas ganaderos con mayor presencia de árboles, arbustos forrajeros y pastos mejorados, contribuyen a la mitigación de cambio climático; a causa amplio depósito de carbono en el suelo y vegetación, la reducción de la emisión de metano por cambio de dieta en los animales y mayor eficiencia en la recirculación del nitrógeno dentro del sistema. Así mismo, ayudan a que los

sistemas ganaderos se adapten al cambio y variabilidad climática, dado que se reduce la temperatura y las tasas de evapotranspiración, se mejora la humedad y las condiciones del suelo.

Con respecto a los arreglos silvopastoriles, (L. Sanchez et al., 2009) describe diferentes tipos como cercas vivas, de sombra, de ramoneo y bancos forrajeros; que generalmente en trópico alto se establecen con la asociación de especies como el Aliso, Acacia y Sauco. Estas especies son de rápido crecimiento, fácil rebrote y alto valor nutricional; por lo que se permite el consumo directo del forraje por parte del ganado. En cuanto a las distancias de siembra, recomienda entre árboles 5 o 10 metros y distancia entre surcos de 10, 15 o 20 metros.

(Uribe et al., 2011), proponen el establecimiento de sistemas silvopastoriles con pasturas asociadas a arbustos forrajeros y árboles fijadores de nitrógenos nativos o introducidos, como el Aliso y la Acacia; en una relación de 1 árbol por cada 15 arbustos, con el fin de que por hectárea la población de árboles no sea menor a 100 y en arbustos no sea menor a 1.500. Así mismo, recomienda la siembra de las especies forrajeras a una distancia entre plantas de 0.5 metros y para los árboles a una distancia entre ellos de 3 metros, garantizando suficiente proteína para el ganado.

Por otro lado, (Apráez, Delgado, & Narváez, 2012) evaluaron a través de técnicas *in vitro* la producción de gases por diferentes especies forrajeras, identificando que el *Sambucus nigra* presenta elevado potencial en la disminución de emisiones de metano; debido a que en su estructura hay presencia de metabolitos secundarios y equilibrio entre sus componentes fibrosos; por lo que esta especie es una alternativa estratégica para ser incluida en la dieta del ganado.

Por otro lado, en zonas de alta montaña (>2.000 msnm) donde el pasto kikuyo es la base de sistemas lecheros de mediana a alta intensidad, la asociación con Aliso y Sauco es positiva (C. Cardenas, Rocha, & Mora, 2011; Murgueitio & Ibrahim, 2000); el pasto permanece en mejores condiciones en presencia de estos árboles, incluso en épocas secas (Insuasty, Apraez, & Navia, 2011); así mismo, disminuye sus contenidos de lignina generando altos niveles de digestibilidad (Gualdrón & Padilla, 2007).

Finalmente, en cuanto a otras especies forrajeras promisorias como la *Acacia decurrens*, (Giraldo, 1996) resalta este árbol como un excelente suplemento alimenticio para el ganado y afirma que es económicamente más rentable que el uso de concentrados. Sin embargo, (Solorza, 2012) realizó un estudio sobre la regeneración de la *Acacia decurrens* en proceso de restauración ecológica,

evidenciando que las áreas con mayor acumulación de hojarasca de esta especie introducida e invasora, evita el desarrollo de especies nativas. A pesar de ser una leguminosa arbórea clave en la fijación de nitrógeno, adaptación en suelos degradados y tolerancia a sequías (Gualdron & Padilla, 2007); tiene requerimientos hídricos superiores a las especies endémicas, causa pérdida de biodiversidad por competencia con otras especies y perturba el funcionamiento de los ecosistemas. Adicionalmente, generan gran cantidad de semillas que se dispersan ampliamente, germinando fácilmente en diferentes ambientes, manteniéndose viables en el suelo por largo tiempo (Matthews, 2005)

De igual modo, el Eucalipto y el Pino son especies introducidas e invasoras que han sido utilizadas para el establecimiento de cercas vivas o barreras rompevientos en zonas agropecuarias como lo describe (Muñoz, Calvache, & Yela, 2013; Uribe et al., 2011). Pero, no se ha tenido en cuenta los impactos que genera su establecimiento, particularmente en pastizales y sabanas; pues reducen la escorrentía, bajan el nivel freático, desplazan especies nativas e impiden la regeneración de hábitats naturales (Matthews, 2005).

## **5. MARCO CONCEPTUAL**

### **5.2. Bosque Andino**

La cadena montañosa de los Andes comprende una variedad de ecosistemas definidos por ciertas condiciones climáticas y altitudinales, entre los que se encuentran los bosques montanos, llamados también bosques andinos o bosques montanos de los Andes tropicales que se extienden por países como Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Venezuela; ubicándose entre los 1.000 y 3.300 m s.n.m. (M. R. Sanchez et al., 2012).

Según Tobón (2009), para varios autores la investigación sobre bosques andinos es aún precaria para establecer su clasificación; por lo cual, se ha propuesto la identificación de variables que alteran las condiciones de estos ecosistemas, a partir de gradientes ambientales notables, que permita identificar cambios en su estructura y composición.

Los bosques andinos presentan una dinámica hídrica poco convencional, es decir, que la niebla y la lluvia que son transportadas por el viento son un aporte adicional de agua y nutrientes al sistema (Tobon & Arroyave, 2007). En cuanto a los servicios ecosistémicos, estos bosques contribuyen con

una amplia oferta como la regulación hídrica, regulación de caudales, regulación climática regional, captura y almacenamiento de carbono (Cuesta, Peralvo, & Valarezo, 2009), diversidad biológica única en el mundo, control del microclima del territorio por la captura de humedad y disminución de radiación solar, complejas redes hídricas, control de erosión del suelo y la calidad del agua (Tobon, 2009).

### **5.3.Sistema productivo ganadero**

Los sistemas de producción agropecuarios se definen como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas y pecuarios (Cotler, Fregoso, & Damián, 2006). Según la FAO, es el conglomerado de sistemas de fincas individuales, que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones familiares similares (Dixon, 2001). Bajo el esquema sistémico, Mazoyer (1992-1993) como se cita en (Guzman, 2010), plantea que un sistema productivo está compuesto por dos subsistemas abiertos, el ecológico-técnico y el socioeconómico, los cuales interactúan entre sí.

El sistema productivo ganadero combina factores como la mano de obra y la tierra para generar bienes como leche, carne y pieles que se consumen directamente, son destinados al mercado o a la industria alimentaria. En Colombia, predomina el modelo de ganadería tradicional basada en recursos locales, este modelo incluye cinco sistemas diferentes de producción: el pastoreo extractivo basado en lo que puede producir el medio ambiente por sí mismo; el pastoreo extensivo donde existe pocas cabezas de ganado en una amplia extensión de terreno; el pastoreo mejorado donde se hace alto control de malezas, fertilización de suelos y uso de suplementos alimenticios; el pastoreo semi-intensivo basado en suplementos, fertilización y cercas eléctricas; y el sistema de confinamiento donde a los animales se les brinda el alimento permaneciendo estabulados (Restrepo, 2014).

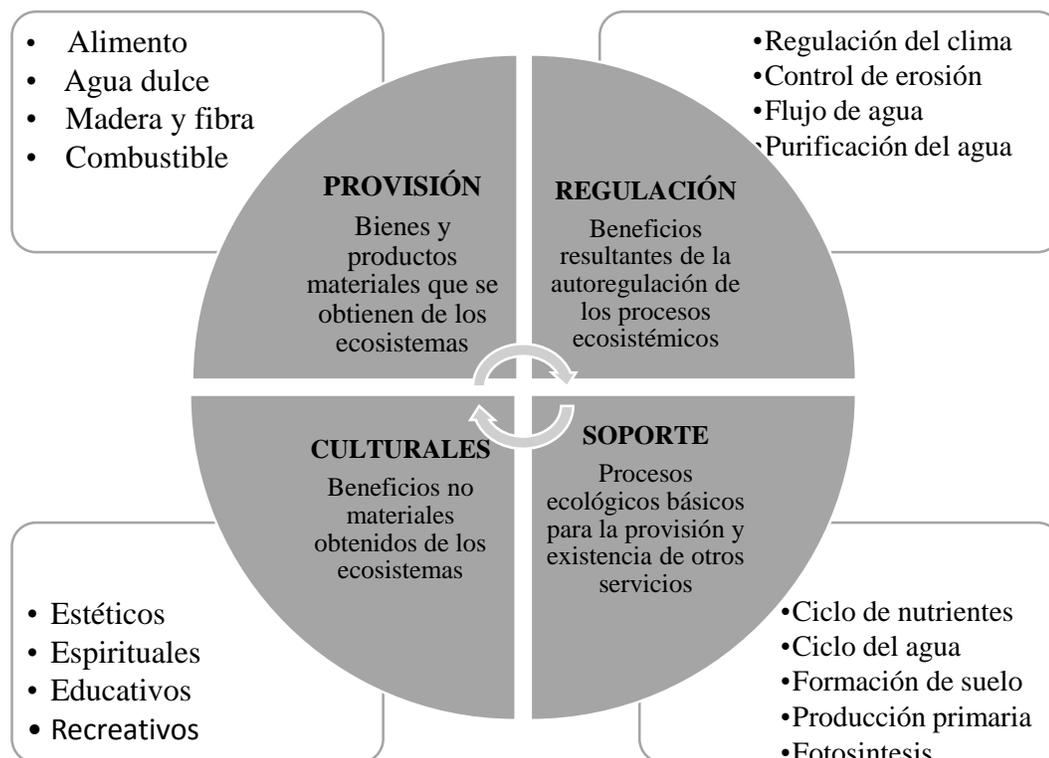
### **5.4.Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que proporcionan los ecosistemas a los seres humanos, ya sean económicos o culturales (UNESCO, 2010). Algunos ejemplos son la regulación atmosférica, hídrica y climática, el control biológico, comida, disponibilidad de hídrica, formación de suelo, control de erosión, entre muchos otros (Comision Europea, 2009). Es importante tener

claro cuáles son los servicios ecosistémicos que provee el ecosistema estudiado, para cuantificar sus aportes y abastecimiento a la población asociada.

La clasificación de servicios ecosistémicos establecida por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005), ha sido referente de muchas investigaciones y documentos políticos en todo el mundo; permitiendo identificar como la intervención humana puede ampliar beneficios directos e indirectos para la sociedad y también generar cambios espaciales y temporales que generan transformaciones en los ecosistemas, sus procesos y funciones, afectando el bienestar humano (Ruíz et al., 2014). Esta clasificación agrupa los servicios ecosistémicos como se describe a continuación:

*Figura 3. Clasificación de servicios ecosistémicos.*



Nota: Adaptado de (Ruíz et al., 2014)

#### 5.4.1. Servicios hidrológicos

Los ecosistemas andinos brindan diferentes servicios hidrológicos que están relacionados con el régimen hidrológico, es decir, con las condiciones biofísicas del ecosistema que permiten que el agua en una cuenca tenga una variabilidad estacional definida con cierta calidad (Quintero, 2010). De esa variabilidad estacional se derivan los servicios hidrológicos como la regulación de la calidad

y cantidad de agua; la minimización de ciclos de inundación y sequía; la generación, protección y mantenimiento de suelos y sus nutrientes; la regulación del clima a escalas locales y regionales y la estabilización del paisaje, con el fin de evitar deslaves y azolve de los ríos (Manson, 2004).

Por otro lado, estimar el valor económico de los servicios hidrológicos suministra información sobre la escasez relativa y la presión que se ejerce sobre los recursos hídricos; el cambio y la variabilidad climática tienen influencia directa en la modificación del ciclo hidrológico presentándose exceso de precipitaciones en algunos lugares y fuertes sequías en otros, con un amplio panorama de consecuencias sobre los ecosistemas y las comunidades asociadas a estos (CONAGUA, 2010); de ahí que el manejo integrado de las cuencas requiera la estimación de los beneficios o de los valores en la disponibilidad de agua (Martínez & Dimas, 2007). Cabe aclarar, que el valor de los recursos hídricos no depende únicamente de su cantidad, sino de al menos cuatro factores más que son la calidad, ubicación, facilidad de acceso y tiempo de disponibilidad (UNESCO, s. f.)

#### **5.4.2. Valoración ecosistémica**

La valoración ecosistémica es una herramienta que a través de la recolección y análisis de información, permite conocer el valor de los servicios ecosistémicos que prestan beneficios a las comunidades, y como este valor se relaciona con la toma de decisiones en el aprovechamiento y conservación de ecosistemas (Ruíz et al., 2014). Particularmente, la valoración económica es un instrumento que permite cuantificar monetariamente los servicios ecosistémicos favoreciendo la toma de decisiones sobre la utilización de recursos escasos.

Por otro lado, la valoración de los servicios ecosistémicos aborda una clasificación de los usos asociados a estos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003):

El valor de uso, el cual está determinado por la disponibilidad a pagar que ofrecen los individuos por usar bienes y servicios generados por el ambiente; este a su vez se clasifica en:

- Valor de uso directo, uso de un recurso por personas que están localizadas en cercanías al recurso natural.
- Valor de uso indirecto, los usuarios no están en contacto directo con el recurso en su estado natural; sin embargo, se benefician de este.

El valor de no uso, está asociado al valor que está en la propia naturaleza de las cosas. Este tipo de valor incluye:

- Valor de existencia, que se refiere al valor que le dan las personas por el hecho de conservar los recursos.
- Valor de legado, valor que le dan las personas para que las futuras generaciones puedan acceder a los servicios de los ecosistemas.

### **5.5. Variabilidad climática**

De acuerdo con (IPCC, 2014), la Variabilidad climática es la variación en el estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistemas climático o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico. Por otro lado, la variabilidad climática presenta un riesgo no solo para los ecosistemas, sino también para los sistemas sociales que dependen de sus servicios, la perturbación de estos últimos puede incurrir en el aumento de la vulnerabilidad social (Montes, 2013).

#### **5.5.1. Fenómeno de El Niño**

El Niño es un evento climático que es causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual. Es uno de los componentes oceánicas del ENOS (Oscilación del Sur) que corresponde a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia (SIAC, 2016).

### **5.6. Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad es el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad del clima y los fenómenos extremos (IPCC, 2007). La vulnerabilidad está dada en función de factores como la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa (IPCC, 2014):

La exposición es la naturaleza y grado en que un sistema experimenta estrés ambiental o socio-político; las características de éstos incluyen la magnitud, frecuencia, duración y extensión

superficial del riesgo. La sensibilidad es el grado en el que un sistema se modifica o afecta por perturbaciones. En tanto, la capacidad adaptativa es la habilidad de un sistema de evolucionar para responder a riesgos ambientales o cambios en políticas, y de expandir el rango de variabilidad que puede soportar (MGAP-FAO, 2013).

### **5.7. Adaptación basada en ecosistemas**

La adaptación basada en ecosistemas (AbE), es el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como estrategia empleada por comunidades para contrarrestar los efectos del cambio climático global y de esta manera disminuir la vulnerabilidad (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009). La AbE integra programas de manejo sostenible y conservación de ecosistemas que pueden ser aplicados a nivel nacional, regional o local (A.Lhumeau & Cordero, 2012).

Por otro lado, Blaikie, P. et al, 1997 citado por (Giro, Ehrhart, & Oglethorpe, s. f.), afirma que la adaptación al cambio climático dependerá del apoderamiento de los grupos locales para asegurar el acceso a los recursos y la adecuada gestión de los ecosistemas de los que dependen, ayudando así a construir la resiliencia. Según (Campbell et al. 2009) citado por (Chong, 2014), establece que para implementar estrategias de AbE, se necesita situarlas en el contexto de los tres tipos de vínculos identificados en la literatura: el papel de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la adaptación de la sociedad; el impacto de la adaptación de la sociedad sobre la biodiversidad; y que las estrategias de adaptación con biodiversidad y ecosistemas se ordenen por derecho propio.

En cuanto a los tipos de adaptación, el IPCC (2007) describe tres tipos:

- Adaptación anticipadora o proactiva: Es la adaptación que tiene lugar antes de que se observen efectos del cambio climático.
- Adaptación autónoma o espontánea: Corresponde a los cambios ecológicos que se desencadenan del mismo sistema natural o por alteraciones en el mercado o en el bienestar humano; es decir, que no corresponde a una respuesta consciente a los estímulos del cambio climático.
- Adaptación planificada: Es el resultado de un marco de políticas, donde se reconoce que las condiciones están cambiando o están próximas a cambiar y que es necesarios establecer medidas para retornar, mantener o alcanzar el estado deseado.

## 6. DISEÑO METODOLOGICO

### 6.1. Enfoque

El enfoque de la investigación en primer lugar es cuantitativo, debido a que los fenómenos serán evaluados basados en la realidad, sin influencia o manipulación de los datos por parte del investigador (Sampieri, 2012). Se estudiarán variables como elementos del clima a partir de información cuantificable proveniente de estaciones meteorológicas, usando métodos estadísticos estandarizados.

Así mismo, se busca cuantificar el valor de los servicios ecosistémicos hidrológicos que provee el ecosistema asociado, a la comunidad campesina y su sistema productivo; para mejorar su adaptación a la variabilidad climática.

Por otro lado, también tiene un enfoque cualitativo, debido a que parte de las actividades definidas para la investigación, se fundamentan en la revisión bibliográfica, la observación y los diálogos directos con la comunidad campesina para la recolección de datos; los cuales a diferencia de los cuantitativos, son amplias descripciones.

### 6.2. Variable tiempo

El diseño de este trabajo investigativo es longitudinal debido a que se evaluará la dinámica del ecosistema, el clima y el sistema productivo en un periodo de tiempo establecido.

En cuanto a la recolección de la información, el diseño del trabajo investigativo es transversal debido a que se recolectará información una sola vez, aunque incluya escenarios o contextos ambientales distintos (D'Ancona, 1995).

Por otro lado, otra parte de la investigación será de tipo transeccional correlacional causal, debido a que se hará relación entre variables en un momento determinado; las causas y los efectos están ocurriendo durante el desarrollo del estudio, y quien investiga los observa y reporta (Sampieri, 2012).

### 6.3. Según el alcance de los objetivos

#### - Objetivo específico 1.

**Enfoque Descriptivo:** Este enfoque describe las propiedades, características y rasgos importantes de un fenómeno; a través de estrategias para obtener la información y analizarla (D'Ancona, 1995).

Para cumplir con este objetivo, se realizará la caracterización biofísica del agroecosistema. Por otro lado, se recolectarán datos mediante una encuesta aplicada directamente a la comunidad campesina; donde se busca obtener información sobre la dinámica de los sistemas ganaderos en la vereda Mancilla.

- **Objetivo específico 2.**

**Enfoque Correlacional:** Este enfoque tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que hay entre variables, y luego cuantificar esta relación para su posterior análisis (Sampieri, 2012).

A partir del método de valor contingente el cual se basa en la creación de un mercado hipotético, se busca valorar los servicios hidrológicos proveídos por los bosques en la vereda Mancilla, usando como herramienta encuestas dirigidas a los ganaderos de la vereda. De esta forma, conocer su perspectiva y la toma de decisiones sobre el manejo del recurso hídrico.

- **Objetivo específico 3.**

**Enfoque Exploratorio:** Este enfoque tiene una perspectiva innovadora que busca el aporte de nuevos estudios (Sampieri, 2012). Se proponen alternativas con el fin de mejorar la capacidad adaptativa de la comunidad campesina y el agroecosistema. Las alternativas o estrategias propuestas deben contener pautas de buenas prácticas agropecuarias, de buen uso y aprovechamiento de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Este se realizará con base a la literatura y metodologías usadas en otras investigaciones.

#### **6.4.Diseño operacional**

En el anexo 3 se relaciona en una matriz el diseño operacional.

## **7. MARCO REFERENCIAL**

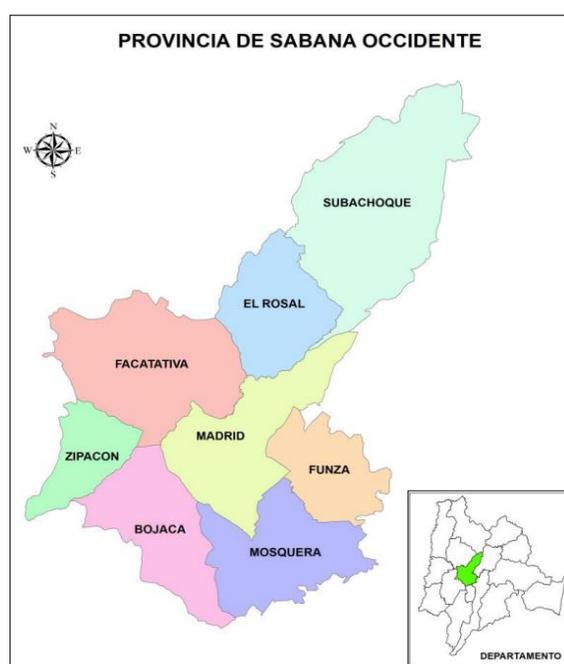
### **7.1.GENERALIDADES REGIONALES, MUNICIPALES Y VEREDALES**

El departamento de Cundinamarca está dividido en 15 provincias que facilitan su administración, una de ellas es Sabana de Occidente dividida a su vez en ocho municipios, de los cuales Facatativá es el segundo de mayor superficie con 159,69 km<sup>2</sup> y el primero en densidad poblacional con 132.106 habitantes. Adicionalmente, Facatativá se divide en 14 veredas, Mancilla es la de mayor superficie y densidad poblacional con 20,9 km<sup>2</sup> y 1.028 habitantes respectivamente.

### 7.1.1. Sabana de Occidente

El departamento de Cundinamarca tiene una extensión de 22.554,13 km<sup>2</sup>, se divide en 116 municipios, agrupados en 15 provincias. Una de estas provincias es la Sabana de Occidente, la cual acoge ocho municipios: Facatativá, Bojacá, El Rosal, Funza, Madrid, Mosquera, Subachoque y Zipacón. Según el DANE (n.d), la población estimada en el 2015 para Sabana de Occidente fue de 385.545 habitantes, siendo Facatativá el mayor en densidad poblacional. La siguiente figura muestra el mapa de la provincia Sabana de Occidente:

*Figura 4. Municipios de la Sabana de Occidente, departamento de Cundinamarca.*



Nota. Fuente: (Secretaría de Planeación de Cundinamarca, s. f.)

### 7.1.2. Municipio de Facatativá

El municipio de Facatativá está ubicado en el extremo occidental de la provincia Sabana de Occidente, con una extensión total de 159,69 km<sup>2</sup>; el área urbana es de 5,75 km<sup>2</sup> (3,6 %) y el área rural es de 153,94 km<sup>2</sup> (96,4 %). De acuerdo con el DANE (n,d), para el año 2015 la población fue de 132.106 habitantes; de los cuales, 119.294 ubicados en la cabecera municipal y 12.812 en el resto del municipio.

Por otro lado, Facatativá limita al norte con Sasaima, La Vega y San Francisco; al sur con Zipacón y Bojacá; al oriente con Madrid y El Rosal; y al occidente con Anolaima y Albán (Alcaldía de Facatativá, 2017).

*Figura 5. División política del municipio de Facatativá.*



Nota. El municipio de Facatativá está dividido en 14 veredas. Fuente: (Alcaldía de Facatativá, 2017).

En cuanto a la economía de Facatativá, los sectores que generan más empleo son la agricultura con el 21.3 %, los servicios agropecuarios con 15.6 %, las aves de corral con 13.9 % y el ganado vacuno con 6.7 %; este último para el 2014 generó 16.752 puestos de trabajo (DATLAS, 2016).

La cobertura de los servicios públicos en el municipio esta evaluada en tres diferentes áreas descritas en la siguiente tabla:

Tabla 3. Cobertura de Servicios Públicos en Facatativá.

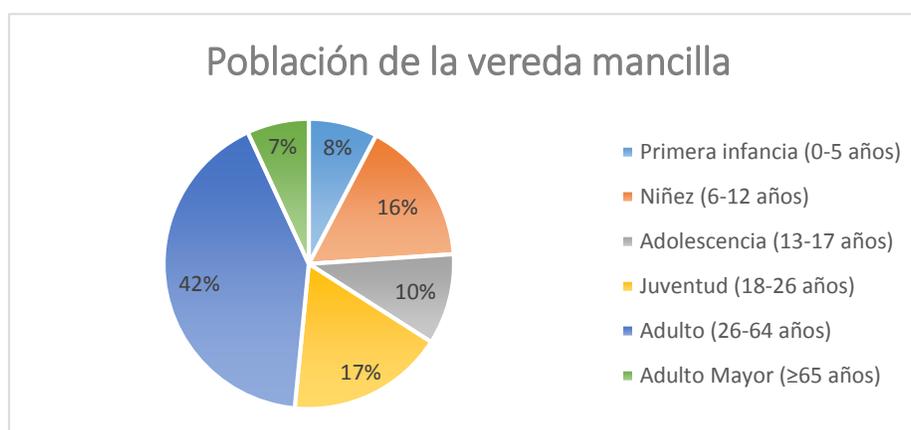
Servicio Público	Cabecera	Centros Poblados	Rural
Acueducto	99,71 %	82,91 %	40,36 %
Alcantarillado	99,55 %	58,98 %	19,22 %
Energía eléctrica	98,87 %	98,11 %	94,43 %
Recolección de Basuras	98,78 %	91,34 %	64 %
Teléfono	20,42 %	2,83 %	0,88 %
Gas Natural	67,22 %	0,87 %	0,61 %

Nota. . Haciendo énfasis en la parte rural, los porcentajes de los servicios fundamentales como el acueducto y alcantarillado son muy bajos en comparación de las otras áreas. Fuente: Secretaria de Planeación de Cundinamarca 2011-2013, Capítulo 5, Cuadro 5.1.

### 7.1.3. Vereda Mancilla

La vereda Mancilla tiene un área de 2.090 hectáreas y según cálculos de la Alcaldía de Facatativá en ella habitan alrededor de 1.028 personas; en términos de densidad poblacional es la vereda más o menos poblada de Facatativá.

Figura 6. Población de la vereda Mancilla.



Nota. Fuente: DANE, n.d. (como se cita en Vargas, 2012).

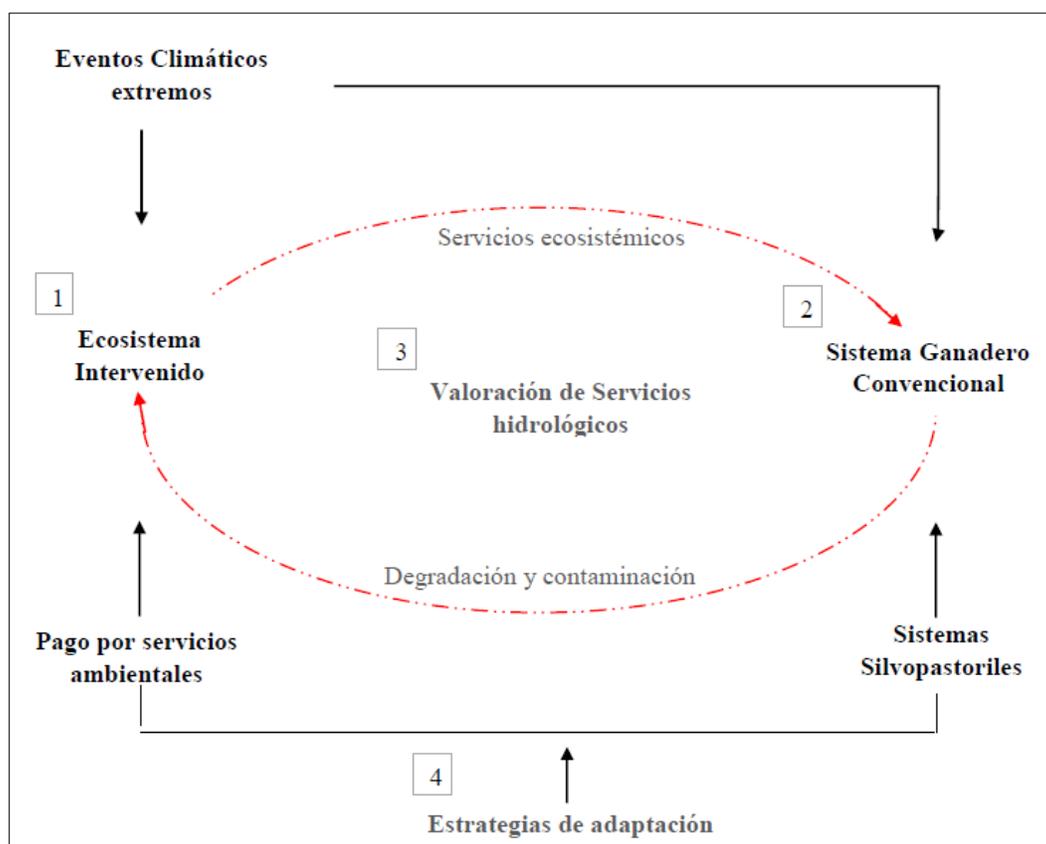
La vereda Mancilla se ubica aproximadamente a 2.600 m s.n.m, rodeada por montañas, en las cuales se puede aún encontrar relictos de bosques andinos. Se conforma principalmente por fincas

dedicadas a la ganadería y agricultura con manejo de cultivos de fresa, arveja y papa (Gomez, 2003). Para el abastecimiento de agua potable, se cuenta con un acueducto veredal, en el sector Cerro Negro km 46, donde se realiza la captación de fuentes superficiales con caudal entre 1 a 3 L/s, se almacena en un tanque con capacidad de 100 m<sup>3</sup>, conducidos y distribuidos por tuberías PVC de 2 pulgadas (Cortes, 2015).

En conclusión, la vereda Mancilla se caracteriza por ser la de mayor extensión y la que alberga mayor población. Por otro lado, sus actividades se basan principalmente en actividades agropecuarias.

## 8. METODOLOGÍA

Figura 7. Relación eventos climáticos extremos, ecosistema y sistema ganadero.



Nota. Fuente: Autor.

## **8.1. Caracterización del ecosistema**

### **Clima**

De acuerdo a las regulaciones técnicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las normales climatológicas estándar son promedios de datos climáticos en periodos consecutivos de 30 años. Sin embargo, se pueden calcular normales provisionales u operativas para estaciones que cuenten con información de periodos menores a 30 años, pero no se debe considerar datos inferiores a 10 años (Jimenez, s. f.; Ruiz, Flores, Regalado, & Ramírez, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, para el cálculo de los índices agroclimáticos y anomalías se usaron los datos meteorológicos de la estación climatológica ordinaria Sabaneta, ubicada en el municipio de San Francisco. Esta estación cuenta con los datos de precipitación y temperatura más completos en un periodo de 24 años (1990 – 2013). Adicionalmente, (López, 2013) basado en lo establecido por la OMM, describe que las estaciones climatológicas ordinarias tienen un radio de acción en zonas montañosas de 6 kilómetros aproximadamente; por lo cual, la estación Sabaneta tiene cobertura en gran parte de la vereda Mancilla.

Cabe aclarar, que el municipio de Facatativá cuenta con la estación climatológica ordinaria Villa Inés; sin embargo, los datos de esta estación no fueron utilizados para el cálculo de los índices, debido a que la información de las temperaturas media, mínima y máxima solo es de 8 años, periodo que no alcanza si quiera al mínimo requerido para las normales provisionales u operativas.

Para el análisis del componente climático se utilizó el software CLIC-MD (Climate change analysis with monthly data) creado por la Universidad Nacional Autónoma de México y mejorado por la comunidad científica Skiu. Este programa permite organizar, almacenar y analizar cientos de datos climáticos. Las variables de entrada son precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media, coordenadas geográficas y altitud de la estación meteorológica; estas últimas favorecen la georreferenciación y cálculo de la radiación solar que recibe la zona. Estas variables se usaron para calcular la evapotranspiración y los índices agroclimáticos como la humedad, aridez, índice de concentración por precipitaciones y la erosión por concentración de lluvias, a nivel mensual y anual. A continuación se describen las ecuaciones y clasificaciones de los índices agroclimáticos que calcula el software, de acuerdo al manual establecido por (Bautista, Bautista, Alvarez, & Rosa, 2011):

- **Evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite**

$$ET = ET_{SC} * \frac{N}{12} * \frac{dm}{30}$$

ETsc: Evapotranspiración potencial sin corregir

N: Número máximo de horas sol, dependiendo del mes y la latitud

dm: Número de días por mes

- **Índice de humedad**

$$IH = \frac{\text{Exceso de precipitación}}{\text{Evapotranspiración Potencial}}$$

Tabla 4. Clasificación del Índice de humedad de Thornwaite.

<b>Clasificación</b>	<b>Rango</b>
Hiperáridas	<0,05
Áridas	0,06 – < 0,2
Semiáridas	0,2 – <0,5
Subhúmedas secas	0,5 - <0,65
Subhúmedas húmedas	0,65 - <1
Húmedas	1 - <1,5
Muy Húmedas	1,5 - <2
Hiperhúmedas	>2

Nota. Fuente: (Bautista et al., 2011)

- **Índice de concentración de las precipitaciones**

$$PCI = 100 \frac{\sum Pi^2}{\sum Pa^2}$$

PCI: Índice de concentración de la precipitación

Pi: precipitación mensual

Pa: precipitación anual

Tabla 5. Clasificación del Índice de concentración de precipitaciones.

<b>Clasificación</b>	<b>Rango (%)</b>
Uniforme	8.3 – 10
Moderadamente Estacional	10 – 15
Estacional	15 – 20
Altamente Estacional	20 – 50
Irregular	50 – 100

Nota. Fuente: (Velasco & Cortés, 2007)

- **Índice modificado de Fournier**

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{pi^2}{P}$$

pi: precipitación del mes i en mm.

P: precipitación total anual, en mm.

Tabla 6. Clasificación del índice modificado de Fournier.

<b>Clasificación</b>	<b>Rango</b>
Muy Bajo	0 -60
Bajo	60 – 90
Moderado	90 – 120
Alto	120 - 160
Muy alto	>160

Nota. Fuente: (Bautista et al., 2011)

En relación a la precipitación media mensual del municipio, se utilizó la información de las estaciones pluviométricas El Tesoro y Corazón, y de estaciones las climatológicas ordinarias

Sabaneta y Villa Inés; los datos fueron revisados y corregidos por el método de regresión lineal. En el anexo 4 se describen características particulares de cada estación y en el anexo 5 su ubicación geográfica.

### **Hidrografía**

La hidrografía se detalló a escala municipal y veredal a partir de información secundaria como el informe de la Contraloría de Cundinamarca (2010), donde compila el estado de los recursos naturales del departamento.

Por otro lado, para obtener el mapa hidrográfico de la vereda Mancilla, se utilizó el modelo digital de elevación ASTGTM2\_N03W073, el cual se descargó de la página de Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS Earth Explorer). Luego, se utilizó la herramienta Hidrology del software ArcGis, para obtener la dirección y acumulación de los flujos de agua.

### **Geomorfología, Flora y Fauna**

Para finalizar la caracterización del ecosistema, se identificaron las condiciones geomorfológicas a nivel de provincia, de municipio y vereda a partir de fuentes secundarias como el IGAC, informes del Ministerio de Minas y Energía, la página web de la Alcaldía de Facatativá, entre otras.

En cuanto a la flora y fauna particular del municipio, se usaron también fuentes secundarias como la página web de la Alcaldía de Facatativá, informes de la Secretaria de planeación de Cundinamarca, entre otras.

### **8.2. Caracterización de sistemas productivos ganaderos**

Para la caracterización de los sistemas ganaderos, se elaboró un formulario de encuesta con el fin obtener información sobre el tipo de producción, cantidad de hectáreas y reses por finca, tipo de pastos utilizados en la alimentación del ganado, fuentes de abastecimiento de agua, reciclaje de estiércol e impactos generados por el fenómeno de El Niño 2015 – 2016.

La encuesta fue aplicada a 20 sistemas ganaderos ubicados en diferentes partes de la vereda Mancilla (Anexo 8).

### - Evaluación del estrés térmico en el ganado

Las altas temperaturas pueden generar impactos en el ganado como reducción de ingesta de alimentos y aumento del consumo de agua, causando pérdida de peso en los animales; esto a su vez impactando en la producción de leche, eficiencia reproductiva, susceptibilidad a enfermedades e incluso la muerte. Por lo anterior, para evaluar el grado de estrés térmico en el ganado se calculó el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) a partir de la siguiente ecuación:

$$ITH = (1.8 * Td + 32) - (0.55 - 0.55 * HR/100) * (1.8 * Td - 26)$$

ITH: Índice de Temperatura y Humedad

Td: Temperatura del aire (° C)

HR: Humedad Relativa %

Así mismo, se consideró los niveles del índice de seguridad Climática asociados a las respiraciones por minuto, como lo estableció por Hahn et al. (2000) como se cita en (A. Hernandez et al., 2010; Leupolz-Rist et al., 2017).

*Tabla 7. Niveles de IGSC basados en los valores de ITH y respiraciones por minuto.*

<b>IGSC</b>	<b>ITH</b>	<b>Respiraciones por minuto</b>
Normal	≤ 74	< 90
Alerta	75 -78	90 - 110
Peligro	79 - 83	110 - 130
Emergencia	≥ 84	>130

Nota. Basado en Hahn et al. 2000; como se cita en (A. Hernandez et al., 2010) y (Leupolz-Rist et al., 2017).

Se realizó el cálculo de estos índices para un periodo con fenómeno de La Niña (2010 – 2011), un periodo con fenómeno de El Niño (2015 – 2016) y un periodo sin eventos climáticos extremos (2013), con el fin de comparar el comportamiento del estrés térmico en los animales. Para esto se usó información meteorológica de la estación Villa Inés, debido a que cuenta con la información más actualizada a la fecha.

### **8.3. Valoración de servicios ecosistémicos hidrológicos**

#### **Fase previa**

Para la elaboración de las encuestas se siguieron pautas generales establecidas por (J. C. Cardenas et al., 2012), a partir del análisis de variables de interés relacionadas con características generales de los sistemas ganaderos, condiciones socioeconómicas de los encuestados, percepción sobre el estado de los servicios hidrológicos, la valoración económica de los mismos y disposición a pagar por la restauración de los bosques con el fin de garantizar el suministro de agua en la vereda.

#### **Fase de campo**

El formulario de encuesta fue aplicado a 20 sistemas ganaderos ubicados en diferentes partes de la microcuenca de la quebrada Mancilla; entre los que se encuentran grandes y pequeños productores. Así mismo, se tomaron las coordenadas geográficas de cada finca para luego ser proyectadas en el software Arcgis y conocer su ubicación a lo largo de la vereda.

#### **Fase de análisis**

La valoración de los servicios hidrológicos se hizo a partir del método de valor contingente, mediante la creación de un mercado hipotético, con el fin de estimar el valor económico que los sistemas ganaderos le dan al recurso hídrico. La información recolectada fue analizada a partir de estadística descriptiva con ayuda del software estadístico SPSS.

### **8.4. Estrategias de adaptación a la variabilidad climática**

A partir de la revisión de la literatura, se identificaron dos estrategias de adaptación promisorias para los sistemas ganaderos. A continuación se describe a detalle la metodología de su propuesta:

#### **8.4.1. Pago por servicios ambientales**

Para la propuesta del esquema general de pago por servicios ambientales se tuvo en cuenta los elementos básicos establecidos por el Decreto 870 de 2017 “*Por el cual se establece el pago por servicios ambientales y otros incentivos a la conservación*”

- La identificación y priorización de áreas y ecosistemas estratégicos se fundamenta con lo descrito en el primer capítulo de esta investigación; en donde se describen las características generales del bosque andino y se concreta como área de trabajo la vereda Mancilla.

- La identificación de servicios ambientales hidrológicos provistos por los bosques andinos se identificaron a partir de la literatura, descritos en el tercer capítulo de esta investigación.
- En cuanto a la selección de predios, de las 20 fincas ganaderas que abarca la investigación, se seleccionaron de manera tentativa cinco fincas las cuales tienen características particulares: sistemas ganaderos ubicados en la parte alta y media de la microcuenca de la quebraba Mancilla, son pequeños productores (fincas con menor número cabezas de ganado) y en sus predios o proximidades presencia nacederos o pozos de agua.
- Con respecto a la estimación del valor del incentivo, el cálculo del costo-beneficio de esta estrategia se hizo a partir de lo descrito por el documento CONPES 3886 publicado en mayo de 2017.
- En relación a las fuentes de financiamiento, se consideraron las fuentes públicas, basado en lo establecido por el artículo 111 de la Ley 99 de 1993.
- Finalmente, para la formalización de acuerdos se propone un esquema de concertación de los actores involucrados en el pago por servicios ambientales; así como las responsabilidades y beneficios que deben asumir.

#### **8.4.2. Sistemas Silvopastoriles**

La segunda estrategia de adaptación a la variabilidad climática propuesta, es la implementación de sistemas silvopastoriles; debido a que la presencia de árboles y arbustos en los potreros reduce el estrés hídrico en épocas secas, debido a que se mejora la retención e infiltración de agua, reducen la escorrentía y las tasas de evapotranspiración son menores, por ende los suelos conservan mayor humedad (Villanueva, Ibrahim, Casasola, Sepúlveda, & Ríos, 2009).

Inicialmente, se identificaron las especies nativas con características favorables en el establecimientos de un sistema silvopastoril para fincas ganaderas, como interacción positiva con las otras especies, producción de forrajes, mejoramiento de la calidad de suelos, fijación de nitrógeno, atracción de fauna, entre otras.

En seguida, se proponen dos arreglos forestales a partir de las recomendaciones de Uribe et al., 2011; Navas, 2016; Sánchez et al., 2009. Sin embargo, no se tuvo en cuenta las asociaciones con especies introducidas e invasoras como la Acacia, el Eucalipto y el pino; teniendo en cuenta, que pueden limitar el desarrollo de especies nativas y aportar a la degradación de los suelos.

Finalmente, se plasmaron los diseños de los arreglos silvopastoriles con ayuda del software Sketchup Make, dado que es una herramienta de dibujo y modelado en 3D que permite representar escenarios a escala.

## 9. RESULTADOS

### 9.1. Caracterización del ecosistema

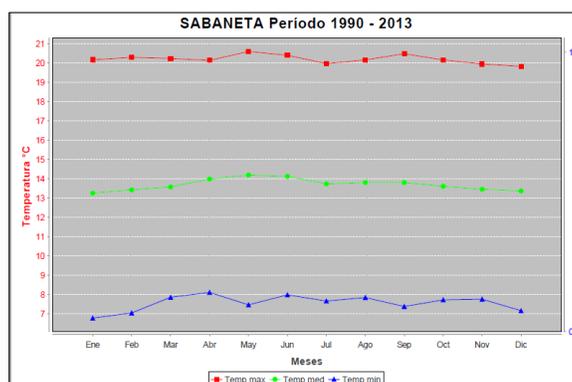
La caracterización biofísica del ecosistema comprende las dimensiones climáticas, geomorfológicas, hidrológicas, fauna y de flora. La información utilizada para esta caracterización corresponde a fuentes primarias y secundarias.

#### 9.1.1. Clima

De acuerdo con (Martínez & Botiva, 2011), Facatativá al encontrarse en el borde del escarpe hacia el Valle del Río Magdalena o pie de monte, siente la influencia de las montañas por el aumento de las lluvias debido a la velocidad del viento, presentando un clima de bosque húmedo montano bajo. Esta zona de vida se caracteriza en general por presentar temperaturas entre los 12 °C y 18 °C, precipitaciones anuales entre los 1.000 y 2.000 mm, y altitudes entre los 2.000 y 3.000 m s.n.m.

En promedio la temperatura del municipio es de 14 °C, se pueden presentar temperaturas máximas hasta de 22 °C y temperaturas mínimas de 6 °C (Alcaldía de Facatativá, 2017).

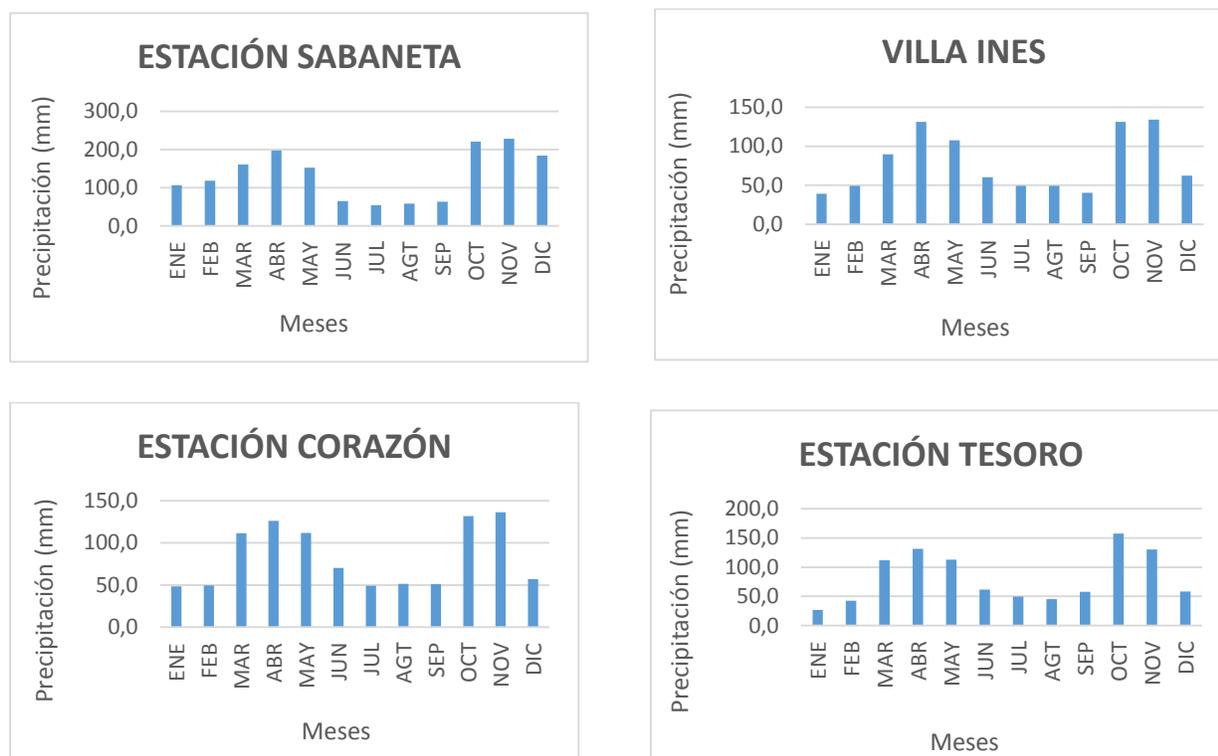
*Figura 8 Temperaturas media, máxima y mínima.*



Nota. Temperaturas media, máxima y mínima registradas en el municipio de Facatativá a partir de la estación Sabaneta.

Según el Plan Agropecuario Municipal como se cita en (Gomez, 2003), geográficamente la precipitación pluvial aumenta en las partes altas de los cerros circundantes al municipio (800 a 1.400 mm/año) y en la parte de sabana la precipitación disminuye (600 a 800 mm/año).

*Figura 9. Precipitación media mensual del municipio de Facatativá*



Nota. Fuente: Autor, a partir de información meteorológica de estaciones pluviométricas y climatológicas ordinarias.

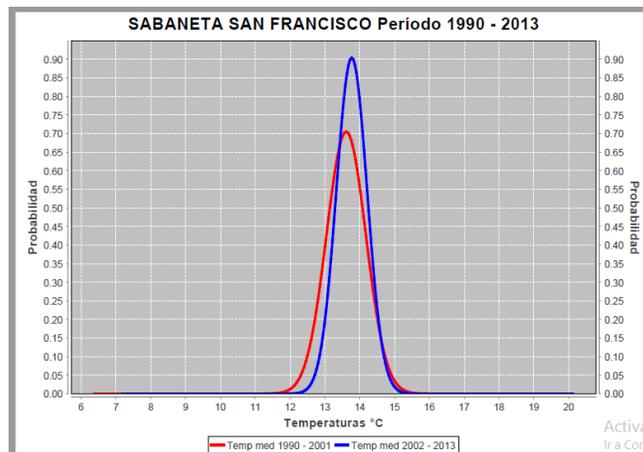
A partir de las gráficas de precipitación, se observa que Facatativá cuenta con un régimen de lluvias bimodal, debido a que se describen dos periodos de mayor lluvia en los meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre; mientras que los periodos de menor lluvia se presentan de diciembre a febrero y de junio a septiembre.

#### - Anomalías

Para la identificación de anomalías, se establecieron dos periodos de comparación, el primer periodo es de referencia (1990 – 2001) y el segundo es de cambio (2002 – 2013). En la gráfica se observa que en los últimos 12 años de evaluación, la temperatura media ha aumentado alrededor de 0.2 °C. Simultáneamente, el IDEAM (2014) cálculo para Colombia un aumento de temperatura

media de 0.13 °C/década en el periodo de 1971 – 2000; así mismo, proyectó un aumento de 1.4 °C en el periodo de 2011 – 2040.

*Figura 10. Anomalías por temperatura media 1990 - 2013*

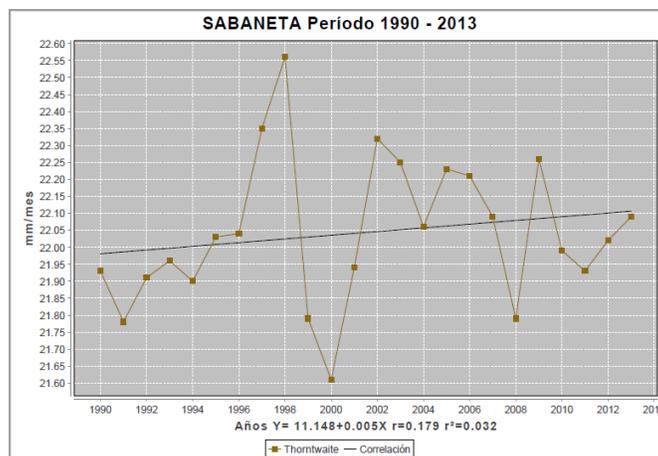


Nota: Fuente: Autor

### - Evapotranspiración por Thornthwaite

De acuerdo a la figura 11, se observa que las tasas de evapotranspiración han aumentado con los años. Se infiere, que el aumento de la temperatura media y la ausencia del componente arbóreo, a causa de la deforestación en gran parte del municipio, han influenciado en el comportamiento de esta variable. Debido a que las fuentes hídricas y la humedad del suelo están expuestos directamente a la radiación solar.

*Figura 11. Comportamiento de la evapotranspiración potencial*

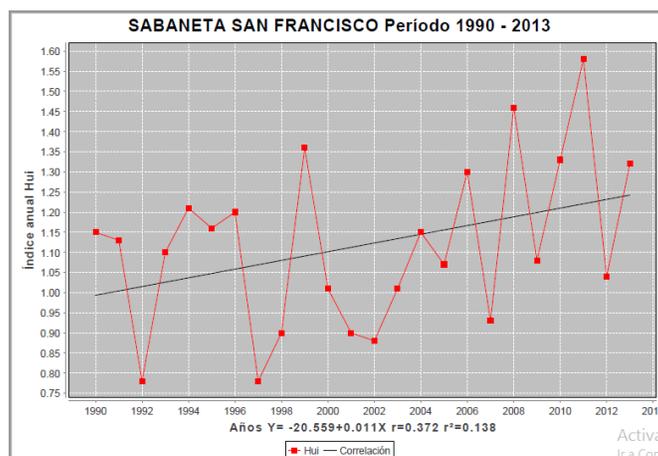


Nota. Fuente: Autor.

### - Índice de humedad

El índice de humedad de Thornthwaite permite estimar el agua disponible para las plantas y la humedad interanual de un lugar (Bautista et al., 2011). De acuerdo a la clasificación del índice de humedad y las condiciones climáticas de la zona, se presentan escenarios Subhúmedos húmedos, húmedos e hiperhúmedos durante todo el año; por lo tanto, la zona mantiene condiciones favorables de humedad.

Figura 12. Índice de humedad



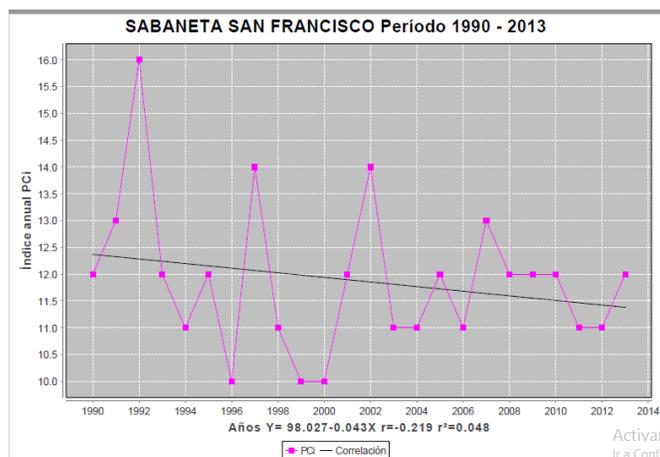
Nota. Fuente: Autor.

### - Índice de concentración de las precipitaciones (ICP)

El índice de Concentración de las precipitaciones refleja el porcentaje de intensidad de lluvias, a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales (Bautista et al., 2011). Por lo que en conjunto con el índice modificado de Fournier, permite evaluar la incidencia de la lluvia sobre la erosión del suelo durante el año.

La zona presenta valores del ICP entre 10 % y 16 % y de acuerdo a Velasco & Cortes (2007), se clasifica en moderadamente estacional y estacional; es decir, que hay disponibilidad de lluvia durante el año, ya que las precipitaciones no presentan variaciones extremas entre los meses.

Figura 13. Índice de concentración de precipitaciones

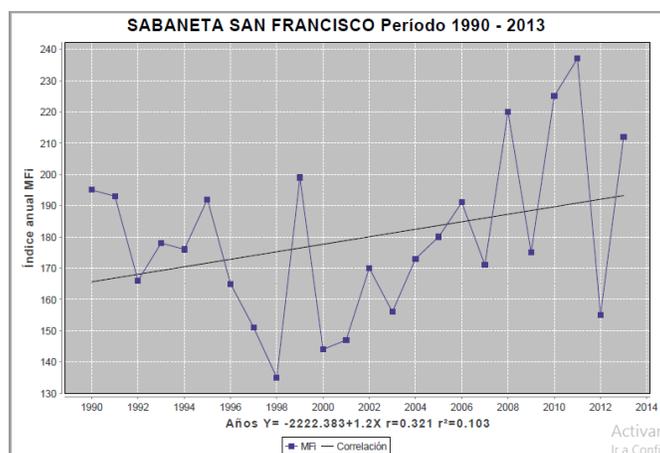


Nota. Fuente: Autor.

### - Índice modificado de Fournier

El índice modificado de Fournier permite estimar la agresividad de la precipitación en el proceso de erosión de suelos. De acuerdo a la clasificación del índice modificado de Fournier, la zona puede presentar riesgos altos y muy altos de erosividad de suelos, debido a la intensidad de la lluvia presentada durante el año. De igual modo, el Plan Agropecuario Municipal (2001) como se cita en (Gomez, 2003), describe que es notorio el fenómeno de erosión pluvial como consecuencia del escurrimiento de suelo en épocas de lluvias; y que en conjunto con actividades de deforestación y cambio del uso del suelo incrementan la vulnerabilidad.

Figura 14. Índice modificado de Fournier.



Nota. Fuente: Autor.

### **9.1.2. Hidrografía**

El sistema de drenajes de las aguas superficiales de la Sabana de Bogotá lo constituyen 15 cuencas hidrográficas, siendo la de mayor tamaño la cuenca del río Balsillas; sus subcuencas principales son las del río Subachoque, río Bojacá y Balsillas Bajo. En particular, la subcuenca del río Subachoque ocupa el 60 % del total de la cuenca del río Balsillas, y acoge parte de los municipios de Subachoque, El Rosal, Madrid, Funza, Mosquera y Facatativá (Pérez, 2000).

En detalle, la principal fuente hídrica del municipio de Facatativá es el río de los Andes o río Botello, el cual nace en el Cerro Peñas del Aserradero en la vereda La Tribuna a una altitud de 3.000 m s.n.m (Contraloría de Cundinamarca, 2010). Su recorrido es de 25 kilómetros aproximadamente hasta desembocar en el río Bojacá y sus principales afluentes son las quebradas Mancilla, La Pava, Yerbabuena, Malabrigo, Pantano Largo, El Manzano, Chicuaza, El Resbalón y San Rafael (Mendoza, 2011).

Particularmente, la microcuenca de la quebrada Mancilla se origina por la confluencia de pequeños manantiales provenientes de los cerros del Dintel y Cerro Negro ubicados al norte de la vereda Mancilla (anexo 8). La quebrada Mancilla recorre el municipio de noreste a suroeste, con una longitud de 9,5 kilómetros desembocando finalmente en el río Botello; sus principales afluentes son la Quebrada Cerro Negro, Quebrada Santa Ana, la Quebrada El Retiro y algunos drenajes directos (Contraloría de Cundinamarca, 2010).

En cuanto a los conflictos por el uso del recurso hídrico, a partir del trabajo realizado por la Empresa de Aguas del Occidente Cundinamarqués para la elaboración del plan de contingencia, como se cita en Contraloría de Cundinamarca (2010), se identificaron en varias microcuencas del municipio la instalación de acequias y mangueras para la captación de agua hacia reservorios de los cuales se desconoce el estado legal; lo anterior como medida para contrarrestar los impactos del fenómeno de El Niño. Particularmente, en la vereda Mancilla se encontraron 27 reservorios y 14 captaciones, siendo la fuente hídrica superficial con mayor presión dentro de la subcuenca del río Botello, y que en conjunto con el cambio de la cobertura forestal por cultivos y pastizales, se ha contribuido a la reducción de su cauce.

Aparte de ser una fuente importante en la subcuenca del Río Botello para abastecer el acueducto municipal, la quebrada Mancilla y sus afluentes abastecen también el acueducto veredal ubicado

en el Sector Cerro Negro Km 46, del cual se distribuye agua a las diferentes viviendas y fincas aledañas.

### **9.1.3. Geomorfología**

Según Montoya & Reyes (2005), la Sabana de Bogotá se divide en dos zonas fisiográficas, la primera es el altiplano el cual tiene un área de 88 km<sup>2</sup>; su parte más amplia es de 44 km, en sentido Facatativá-Usaquén, conformada por planicies lacustres y terrazas altas, limitada por cordones montañosos de la cordillera Oriental, su planicie se debe al relleno de sinclinales con sedimentos cuaternarios. Y la segunda es la zona montañosa de la cordillera Oriental, presentando pendientes escarpadas, cañones profundos y montañas redondeadas.

El occidente de la Sabana de Bogotá, tiene un estilo estructural determinado por fallas de cabalgamiento, con sistemas imbricados que nacen y son controlados por fallas de dirección noroeste que sirven como rampas laterales, Neusa al Norte y Santa Bárbara-Facatativá, al Sur (Montoya & Reyes, 2005).

En cuanto a la estratigrafía, la formación Guadalupe la constituyen los cerros resistentes de esta provincia compuesta por cuatro miembros, entre ellos El miembro Arenisca Tierna es conocido en sectores Sibaté, La Herrera y Piedras del Tunjo (Facatativá). Este miembro está compuesto por areniscas cuarzosas y feldepasticas con espesor entre 100 y 125 metros (Lobo, 1992). Y el miembro Arenisca Dura caracterizado por la morfología abrupta, se encuentra en el sector oriental y occidental, en este último en los alticlinales de Tabío, Cota, Zipaquirá, Nemocón, alrededores de Facatativá, entre otros (Montoya & Reyes, 2005).

Lobo (1992), describe también la formación Tilatá la cual es encontrada en el paramos de Guandoque, los valles de Sisga-Chocontá-Villa Pinzón, Guasca, alto del Neusa, Subachoque y en Mancilla-Tudela-Corito (Facatativá). Esta formación está compuesta por gravas, gravillas, arenas, limos arcillas, turbas y piroplastos finos, con espesor de 10 a 300 centímetros.

El relieve de Facatativá se basa principalmente en cadenas montañosas. En la siguiente tabla se enuncian los cerros de componen cada cadena:

Tabla 8. Subsistema orográfico del municipio de Facatativá.

CADENA MONTAÑOSA	CERROS
<b>Cadena Montañosa del Norte</b>	Cerro Pan de Azúcar, Cerro Peñas del Aserradero, Cerro Peñas del Separadero, Cerro Negro, Cuchilla Barro Blanco.
<b>Cadena Montañosa central</b>	Cerro de Mancilla, Cerro Piedresitas.
<b>Cadena Montañosa del Sur</b>	Cerro Negro O peña Negra, Cerro Malabrigo, Cerro Alto de las Cruces, Cerro Santa Helena, Cerro de Manjuí, Cerro de Sorento, Cerro El Corzo.

Nota. Fuente: POT Oficina asesora de planeación Municipal, 2002. Como se cita en (Figueroa, 2015).

Las zonas altas de la vereda Mancilla, Tierra Morada y San Rafael se destacan por las siguientes formaciones (Mendoza, 2011):

- Villeta Medio: Areniscas con intercalaciones de lutitas negras.
- Cira: Arcillolitas y lutitas.
- Guaduas: Arcillas grises con intercalaciones de areniscas.
- San Gil: Arcillolitas en capas de areniscas.
- Chipaque: Arcillolitas y limolitas con intercalaciones de areniscas, estas rocas presentan baja permeabilidad.

El municipio de Facatativá tiene una altura promedio de 2.586 m s.n.m en la cabecera municipal y 3.200 en los cerros circundantes. Adicionalmente, los suelos del municipio son franco-arenosos, ricos en materia orgánica y ácidos, lo que ha sido favorable para las actividades agropecuarias de manera intensiva por varios años (Alcaldía de Facatativá, 2017); pero esto ha llevado a la compactación, salinización, disminución de la capacidad de regulación hídrica y la alteración de la composición física, química y microbiológica. Por otro lado, estos suelos presentan erosión hídrica debido a la alta concentración del escurrimiento de la zona en épocas de lluvias, a causa de la deforestación. Particularmente, los suelos de la vereda Mancilla tienen una pendiente

moderadamente quebrada, un relieve tipo loma, y erosión superficial de grado ligero y tipo laminar (IGAC, 2000).

#### **9.1.4. Flora**

El municipio alberga especies de árboles como Cedro Nogal, Cedro de altura, Roble, Encenillo, Aguacatillos, Laurel, Amarillo, Tagua, Arrayan, Sietecueros, Tuno, Raque, Canelo de Páramo, Aliso, Mano de Oso, Acacias, Sauco y Duraznillo; especies leñosas como Fiques, Salvia, Cytisus, Chilco y Gurrubo; especies de rastrojo como Cucharo, Espino Garbanzo, Chite, Laurel y Guasco; plantas herbáceas como Calamagrostis, Rabo de Zorro y Llantén; pastos como el Kikuyo, Ryegrass y Avena Forrajera (Alcaldía de Facatativá, 2017).

Sin embargo, la flora nativa del municipio de Facatativá, se encuentra significativamente intervenida. El paisaje del municipio se caracteriza principalmente por árboles foráneos como el eucalipto, el pino y la acacia (Martinez & Botiva, 2011). Para el 2011, Facatativá contaba con 1.500 hectáreas de eucalipto y 350 hectáreas de pino, siendo uno de los municipios con mayor área de estas especies sembradas (Secretaría de planeación de Cundinamarca, 2014). Cabe resaltar que estas especies acidifican el suelo, demandan gran cantidad de agua para su crecimiento reduciendo de este modo la humedad del suelo, generan sustancias alelopáticas que impiden el desarrollo de otras especies, su hojarasca tarda en degradarse y favorecen a la dispersión de incendios forestales.

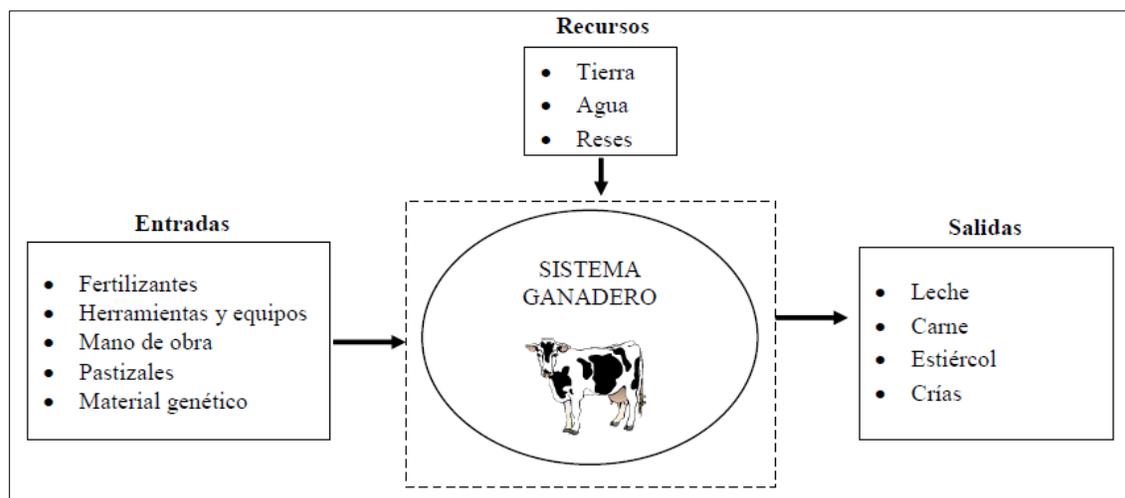
#### **9.1.5. Fauna**

La fauna del municipio es representada por especies de mamíferos como el Tinajo, Oso Perezoso, Armadillo, Zorro, Guache, Ardilla, Murciélagos; gran variedad de aves como la Guacharaca, el Búho, la lechuza, Gavilán, Torcaza, Mirla, Jilguero, Cardenal, Azulejo, Colibrí, Copetón y la Tingua que habita en los humedales (Alcaldía de Facatativá, 2017).

### **9.2. Caracterización del sistema productivo ganadero**

Se expone a nivel departamental, municipal y veredal las características generales de los sistemas ganaderos, en cuanto a cantidad de animales, tipos de pastos utilizados, tipo de producción e información del comportamiento económico influenciado por la variabilidad climática.

Figura 15. Esquema general de un sistema ganadero convencional.



Nota. Fuente: Autor

### 9.2.1. Departamental

De acuerdo al censo pecuario nacional 2017 realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), a la fecha el departamento cuenta con 58.182 fincas bovinas y 1.146.137 cabezas de ganado.

Según, la Secretaria de Planeación (2014), en Cundinamarca predomina las fincas ganaderas de doble propósito (producción de carne y leche), debido a que es una alternativa sustentable y competitiva. En general, las granjas lecheras manejan en promedio 12 razas, predominando la Holstein (presente en 48 municipios); y para la producción de carne se manejan 13 razas predominando la Cebú (presente en 35 municipios).

Por otro lado, en el 2012 Cundinamarca contaba con un área de 1.443.935 hectáreas para actividades pecuarias, 376.999 hectáreas para bosques entre naturales y plantados, 1.260.033 hectáreas para pastos y forrajes; este último se describe a más detalle en la siguiente tabla:

Tabla 9 Tipo de pastos de mayor relevancia en el departamento.

Tipo de pasto	Porcentaje de siembra
Corte	5,58 %
Naturales	57,61 %
Mejorados	34,72 %

Forrajero	1,31 %
Silvopastoreo	0,78 %

Nota. Fuente: (Secretaría de planeación de Cundinamarca, 2014)

Con respecto a la producción de leche, el volumen por productor en Cundinamarca ha ido decreciendo; a finales del 2015 se registró una producción de 78.576.610 litros y para inicios del 2016 se registró 68.263.290,00 litros. Según el (SIAC, 2016), la productividad de carne y leche se reducirá 1.6 % en el periodo de 2011-2100, según la proyección realizada con los datos de 1970-2011 a causa de los impactos generados por el cambio climático.

### 9.2.2. Municipal

De acuerdo al censo pecuario nacional 2017 realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), a la fecha el municipio de Facatativá cuenta con un total de 617 fincas ganaderas y un total de 17.512 cabezas de ganado.

Tabla 10. Censo de bovinos para el municipio.

Número de bovinos	Número de Fincas
1 a 50	525
51 a 100	56
101 a 500	32
501	4
<b>Total</b>	<b>617</b>

Nota. Fuente: (ICA, 2017)

Según la Secretaría de Planeación (2014), el 93 % de las fincas ganaderas tienen orientación para producción de leche, el 3 % para producción de carne y el 4 % producción de doble propósito.

En cuanto a las especies de pastos predominantes en el municipio de Facatativá, el pasto kikuyo abarca un 71 %, la Avena Forrajera un 17 % y el Ryegrass un 12 %.

Tabla 11. Variedades de pastos en Facatativá.

Tipo de pastos	Área (Hectáreas)	Variedad predominante
Corte	1.800	Avena Forrajera
Natural	7.400	Kikuyo
Mejorados	1.200	Ray grass

Nota. Fuente: Secretaría de Planeación de Cundinamarca. Estadísticas 2011- 2013, Capítulo 11, cuadro 11.8.

### 9.2.3. Veredal

Las 20 fincas encuestadas (anexo 8), abarcan en total 412 hectáreas dedicadas a la ganadería y 1.015 cabezas de ganado. El enfoque del 95 % de los sistemas está basado en la producción de leche; el capital para este proceso productivo está representado en los semovientes, la mano de obra de los trabajadores de cada finca, la tierra o espacio disponible para el pastoreo y las herramientas o equipos usados para facilitar las labores.

En cuanto a la alimentación del ganado, se basa principalmente en pastos naturales y mejorados; en la siguiente tabla se describe las diferentes especies de pastos sembrados en las fincas y algunas asociaciones de estas:

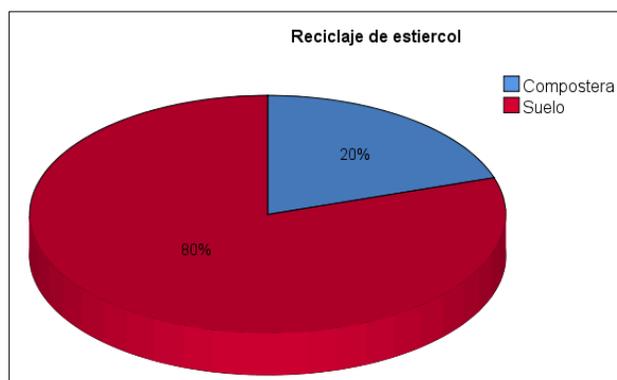
*Tabla 12. Tipos de pastos utilizados en la alimentación del ganado.*

Tipo de pastos	Porcentaje
Kikuyo	55 %
Kikuyo asociado a Rygrass	20 %
Kikuyo asociado a Ryegrass y Carreton	10 %
Ryegrass	10 %
Ryegrass asociado a Poa	5 %

Nota. Fuente: Autor.

Adicionalmente, solo el 25 % de las fincas tiene instalado sistemas de riego para los pastizales y el 45 % utiliza fertilizantes para estimular el crecimiento de los pastos. Con respecto al reciclaje de estiércol, tan solo el 20 % de las fincas cuentan con estercoleros para luego ser usado como abonos en los pastizales. Mientras que el 80 % restante, permite su degradación natural en los suelos.

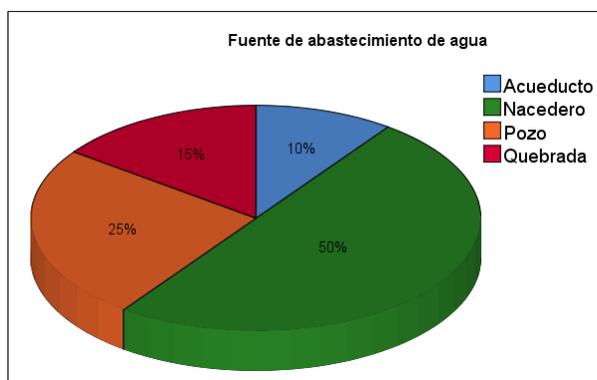
*Figura 16. Reciclaje de estiércol en las fincas.*



Nota. Fuente: Autor.

Por otro lado, las principales fuentes de agua de los sistemas ganaderos son nacederos y pozos, que simultáneamente están ubicados en la parte alta de la microcuenca de la quebrada Mancilla. Hay que mencionar también, que la mayoría de estas fincas son las que cuentan con el mayor número de cabezas de ganado.

*Figura 17. Fuentes de abastecimiento de agua para el ganado.*

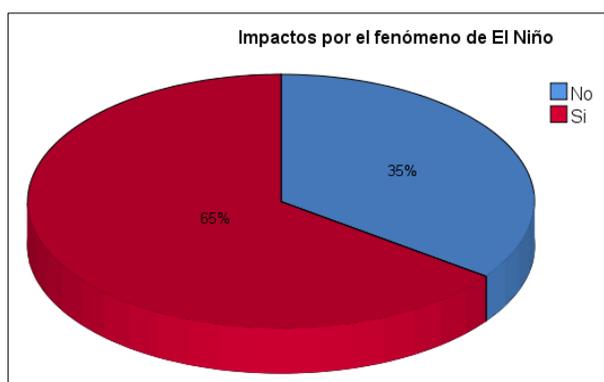


Nota. Fuente: Autor

#### - Fenómeno de El Niño 2015 – 2016

El 65 % de los encuestados afirmaron haber tenido impactos en sus fincas por el fenómeno de El Niño 2015 - 2016, en lo que se resume escasez de agua, sequía de pastos, menor producción de leche, animales enfermos e incluso abortos.

*Figura 18. Porcentaje de fincas que tuvieron impactos por el fenómeno de El Niño*



Nota. Fuente: Autor.

Las pérdidas económicas a causa de este fenómeno para la ganadería de la vereda abarcan aproximadamente \$140.000.000, por motivos como la compra de concentrados y agua, baja producción de leche, aumento en la compra de medicamentos y venta de animales a un precio inferior, para reducir la carga ganadera.

En contraste, las fincas que aseguran no haber sido impactados por el fenómeno de El Niño, argumentan que la buena sombra que hay en sus fincas y la disponibilidad de agua en pozos y nacederos, amortiguaron los efectos negativos en su producción.

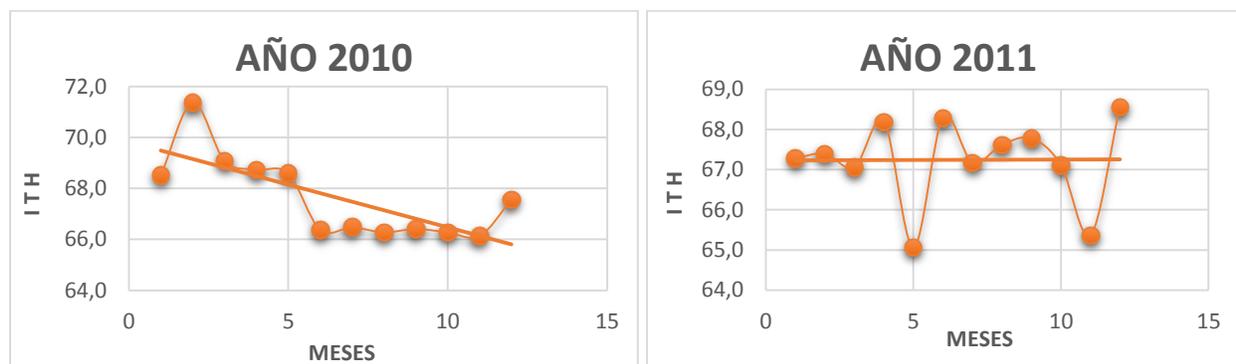
#### - **Estrés térmico en los animales**

Debido a la fragmentación de los ecosistemas andinos para ampliar la frontera agropecuaria, los relictos de bosque brindan sombra insuficiente al ganado, posiblemente aumentando su estrés calórico a la medida que las temperaturas son más altas. Así mismo, los suelos quedan expuestos a la radiación solar generando pérdida de humedad o a las fuertes precipitaciones que pueden causar la erosión. Por lo anterior, se calculó el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) para conocer el estrés térmico en el ganado.

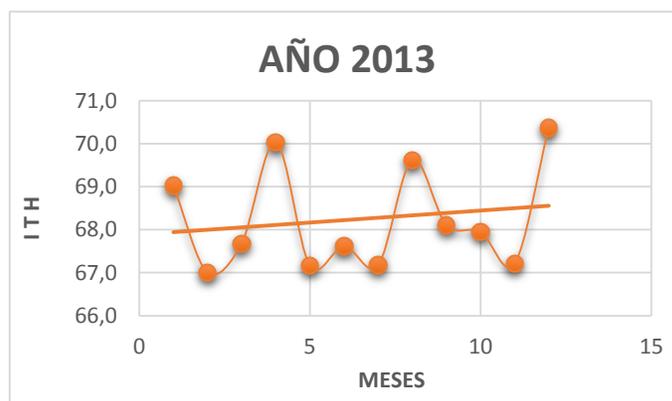
De acuerdo a la figura 20, el comportamiento del ITH calculado para los diferentes periodos oscilan entre los valores 65 y 71, manteniéndose en un nivel de Normalidad según el Índice Ganadero de Seguridad Climática. Sin embargo, Jhonson et al. (1961) como se cita en (Cony, Casagrande, & Vergara, 2004) afirma que con un ITH inferior a 72 algunas vacas pueden verse afectadas negativamente. Así mismo, cabe aclarar que el estrés térmico depende también de otros factores como la radiación solar, la ventilación y el peso del animal.

Figura 19. Comportamiento del ITH en diferentes periodos.

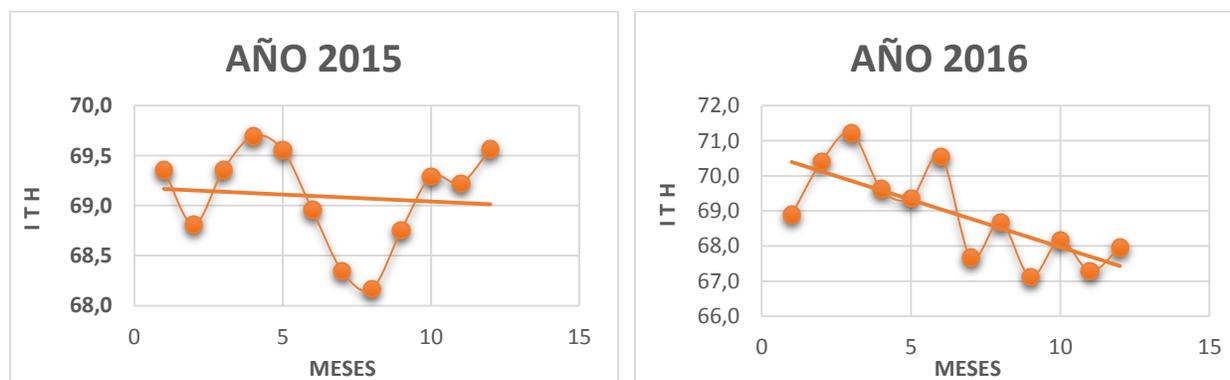
A



B



C



Nota. A. Fenómeno de la Niña 2010 – 2011, B. Periodo sin fenómenos extremos, C. Fenómeno de La Niña 2015 – 2016. El ITH fue calculado con la temperatura máxima. Fuente: Autor.

Aunque en los años 2015 y 2016 se presentó uno de los fenómenos de El Niño más intensos, el ganado no sufrió niveles críticos por estrés térmico, por el contrario tuvo un comportamiento

similar al periodo del fenómeno de La Niña 2010 – 2011 y un periodo sin eventos climáticos extremos (2013). Sin embargo, se alcanzaron niveles entre el rango de 70 – 72, que para Cony et al. (2004) es un nivel de alerta que se aproxima al límite crítico de producción de leche.

*Tabla 13. Comparación del comportamiento del IGSC para diferentes periodos.*

<b>Periodo</b>	<b>ITH</b>	<b>IGSC</b>
2010-2011	≤ 74	Normal
2013	≤ 74	Normal
2015 - 2016	≤ 74	Normal

Nota. ITH: Índice de Temperatura y Humedad. IGSC: Índice Ganadero de Seguridad Climática. Basado en Hanh et al. (2000).

### **9.3. Valoración de servicios hidrológicos en función del sistema productivo ganadero**

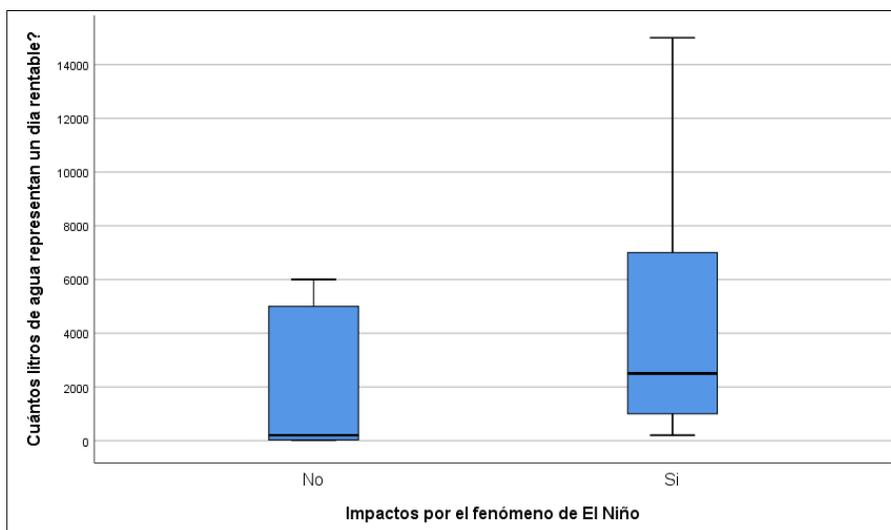
#### **- Características socioeconómicas**

En total se aplicó la encuesta a 20 personas, de las cuales el 75 % son hombres y el 25 % son mujeres. Por otro lado, el 65 % son administradores de la finca y el 35 % restante son propietarios. El 35 % se ubicó en el rango de edades de 30 a 45 años, el 55 % de 46 a 61 años y un 10 % de 62 a 77 años. En cuanto al tiempo que llevan viviendo en la vereda, el 50 % está en un rango de 2 a 19 años, el 30 % de 20 a 37 años y un 20 % de 38 a 55 años.

Por otro lado, al preguntarles cuánto era un día rentable, el 60 % se ubicó en un rango de \$15.000 a \$36.000, el 30 % de \$37.000 a \$58.000 y un 10 % de \$59.000 a \$80.000. Cabe resaltar que la mayoría de los encuestados son los administradores de las fincas y que el pago en la mayoría abarca un salario mínimo mensual legal vigente.

Con relación a la percepción de su situación económica comparada con sus vecinos, el 45 % respondió que está en mejores condiciones, el 30 % considera que es igual y el 25 % supone que su situación económica es peor.

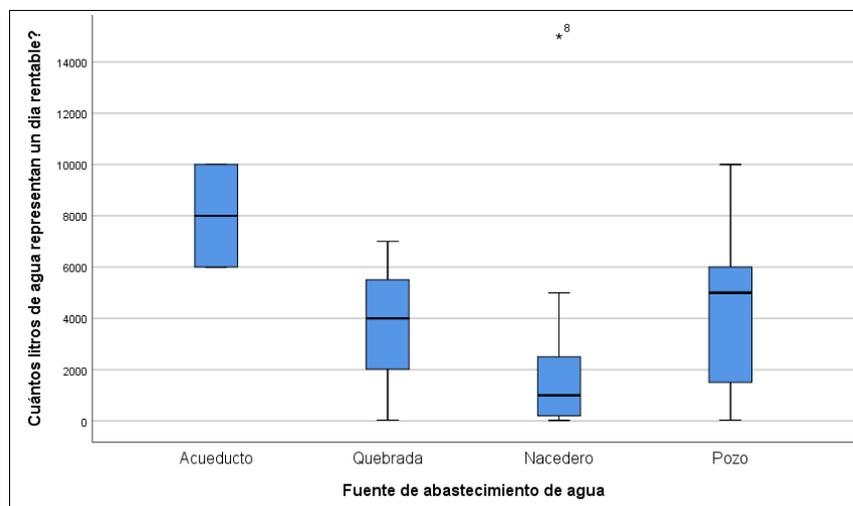
*Figura 20. Correlación entre el valor del agua y los impactos causados por el fenómeno de El Niño*



Nota. Fuente: Autor

Respecto a la pregunta ¿Cuántos litros de agua representan un día rentable?, se aclara que entre menos litros de agua se le asignen a un precio, mayor será el valor que se le dará al recurso. Por lo cual, se resalta que las fincas que mayor valor le dieron al recurso hídrico, son fincas que manifestaron no haber tenido impactos y pérdidas económicas por el fenómeno de El Niño.

*Figura 21. Correlación entre el valor del agua y la fuente de abastecimiento*

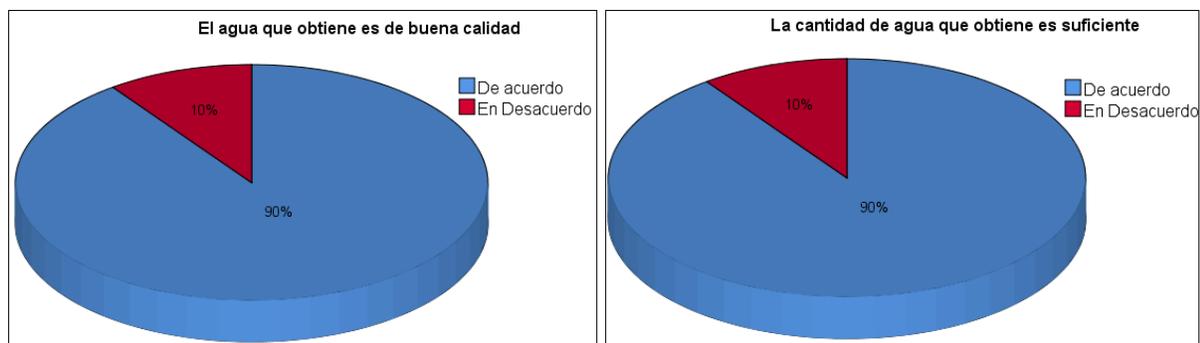


Nota. Fuente: Autor

Así mismo, si se relaciona la cantidad de litros que representan un día rentable con el tipo de fuente de agua que se utiliza, se observa que las fincas que se abastecen de nacederos le dan un mayor valor al recurso.

- **Percepción sobre los recursos hídricos**

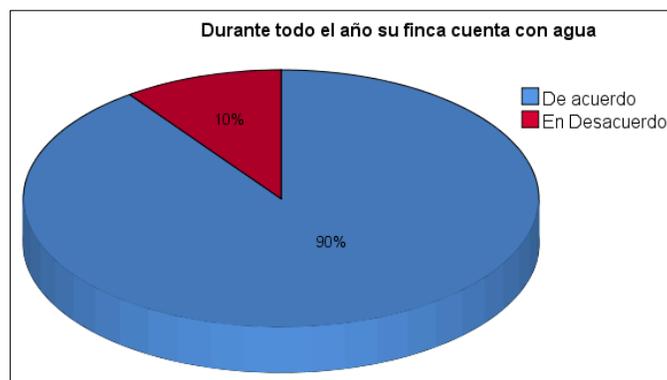
*Figura 22. Calidad y cantidad de agua*



Nota. Fuente: Autor

El 90 % de los encuestados afirma que el agua que obtienen es de muy buena calidad y la cantidad es la suficiente para el desarrollo de las actividades agropecuarias. Por el contrario, el 10 % está en desacuerdo respecto a estas afirmaciones.

*Figura 23. Disponibilidad de agua durante todo el año.*



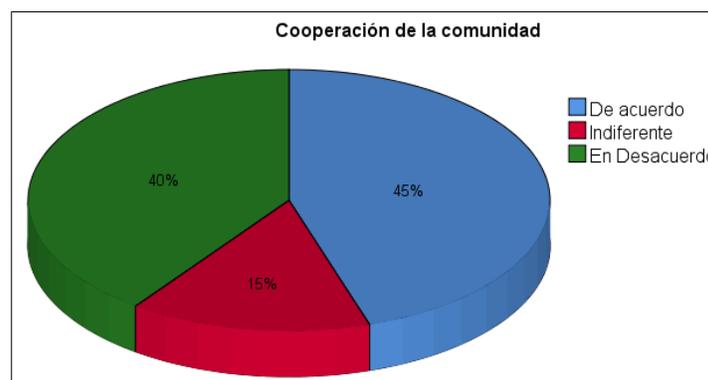
Nota. Fuente: Autor

En cuanto a la disponibilidad de agua, el 90 % de los encuestados estuvieron de acuerdo que durante el año sus fincas cuentan con este recurso para las actividades agropecuarias; lo anterior se relaciona con lo descrito en el índice de humedad, ya que la zona presenta escenarios Subhúmedos húmedos, húmedos e hiperhúmedos durante todo el año.

En cambio, el 10 % restante está en desacuerdo con la disponibilidad de agua, manifestando que su acceso al recurso es limitado y que otras fincas vecinas realizan captaciones excesivas para su beneficio.

Respecto a las fuentes de agua, el 85 % está de acuerdo en que las fuentes hídricas que utilizan para sus actividades agropecuarias son de fácil acceso; mientras que el 15 % están en desacuerdo. Por otro lado, el 100 % de los encuestados estuvieron de acuerdo respecto a la importancia de los bosques para el suministro de agua y la importancia de participar en actividades de conservación de los mismos.

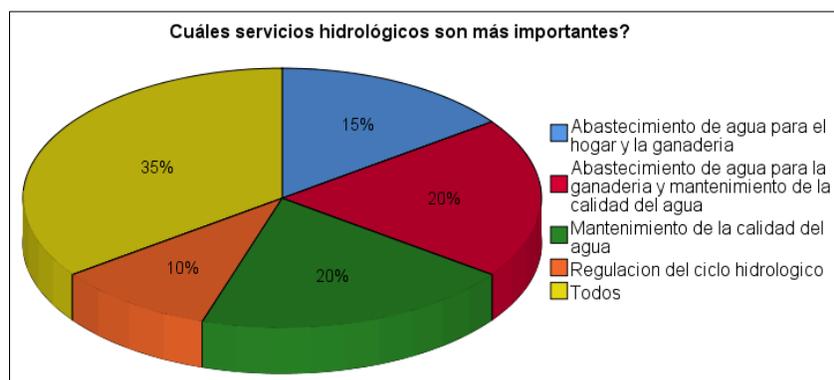
*Figura 24. Trabajo conjunto de la comunidad para resolver problemas respecto al agua*



Nota. Fuente: Autor.

En cuanto al trabajo conjunto de la comunidad para resolver problemas respecto al recurso hídrico, el 45 % está de acuerdo con esta afirmación; mientras que el 40 % está en desacuerdo, manifestando conflictos sociales por este tema. Por otro lado, el 15 % restante son indiferentes, debido a que no han socializado alguna problemática hídrica con la comunidad aledaña.

Figura 25. Servicios hidrológicos más importantes

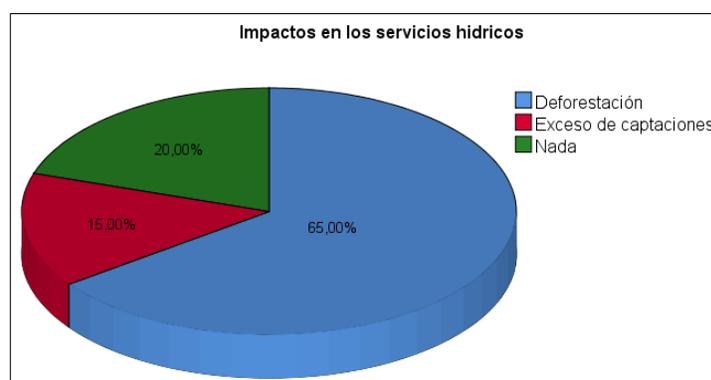


Nota. Fuente: Autor.

En relación a los servicios hidrológicos que cada persona consideró más importantes, la mayoría con el 35 % responde que todos los servicios hidrológicos enumerados son fundamentales; un 20 % se inclina por el abastecimiento de agua para la ganadería y el mantenimiento de su calidad; otro 20 % asegura que el mantenimiento de la calidad del agua es prioridad; un 15 % responde que el abastecimiento de agua para el hogar y la ganadería; y tan solo un 10 % le da mayor importancia a la regulación del ciclo hidrológico.

De este modo, se infiere que el mantenimiento de la calidad del agua y el abastecimiento de agua para la ganadería tienen mayor prioridad, dado que se está evaluando desde la perspectiva y enfoque de productivo de ganaderos.

Figura 26. Posibles factores que pueden estar afectando los servicios hidrológicos.



Nota. Fuente: Autor

Acercas de los factores que afectan los servicios hidrológicos, el 65 % manifiesta que han sido impactados por actividades de deforestación, el 15 % infiere que se debe al exceso de captaciones en las fuentes hídricas por parte otras fincas ganaderas y para cultivos de fresa. Por el contrario, el 20 % restante dice que no han evidenciado actividades que puedan estar impactando los servicios hídricos.

- **Disposición a pagar**

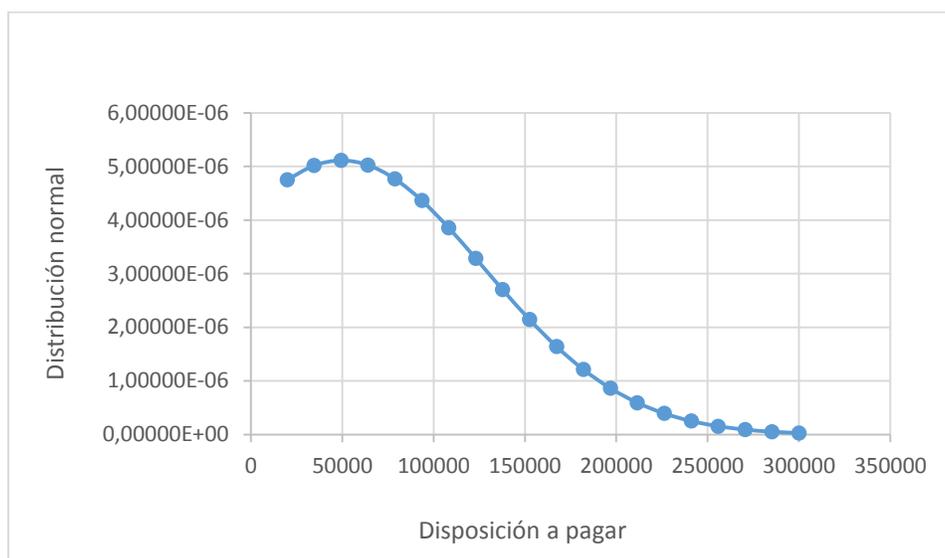
*Tabla 14. Análisis estadístico descriptivo de la disposición a pagar*

N	Válido	20
	Perdidos	0
Media		49.650
Error estándar de la media		17.451,9
Mediana		20.000
Desviación Estándar		78.047,4
Varianza		60.91.397.368,4
Asimetría		2,430
Error estándar de asimetría		0,512
Curtosis		5,443
Error estándar de curtosis		0,992
Mínimo		5.000
Máximo		300.000

Nota. Fuente: Autor.

Con respecto a la disposición a pagar por parte de los sistemas ganaderos con el fin de establecer un proyecto para la conservación de los bosques, en la tabla 15 se observa un análisis estadístico, del cual se resalta que la media es afectada por la existencia de valores extremos, siendo \$ 5.000 el valor mínimo y \$ 300.000 el valor máximo dispuesto a pagar mensualmente por la conservación de los bosques. Así mismo, la desviación estándar de los datos es mayor que la media; por lo que se infiere que la amplia variabilidad en los datos dificulta la valoración colectiva y la definición de un monto mensual que sea equitativo entre la población.

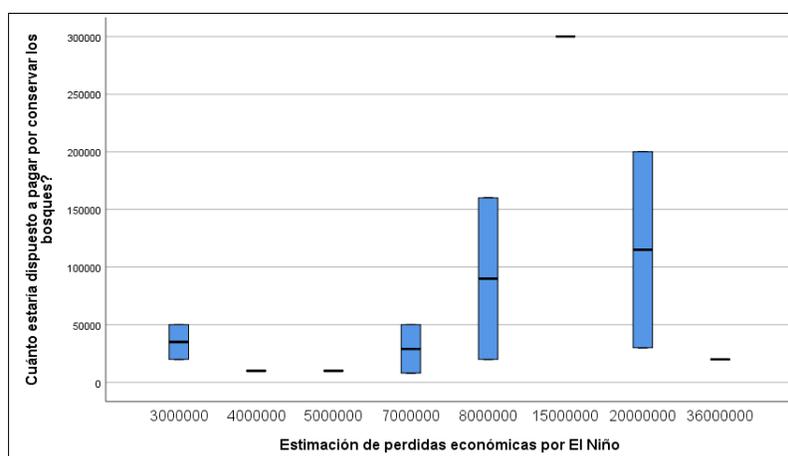
Figura 27. Gráfica de distribución normal de la disposición a pagar



Nota. Fuente: Autor

De acuerdo a la gráfica de distribución normal, se observa el comportamiento de los datos con asimetría positiva. La probabilidad que la población contribuya si quiera con un monto equivalente al valor de la media es del 50 %, un aporte del valor mínimo correspondiente a \$ 5.000 abarca un 72 % de probabilidad; mientras que un aporte del valor máximo de \$ 300.000 no acoge si quiera el 1 %.

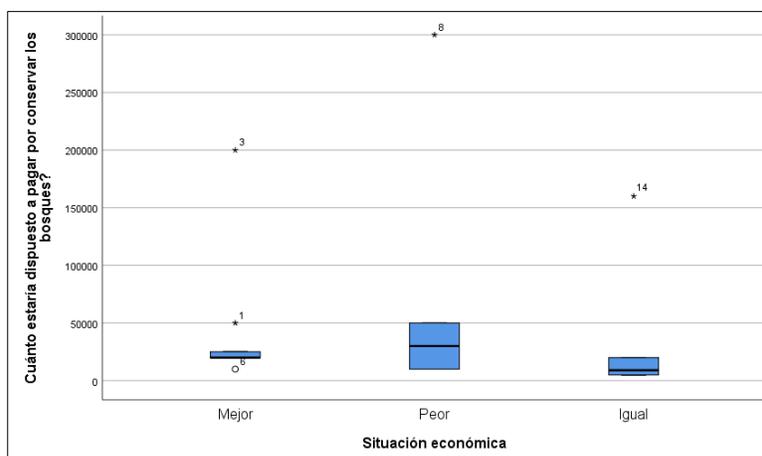
Figura 28. Relación entre disposición a pagar y las pérdidas económicas por sequías



Nota. Fuente: Autor

Al relacionar las pérdidas económicas que afrontaron las fincas por las fuertes sequías y su disposición a pagar para la conservación de bosques, se observa que no hay correlación de los datos; el valor que le dan las personas a los bosques para asegurar el suministro de agua, es independiente a los gastos económicos que deben enfrentar frente a un fenómeno de El Niño.

*Figura 29. Relación entre disposición a pagar y situación económica*

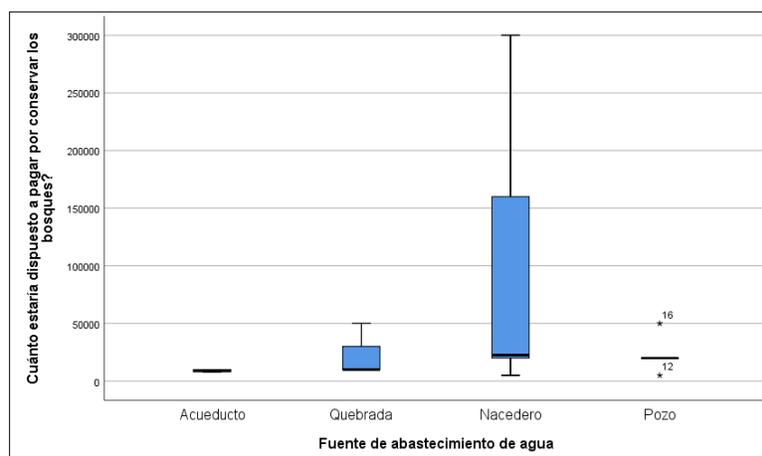


Nota. Fuente: Autor

Adicionalmente, al relacionar la disposición a pagar con la situación económica, la edad y el género, se observa que tampoco hay una correlación significativa entre estas variables.

Por lo anterior, se infiere que la disposición a pagar no está determinada por las variables socioeconómicas. Por el contrario, al relacionar la DPA con el tipo de fuente de abastecimiento de agua, se observa que los ganaderos que utilizan nacederos tienen la disposición de aportar un valor más alto que los demás.

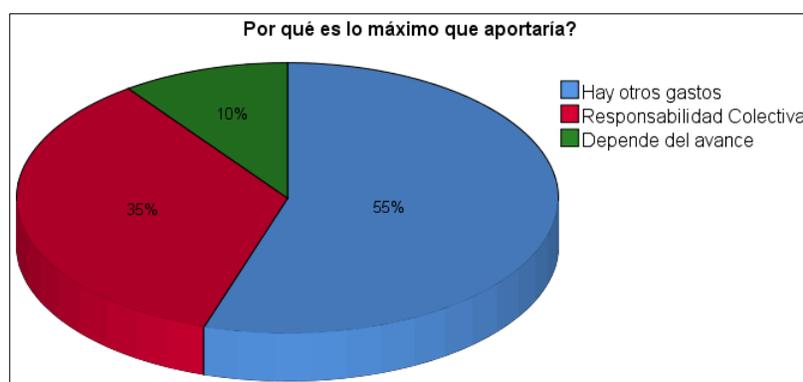
Figura 30. Relación entre disposición a pagar y fuentes de abastecimiento de agua.



Nota. Fuente: Autor.

Con respecto a la pregunta ¿Por qué motivos no estaría dispuesto a pagar más?, el 55 % respondió que tanto su hogar como la finca tienen otros gastos económicos, por lo que no es posible un mayor aporte; el 35 % considera que el aporte no solo debe ser responsabilidad de los sistemas ganaderos, sino también de toda la comunidad que habita en la vereda y del gobierno local; el 10 % restante manifiesta que el aumento del aporte depende de la administración y avance que se evidencie en el proyecto.

Figura 31. Razones del aporte máximo en la disposición a pagar en sistemas ganaderos

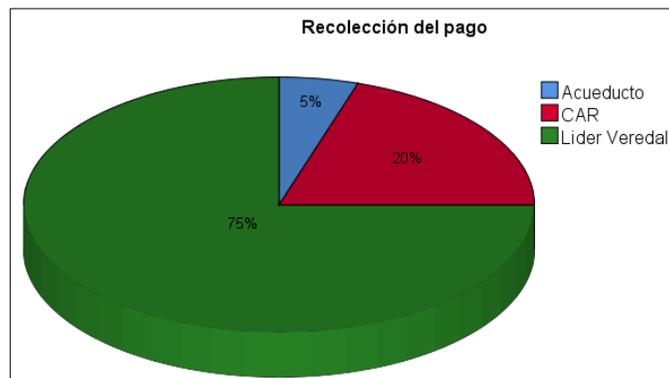


Nota. Fuente: Autor.

En cuanto a la recolección de los pagos, el 75 % de las personas encuestadas consideran que se debe elegir un líder veredal, ya que esto les genera mayor confianza en la administración del

proyecto; el 20 % considera que autoridades ambientales como la Corporación Autónoma Regional (CAR) se deben encargar del tema y el 5 % considera que el acueducto municipal.

*Figura 32. Entidad o persona encargada de recolectar los pagos.*



Nota. Fuente: Autor

Finalmente, respecto a la conservación y protección de los bosques, el 50 % reconoce que es responsabilidad de toda la comunidad evitar la intervención y degradación; el 40 % considera que la responsabilidad recae sobre autoridades ambientales como la CAR; y el 10 % responde que el único encargado debe ser el gobierno local.

*Figura 33. Responsabilidad de la conservación y protección de bosques*



Nota. Fuente: Autor

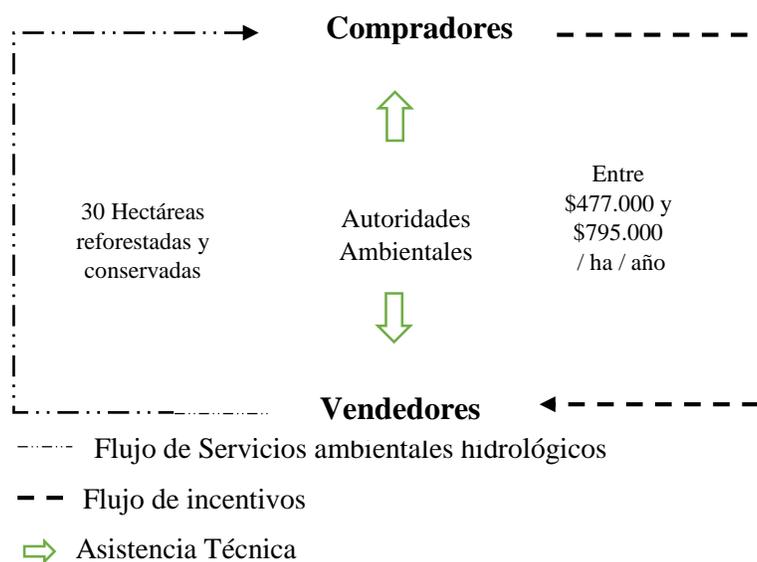
## 9.4. Estrategias de adaptación a la variabilidad climática

### 9.4.1. Pago por servicios ambientales

A partir de lo descrito anteriormente, los valores de disposición a pagar por parte de los ganaderos tienen una variabilidad amplia, por lo que dificulta la selección de un monto equitativo. Adicionalmente, las fincas ganaderas ubicadas en la parte baja de la microcuenca se ven afectadas por las captaciones de agua en la parte alta y media de la microcuenca; por lo tanto, establecer un esquema de pago por servicios ambientales donde los compradores sean los ganaderos ubicados aguas abajo, no es un proyecto rentable, ya que estos son minoría como se observa en el mapa de sistemas ganaderos de la vereda Mancilla (Anexo 8).

Sin embargo, se propone el siguiente esquema de pago por servicios ambientales basado en los lineamientos establecidos por el Decreto 870 de 2017:

Figura 34 Esquema general de pago por servicios ambientales hidrológicos.



Nota. Adaptado de (Borda, Moreno, & Wunder, 2010)

#### - Identificación de servicios ambientales

El esquema de pago por servicios ambientales que se propone, tiene como objetivo mejorar los servicios hidrológicos a partir de actividades de restauración y conservación de los bosques de la vereda Mancilla, entre los que se encuentran el abastecimiento de agua para los hogares,

abastecimiento de agua para actividades agropecuarias, mantenimiento de la calidad del agua, regulación del ciclo hidrológico y recirculación de nutrientes.

- **Selección de predios**

Para la selección de predios se recomienda tener en cuenta características particulares; como por ejemplo, ubicación en la parte alta y media de la microcuenca, que sean pequeños productores para no redundar en beneficios económicos y que en sus predios o cercanías existan nacederos o pozos de agua. En total se estima un promedio de 30 hectáreas para acordar el pago por servicios ambientales.

- **Estimación del valor de incentivos y restauración**

Los costos se estimaron a partir de lo establecido en el documento CONPES 3886 “Lineamientos de política y programa nacional de pago por servicios ambientales para la construcción de paz”, donde estima que el valor de los incentivos para la preservación de los ecosistemas estratégicos en un rango de \$ 318.000 y \$ 477.000 por hectárea al año. Por otro lado, el valor de los procesos de restauración se calcula en un rango de \$ 159.000 y \$ 317.999 por hectárea al año (Departamento Nacional de Planeación, 2017).

*Tabla 15. Estimación de costo de oportunidad por implementación de PSA*

A

<b>Aspecto</b>	<b>Hectárea /año</b>	<b>30 Hectáreas/ año</b>
Valor de Incentivos	\$318.000	\$9.540.000
Valor de restauración	\$159.000	\$4.770.000
<b>Total a 1 año</b>	<b>477.000</b>	<b>\$14.310.000</b>
<b>Total a 5 años</b>	<b>2.385.000</b>	<b>\$71.550.000</b>

B

<b>Aspecto</b>	<b>Hectárea /año</b>	<b>30 Hectáreas / año</b>
Valor de Incentivos	\$477.000	\$14.310.000
Valor de restauración	\$318.000	\$9.540.000
<b>Total a 1 año</b>	<b>795.000</b>	<b>\$23.850.000</b>
<b>Total a 5 años</b>	<b>3.975.000</b>	<b>\$119.250.000</b>

Nota: A. Estimación de costos con el rango inferior, B. Estimación de costos con el rango superior. Cabe aclarar que estos valores están determinados por las características específicas de cada proyecto, por lo que pueden variar.

Finalmente, se resalta que la estimación de costos está previsto para cinco años, sin embargo esta decisión la deben tomar los actores involucrados en la firma de acuerdos; así mismo, establecer el periodo y porcentaje para la entrega de los pagos (trimestral, semestral o anual).

- **Fuentes de financiación**

De acuerdo al artículo 111 de la Ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011 y reglamentado por el Decreto Ley 0953 de 2013, se establece que los departamentos y municipios deben aportar un porcentaje no inferior al 1 % de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten a los acueductos municipales y regionales, o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales.

Por lo anterior, las fuentes de financiamiento del proyecto serán públicas y estarán a cargo de un comité administrativo de la Alcaldía de Facatativá; quien definirá también los mecanismos de pago y manejo de los recursos, en el marco de sus políticas administrativas.

- **Formalización de acuerdos**

En la siguiente tabla se describen las responsabilidades que deben asumir cada uno de los actores involucrados en el acuerdo de pago por servicios ambientales hidrológicos; así como los beneficios que se obtendrán con la implementación de este proyecto:

*Tabla 16. Esquema de concertación de los diferentes actores del PSA.*

<b>Actores</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Beneficios</b>
Vendedores (Fincas ganaderas de la parte alta y media de la microcuenca)	Reforestación, protección y conservación del ecosistema.	Recibir incentivos y compensaciones económicas o en especie.
Comprador (Gobierno local)	Realizar los pagos establecidos	Obtener servicios hidrológicos para toda la comunidad. Cumplir con los objetivos del plan de desarrollo.

Autoridades Ambientales (CAR)	Asistencia técnica y vigilancia de responsabilidades de actores.	Cumplimiento de objetivos regionales de conservación.
Grupos de investigación	Generar información de servicios ambientales.	Reconocimiento.

Nota. Adaptado de (Borda et al., 2010)

#### - **Registro del proyecto:**

El proyecto debe ser registrado ante la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), teniendo en cuenta que el municipio de Facatativá está bajo jurisdicción de esta autoridad ambiental y que los recursos de financiamiento del proyecto son públicos. De esta forma, se facilitará la asistencia técnica por parte de expertos a los demás actores involucrados.

Por su parte, la CAR debe mantener el registro actualizado de los proyectos de pago por servicios ambientales implementados en su jurisdicción, para suministrar información requerida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como lo describe el Decreto 870 de 2017 y el documento CONPES 3886 de 2017.

Para el registro, se debe utilizar los lineamientos establecidos por la Resolución 97 de 2017, *“por el cual se crea el registro único de ecosistemas y áreas ambientales y se adoptan otras disposiciones”*.

#### - **Monitoreo y seguimiento**

La CAR como autoridad ambiental, tendrá la responsabilidad de hacer seguimiento, control y verificación del cumplimiento de los deberes establecidos para el gobierno local y propietarios de predios seleccionados.

Por otro lado, las metodologías y protocolos en las que se basará la CAR para el monitoreo y seguimiento a los esquemas de PSA, deben ser diseñados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Departamento Nacional de Planeación, 2017).

Para el monitoreo del proyecto se deberán utilizar un sistema de indicadores ambientales y socioeconómicos, que permitan evaluar el funcionamiento, eficiencia y eficacia del esquema de pago por servicios ambientales. De acuerdo con (Perez & Chaves, 2009), algunos indicadores ambientales que se pueden medir son:

- Calidad y cantidad de agua
- Cumplimiento de los planes de manejo
- Cobertura y uso del suelo
- Cumplimiento de contrato
- Monitoreo biológico de especies nativas

Adicionalmente, algunos indicadores socioeconómicos propuestos por (Padilla & Molina, 2016) a tener en cuenta son:

- Cantidad de pequeños propietarios beneficiados
- Cantidad de beneficiarios capacitados

Se deben realizar por lo menos dos visitas al año para realizar mediciones en diferentes puntos de la microcuencas. Así mismo, se evaluará la percepción de los usuarios sobre la calidad del servicio ambiental a partir de un muestreo aleatorio, cuyo tamaño represente el total de los beneficiarios (PASOLAC, 2006).

Cabe aclarar, que los resultados del pago por servicios ambientales no solo beneficiará a los sistemas ganaderos de la vereda Mancilla; sino también a fincas agrícolas, hogares aledaños, el acueducto veredal e incluso el municipal, ya que como se mencionó anteriormente, la quebrada Mancilla es afluente del río Botello y este a su vez es la principal fuente hídrica del casco urbano de Facatativá.

#### **9.4.2. Sistemas silvopastoriles**

A partir de las recomendaciones de Navas (2016), se diseñaron los arreglos silvopastoriles conformados por varias especies vegetales; debido a que favorece la biodiversidad, la producción ganadera y la protección de los recursos naturales. Adicionalmente, se tuvo en cuenta que las características de las especies seleccionadas permitan una interacción positiva entre ellas y una asociación favorable con el suelo y los semovientes.

A continuación, se proponen y describen dos tipos de sistemas silvopastoriles, con el fin de generar beneficios como sombra, producción de forraje, fijación de nitrógeno, reciclaje de nutrientes, control de erosión, control biológico de plagas y cambios positivos en el balance hídrico.

### 9.4.1.1. Sistema Silvopastoril de cerca viva

Este sistema silvopastoril abarca una hectárea, la cual está dividida en ocho potreros que forman los surcos de especies forrajeras. A diferencia de las cercas vivas convencionales este arreglo propone la asociación de varias especies arbóreas, permitiendo el aumento la biodiversidad y el número de potreros para establecer un sistema de pastoreo rotacional, y con ello incrementar las funciones económicas y ecológicas de las fincas (Villanueva, Ibrahim, & Casasola, 2008).

La línea central está compuesta por Aliso a una distancia entre árboles de 2 metros; mientras que el sauco está establecido a una distancia entre arboles de 0.5 metros, formando tres surcos que atraviesan la hectárea a una distancia de 25 metros. Es decir, que en total son 650 árboles forrajeros, los cuales se recomiendan mantener una altura máxima de 2 metros, facilitando el ramoneo de los animales. Por otro lado, la ubicación central de los forrajes y pastos facilita su desarrollo, evitando la competencia por luz con las demás especies.

*Figura 35 Sistema silvopastoril de cerca viva.*



Nota. Fuente: Autor.

En cuanto a la parte exterior, se propone el establecimiento de varias especies de árboles como cerca viva sembrados a una distancia de 5 metros, para un total de 80 árboles por hectárea. Esto,

con el fin de ampliar el número de cercas vivas que ayude a la creación de corredores de conectividad, es decir, unir los relictos de bosque favoreciendo la dispersión de biodiversidad de manera local e incluso regional. Es importante resaltar, que los árboles, deben estar protegidos durante su crecimiento, si es el caso con cerca eléctrica para evitar el paso de los animales.

Figura 36. Arreglo forestal propuesto con diversidad de especies.



Nota. Fuente: Autor.

A continuación se describen las características de las especies de árboles y arbustos propuestos en el arreglo silvopastoril externo, debido a que son especies endémicas de la región y sus características favorecen tanto el sistema ganadero como la biodiversidad a nivel local y regional.

Tabla 17. Especies arbóreas y arbustivas utilizadas en sistemas silvopastoriles.

Número	Nombre Común	Nombre científico	Usos y características
1	Cedro Negro	<i>Juglans neotropica</i>	Muebles finos, madera aserrada, atrae fauna y crecimiento lento.
2	Siete Cueros	<i>Tibouchina grossa</i>	Postes, leña, atrae fauna, belleza paisaje y crecimiento moderado.
3	Arrayan	<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	Protección de cuencas, leña, ornamental, postes, crecimiento moderado.
			Atrae fauna, embellece paisaje, postes, crecimiento moderado.

4	Siete Cueros	<i>Tibouchina lepidota</i>	
5	Laurel	<i>Myrica pubescens</i>	Atrae fauna, mejora suelos y crecimiento moderado.
6	Aliso	<i>Alnus acuminnata</i>	Fija nitrógeno, construcciones rurales, forraje, leña y rápido crecimiento.
7	Roble Andino	<i>Quercus humboldtii</i>	Construcciones, madera aserrada, atrae fauna y crecimiento moderado.

Nota. Fuente: (Uribe et al., 2011)

Cabe aclarar, que en este sistema silvopastoril propone el establecimiento del Aliso como especie forrajera en la parte central y también como árbol asociado a la cerca viva; debido a sus dos posibles usos, su alto valor nutricional para el ganado y su capacidad de fijar nitrógeno.

Finalmente, los costos de inversión para el establecimiento de un sistema silvopastoril de cerca viva se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 18. Aproximación de inversión inicial para el establecimiento SSP de cerca viva por hectárea

Concepto	Cantidad	Valor Unidad (\$)	Valor Total (\$)
Plántula de Sauco ( <i>Sambucus nigra</i> )	600	1.500	900.000
Plántula de Aliso ( <i>Alnus acuminnata</i> )	60	1.200	72.000
Plántula de Cedro Negro ( <i>Juglans neotropica</i> )	12	1.200	14.400
Plántula de Siete Cueros ( <i>Tibouchina grossa</i> )	24	2.000	48.000
Plántula de Arrayan ( <i>Myrcianthes leucoxylla</i> )	12	1.200	14.400

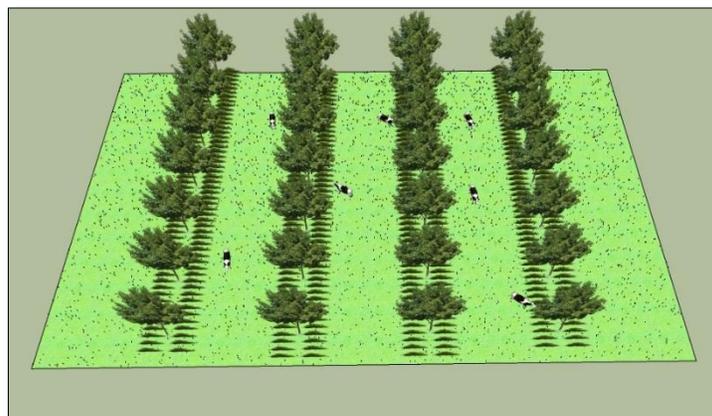
Plántula de Laurel ( <i>Myrica pubescens</i> )	12	12.000	144.000
Plántula de Roble Andino ( <i>Quercus humboldtii</i> )	12	1.200	14.400
Abonos (Bulto x 25 Kg)	8	55.000	440.000
Alambre de púas (Rollo x 400 mts)	3	163.200	489.600
Poste muerto	76	12.500	950.000
Mano de obra para cercado	7	30.000	210.000
Mano de obra para plateo y hoyado	7	30.000	210.000
Mano de obra para siembra	7	30.000	210.000
<b>Total</b>			<b>3.716.800</b>

Nota. Los valores asignados a cada concepto son locales. Cabe aclarar que la inversión descrita en esta tabla, no representa parcialmente el establecimiento de sistemas silvopastoriles, es decir, que abarca ciertos conceptos que pueden variar según las prácticas de cada productor.

#### 9.4.1.2. Sistema Silvopastoril de Ramoneo

Este segundo sistema silvopastoril es más sencillo que el anterior, ya que está compuesto principalmente por la especie forrajera Sauco (*Sambucus nigra*) asociado a Aliso (*Alnus acuminnata*); en una relación de 1 árbol por cada 13 arbustos, para un total de 96 árboles por hectárea y 1280 arbustos por hectárea.

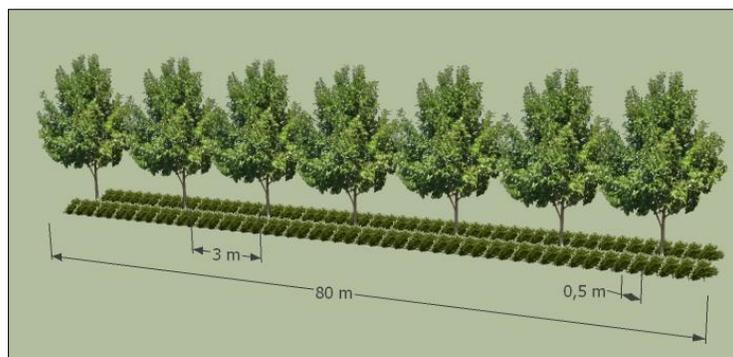
Figura 37. Vista de planta de Sistema Silvopastoril de Ramoneo.



Nota. Fuente: Autor.

En el arreglo agroforestal se plantea el establecimiento de tres estratos: el componente arbóreo que se establece por cuatro líneas de árboles a una distancia de 25 metros cada una y a una distancia de 3 metros entre cada árbol; el componente arbustivo, constituido por arbustos forrajeros que están ubicados a cada lado de las líneas de árboles a una distancia de 0.5 metros entre ellos, para un total de ocho surcos; y el estrato más bajo basado en pasto kikuyo.

Figura 38. Vista de perfil de Sistema Silvopastoril de Ramoneo.



Nota. Fuente: Autor.

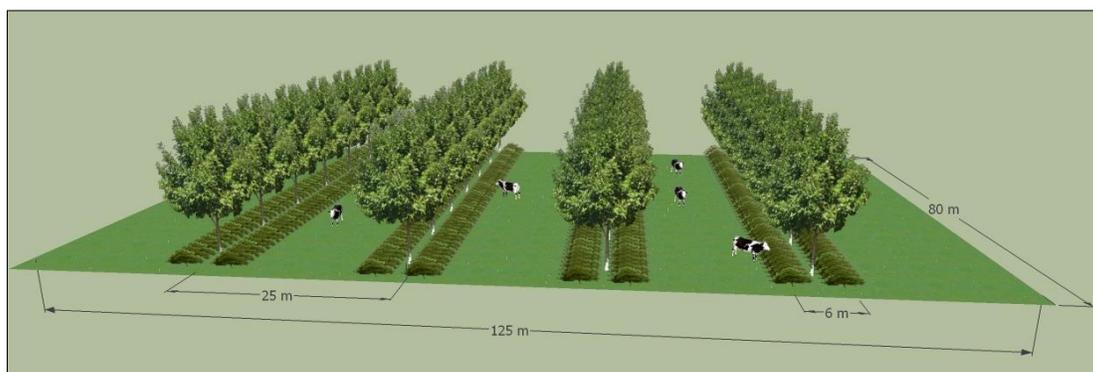
Como especie forrajera se propuso el Sauco (*Sambucus nigra*), debido a que este arbusto se caracteriza por ser de rápido crecimiento, fácil propagación, recuperación a heladas, uso como forraje por su alto valor nutricional para el ganado y disminución en la producción de metano, barrera para mitigar los efectos del viento y el control de plagas sobre los pastos (Uribe et al., 2011).

En cuanto a la especie arbórea propuesta, el aliso (*Alnus acuminata*) favorece el establecimiento de otras especies dada su capacidad hacer simbiosis en su raíz con bacterias fijadoras de nitrógeno. Así mismo, la gran cantidad de hojarasca que genera contiene alto contenido de nitrógeno y es de fácil degradación, acumulando gran cantidad de materia orgánica en un tiempo corto, restaurando suelos degradados, mejorando la fertilidad, aumentando la porosidad y capacidad de infiltración (L. Sanchez et al., 2009). Por otro lado, debido a que la copa del aliso es poco densa, el forraje desarrollado bajo estos árboles tiene mejores características nutricionales y menor contenido de celulosa.

Ambas especies pueden encontrarse en alturas de 2.000 a 3.000 m s.n.m, son tolerantes a heladas, suelos con un pH ligeramente ácido o básico y de textura Francos y Limosos. De acuerdo a las

condiciones climáticas y geomorfológicas del municipio de Facatativá, es común que se encuentren estas especies vegetales.

Figura 39. Vista de alzado de Sistema Silvopastoril de Ramoneo.



Nota. Fuente: Autor.

La distancia sugerida entre los surcos de árboles facilita el movimiento de los animales y evita la competencia entre los estratos por luz solar, nutrientes y agua. Por otro lado, el diseño propuesto divide la hectárea en cinco potreros, por lo que se recomienda realizar pastoreo rotacional permitiendo la recuperación de los potreros, que por lo general se realiza en periodos de 45 a 60 días. Antes bien, el inicio del pastoreo puede iniciarse a los cinco o seis meses de sembrados los arbustos forrajeros (Uribe et al., 2011), manteniendo a una altura máxima de 2 metros facilitando el ramoneo del animal.

Finalmente, los costos de inversión para el establecimiento de un sistema silvopastoril por ramoneo se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19. Aproximación de inversión inicial para el establecimiento de SSP por ramoneo por hectárea.

Concepto	Cantidad	Valor Unidad (\$)	Valor Total (\$)
Plántula de Sauco ( <i>Sambucus nigra</i> )	1.280	1.500	1.920.000

Plántula de Aliso ( <i>Alnus acuminnata</i> )	96	1.200	115.200
Abonos (Bulto x 25 Kg)	14	55.000	770.000
Alambre de puas	3	163.200	489.600
Poste muerto	76	12.500	950.000
Mano de obra para cercado	7	30.000	210.000
Mano de obra para plateo y hoyado	7	30.000	210.000
Mano de obra para siembra	7	30.000	210.000
<b>Total</b>			<b>4.874.800</b>

Nota. Los valores asignados a cada concepto son locales. Cabe aclarar que la inversión descrita en esta tabla, no representa parcialmente el establecimiento de sistemas silvopastoriles, es decir, que abarca ciertos conceptos que pueden variar según las prácticas de cada productor.

## CONCLUSIONES

- El sistema ganadero obtiene beneficios de los servicios ecosistémicos proporcionados por el bosque andino, favoreciendo su rendimiento productivo; por el contrario, el ecosistema recibe presión por parte de los procesos ganaderos; es decir, que la correlación no es positiva. Esta presión genera modificación en la estructura, composición y funcionamiento del bosque andino, haciéndolo vulnerable a los impactos de los eventos climáticos extremos; por lo cual, el sistema ganadero también se verá afectado.
- A pesar de que El fenómeno de El Niño 2015 – 2016, fue uno de los periodos más intensos que se han registrado, el estrés térmico en el ganado se mantuvo en un nivel de normalidad. Esto se debe, a que en la zona registró un valor de temperatura máxima de 22.4 °C; y de acuerdo a la literatura, una situación crítica para los animales se presenta con una temperatura superior a los 25 °C.
- Los ganaderos desde su perspectiva y enfoque productivo, le dan mayor importancia a los servicios hidrológicos relacionados con el rendimiento y abastecimiento de agua para la ganadería y el mantenimiento de su calidad.
- La disposición a pagar por parte de los ganaderos para la conservación de los bosques, con el fin de garantizar el suministro de agua, no está determinada por variables socioeconómicas como la edad, el género, la situación económica y las pérdidas económicas por los impactos generados por el fenómeno de El Niño. Por el contrario, el tipo de fuente de abastecimiento de agua tiene mayor correlación con la DPA.
- Es necesario que los productores comprendan la importancia de frenar las actividades degradantes de los ecosistemas más que el incentivo económico que podrían recibir por los proyectos de pago por servicios ambientales.
- Al comparar los costos promedio por hectárea para el establecimiento de sistemas silvopastoriles y la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales, no se observa mayor diferencia; por lo que se infiere, que ambas estrategias de adaptación son rentables para los productores agropecuarios.
- Los sistemas silvopastoriles contribuyen a la mitigación del cambio climático al reducir la emisión de GEI; puesto que se aumenta la captación de carbono, se reduce las emisiones de

metano al usar forrajes promisorios y se mejora la recirculación de nitrógeno. Así mismo, favorecen la adaptación al cambio y variabilidad climática; debido a que se reducen las tasas de evapotranspiración y el estrés térmico, se mejoran las condiciones de humedad en el suelo, se regula la fuerza de las lluvias, entre otros.

- El establecimiento de sistemas silvopastoriles con varias de especies nativas en los diferentes estratos, permite la formación de corredores biológicos que sirven de conectores entre los relictos de bosque; al mismo tiempo, favorecen el aumento de la biodiversidad a nivel local e incluso regional.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar la disposición a pagar (DPA) por parte de la población del centro urbano del municipio y la disposición a aceptar (DAA) de propietarios de predios ubicados en la parte alta y media de las microcuencas que abastecen el Río Botello; con el fin de formular esquemas de pago por servicios ambientales, garantizando así el suministro de agua en periodos de fuertes sequías.
- Valorar los servicios ambientales prestados por las cercas vivas, abarcando a la comunidad campesina para que reconozcan los beneficios que se obtienen por su establecimiento. Así mismo, favorezca la formulación de políticas y el cumplimiento de objetivos ambientales del plan de desarrollo municipal.
- La vulnerabilidad a los impactos del cambio y la variabilidad climática, pueden reducirse de manera más amplia al enmarcarse en iniciativas sectoriales; por lo cual, se recomienda formular proyectos, planes y programas de adaptación al cambio y la variabilidad climática para los diferentes sectores económicos del municipio de Facatativá; previniendo pérdidas, económicas, ambientales y sociales.
- Evaluar anomalías climáticas a nivel regional que fortalezcan la información brindada por diferentes investigaciones; y a su vez sirva como herramienta para la toma de decisiones en planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo y planes de adaptación al cambio y variabilidad climática.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.Lhumeau, & Cordero, D. (2012). *Adaptación Basada en Ecosistemas: Una respuesta a la cambio climático*. Quito, Ecuador: UICN.
- Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, 24(3), 347-364. <http://doi.org/10.1191/030913200701540465>
- Agronet. (2016). Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano. Estadísticas Pecuarias. Recuperado a partir de <http://www.agronet.gov.co>
- Aguayo, J. B., Doncel, R. G., Granados, S., Luna, M., Perez, J. A., Portero, R., & Siles, M. C. (1994). *Ciencias de la naturaleza* (Universida). Sevilla, España.
- Alcaldía de Facatativá. (2017). Alcaldía de Facatativá. Nuestro Municipio. Información General. Recuperado a partir de [www.facatativa-cundinamarca.gov.co](http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co)
- Altieri, M. a., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20. Recuperado a partir de <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2056/servlet/articulo?codigo=4536643&info=resumen&idioma=ENG>
- Apráez, J. E., Delgado, J. M., & Narváez, J. P. (2012). Composición nutricional, degradación in vitro y potencial de producción de gas, de herbáceas, arbóreas y arbustivas encontradas en el trópico alto de Nariño. *Livestock Research for Rural Development*, 24.
- Arboleda, D., Tombe, A., Morales, S., & Vivas, N. (2013). Propuesta para el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero: en sistemas de producción ganadera del trópico Alto Colombiano. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11, 10 p.
- Bautista, F., Bautista, A., Alvarez, O., & Rosa, D. de la. (2011). *Sistema de analisis de datos para el monitoreo regional y local del cambio climático con indices agroclimáticos*. (Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Ed.). México.
- Borda, C. A., Moreno, R. del P., & Wunder, S. (2010). Pagos por Servicios Ambientales en Marcha: La Experiencia en la Microcuenca de Chaina, Departamento de Boyacá, Colombia.

- Boyaca, Colombia.: Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- Bustamante, M. del P., & Ochoa, E. (2014). *Guía práctica para la valoración de servicios ecosistémicos en Madre de Dios, por la WWF*. Perú.
- Cardenas, C., Rocha, C., & Mora, J. (2011). Productividad y preferencia de forraje de vacas lecheras pastoreando un sistema silvopastoril intensivo de la zona alto Andina de Roncesvalles, Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4, 7 p.
- Cardenas, J. C., Castañeda, J. L., Brieva, D. C., Laverde, C., Pereira, M. F., & Rodríguez, L. Á. (2012). *Métodos complementarios para la valoración de la biodiversidad: una aproximación interdisciplinar*. (Alexander von Humboldt & Universidad de los Andes., Ed.). Bogotá D.C.
- Chong, J. (2014). Ecosystem-based approaches to climate change adaptation: progress and challenges. *Springer*, 15.
- Comision Europea. (2009). Bienes y Servicios Ecosistemicos. Recuperado a partir de <http://ec.europa.eu>
- CONAGUA. (2010). *Diálogos por el Agua y el Cambio Climático: Llamado a la Acción*. Mexico D.F.
- Contraloria de Cundinamarca. (2010). *Estudio de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente de Cundinamarca*. Bogota D.C.
- Cony, P., Casagrande, G., & Vergara, G. (2004). Cuantificación de un índice de estrés calórico para vacas lecheras en Anguil, provincia de La Pampa (Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Pampa*, 15.
- Cortes, M. C. C. (2015). *Propuesta para la implementación de técnicas alternativas con ayudantes de coagulación naturales*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Cotler, H., Fregoso, A., & Damián, L. (2006). Caracterización de los Sistemas de Producción en la Cuenca Lerma-Chapala a escala regional Helena Cotler , Alejandra Fregoso y José Luis Damián Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas Abril 2006

Análisis de los Sistemas de Producción en la Cuenca Lerma-Chapala.

- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009). *Los bosques montanos de los Andes Tropicales* (PROGRAMA R). La paz/Lima/Quito.
- D'Ancona, M. . Á. C. (1995). *Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas de investigación social. Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas de investigación social.*
- DANE. (2015). *La ganadería bovina de doble propósito, una actividad productiva sostenible bajo las buenas prácticas ganaderas (BPGs).*
- DATLAS. (2016). El Atlas Colombiano de Complejidad Económica. Recuperado a partir de <http://datlascolombia.com>
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). Lineamiento de política y programa nacional de pago por servicios ambientales para la construcción de paz. Bogotá, Colombia.
- Dixon, J. (2001). *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza* (FAO, Banco). Roma.
- Escolastico, C., Cabildo, M. P., Claramunt, R., & Claramunt, T. (2013). *Ecología I: Introducción. Organismos y poblaciones.* (Universida). Madrid.
- FAO. (2006a). La ganaderia amenaza el medio ambiente. Recuperado a partir de <http://www.fao.org>
- FAO. (2006b). Perspectivas de la agricultura mundial: Pastoreo Sostenible. Recuperado a partir de <http://www.fao.org>
- Ferrante, S. B. (2010). *Resiliencia socio-ecológica y territorio indígena. Estudio de caso en los valles andinos del norte argentino.*
- Figuerola, E. (2015). *Evaluación del estado de los conflictos del uso de la tierra en la cuenca alta del Río Botello del municipio Facatativá.* Universidad Santo Tomas.
- Fillat, F. (2008). *Pastos del Pirineo. Capitulo 4 situacion, distribucion e importancia de los ecosistemas pastoriles en los biomas terrestres.* (CSIC). Madrid, España.
- FONTAGRO. (2008). Variabilidad y cambio climático en la expansión de la frontera agrícola en el Cono Sur: Estrategias tecnológicas y de políticas para reducir vulnerabilidades.

- Franco Vidal, L., & Andrade, G. I. (2014). *Buscando respuestas en un entorno cambiante*.
- Fundación Natura, WWF, U. E. (2010). *Cambio climático en un paisaje vivo: Vulnerabilidad y adaptación en la cordillera real oriental*. (L. G. Naranjo, Ed.). Colombia, Ecuador y Perú.
- García, H. (2013). *Valoración de los bienes y servicios ambientales provistos por el Páramo de Santurbán*. Bogotá D.C.
- Giraldo, L. (1996). Uso de la *Acacia decurrens* como suplemento alimenticio para vacas lecheras, en clima frío de Colombia. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Girot, P., Ehrhart, C., & Oglethorpe, J. (s. f.). *Integrating Community and Ecosystem-Based Approaches in Climate Change Adaptation Responses. Ecosystems & Livelihoods adaptation network*.
- Gomez, A. J. (2003). *Plantas medicinales en los jardines de las veredas Mancilla, La Tribuna, Pueblo Viejo y Tierra Morada*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Gualdrón, E., & Padilla, C. (2007). Producción y calidad de leche en vacas holstein en dos arreglos silvopastoriles de *Acacia decurrens* y *Alnus acuminata* asociadas con pasto kikuyo, (*Pennisetum clandestinum*). Bogotá D.C: Universidad de la Salle.
- Guzmán, S. L. (2010). *Valoración de un sistema productivo agropecuario priorizado y su relación con los servicios ecosistémicos en cuenca Río Otún*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernández, A., Domínguez, B., Cervantes, P., Muñoz, S., Salazar, S., & Tejeda, A. (2010). Temperature-humidity index (THI) 1917-2008 and future scenarios of livestock comfort in Veracruz, México. *Atmosfera*, 24.
- Hernández, R. (2012). Pago por servicios ambientales hidrológicos. México D.F: Senado de la República, LXI Legislatura, Comisión de Recursos Hidráulicos, Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en Zonas de vida*. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Ed.). San José, Costa Rica.
- ICA. (2017). Vigilancia Epidemiológica. Censo Pecuario Nacional. Recuperado a partir de

<https://www.ica.gov.co>

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLEERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.*

IGAC. (2000). GEOPORTAL Mapas de Colombia. Recuperado 12 de abril de 2017, a partir de <http://www.igac.gov.co>

Insuasty, E., Apraez, E., & Navia, F. (2011). Efecto del arreglo silvopastoril aliso (*Alnus Acuminata* K.) y kikuyo (*Pennisetum Clandestinum* H.) sobre el comportamiento productivo en novillas Holstein en el altiplano del departamento de Nariño. *Agroforestería Tropical*, 8 p.

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.* Ginebra Suiza.

IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Resumen para responsables de políticas.* Suiza.

Jimenez, M. del C. (s. f.). *Elaboración de un boletín con información hidroclimática de los mares de México. Indicadores Climáticos. Una manera para identificar la variabilidad climática a escala global.* Mexico D.F.

Leupolz-Rist, R. A., Cantarero, S. I., & Toruño, C. A. (2017). *Cambio Climático en el sector ganadero de Nicaragua. Del riesgo climático a la adaptación basada en ecosistemas.* (FUNIDES). Nicaragua.

Lewandowski, C. M. (2015). *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference* (Vol. 1).

Lobo, A. (1992). *Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. VII Jornadas Geotecnicas de la Ingeniería de Colombia.* Bogotá D.C.

Locatelli, B., & Imbach, P. (2008). *Migración de ecosistemas bajo escenarios de cambio*

*climático: el rol de los corredores biológicos en Costa Rica. Costa Rica.*

- López, V. L. (2013). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana. *Revista Especializada en Ingeniería*, 24 p.
- Manson, R. H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10, 3-20.
- Martínez, D., & Botiva, A. (2011). Compendio documental del Parque Arqueológico de Facatativá. Insumo para su interpretación integral. Facatativá, Cundinamarca.
- Martínez, M., & Dimas, L. (2007). *Valoración Económica de los Servicios Hidrológicos: Subcuenca del Río Teculután Guatemala*. (WWF Centroamerica, Ed.). Guatemala.
- Matthews, S. (2005). El programa mundial de especies invasoras. UICN, CABI, TNC, SANBI.
- MAVDT, Unidad Administrativa del Sistema de Parques Nacionales Naturales, WWF, Conservacion Internacional, & The Nature Conservancy. (2008). Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia. (Sergio Camilo Ortega, Ed.). Bogota D.C.
- Mendoza, H. V. (2011). *Propuesta Para Promover el Manejo Eficiente del Recurso Hídrico en la Microcuenca Alta del Río Botello en el Municipio de Facatativá, desde el Marco de la Gestión Integral del Agua*. Pontificia Universidad Javeriana.
- MGAP-FAO. (2013). *Sensibilidad y capacidad adaptativa de la lechería frente al cambio climático. Volumen IV de Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay*. Montevideo.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2003). *Metodologías para la valoración económica de bienes, servicios ambientales y recursos naturales*. Colombia.
- Montes, E. F. a O. (2013). *Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales*. <http://doi.org/1014-2886>
- Montoya, D., & Reyes, G. (2005). Geología de la Sabana de Bogotá. Bogotá, D.C: Ministerio de Minas y Energía & Instituto Colombiano de Geología y minería.
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Mumba, M., Liu, J., & Rivington, M. (2013). Climate

change and Ecosystem-based Adaptation : a new pragmatic approach to buffering climate change impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 67-71.

<http://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.12.001>

Muñoz, D., Calvache, D., & Yela, J. F. (2013). Especies forestales con potencial agroforestal para las zonas altas en el departamento de Nariño. *Revista de ciencias agrícolas*, 16 p.

Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Cuartas, C., & Naranjo, J. (2014). Sistemas Silvopastoriles intensivos (SSPI) Herramientas de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.

Murgueitio, E., & Ibrahim, M. (2000). Agroforestería pecuaria para la reconversión de la ganadería en Latinoamérica. Panamá: Fundación CIPAV & CATIE.

Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, 19, 10 p.

Nelson, D. R., Adger, W. N., & Brown, K. (2007). Adaptation to Environmental Change : Contributions of a Resilience Framework.

<http://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348>

Network, L. A., Union, I., & International, C. (s. f.). Integrating Community and Ecosystem-Based Approaches in Climate Change Adaptation.

OCDE. (2009). *Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation- Policy Guidance*.

Olsen, N., & Bishop, J. (2009). Ecosystem-based Adaptation : A natural response to climate change.

Oyhantçabal, W. (2010). Desarrollo de capacidad institucional adaptativa, lucha contra la sequía y servicios ecosistémicos en el norte del Uruguay. En CATIE (Ed.), *Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina* (pp. 97-104). Uruguay.

Perevochtchikova, M., & Vasquez, A. (2010). Avances y limitantes del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos en Mexico, 2003 - 2009. *Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales*.

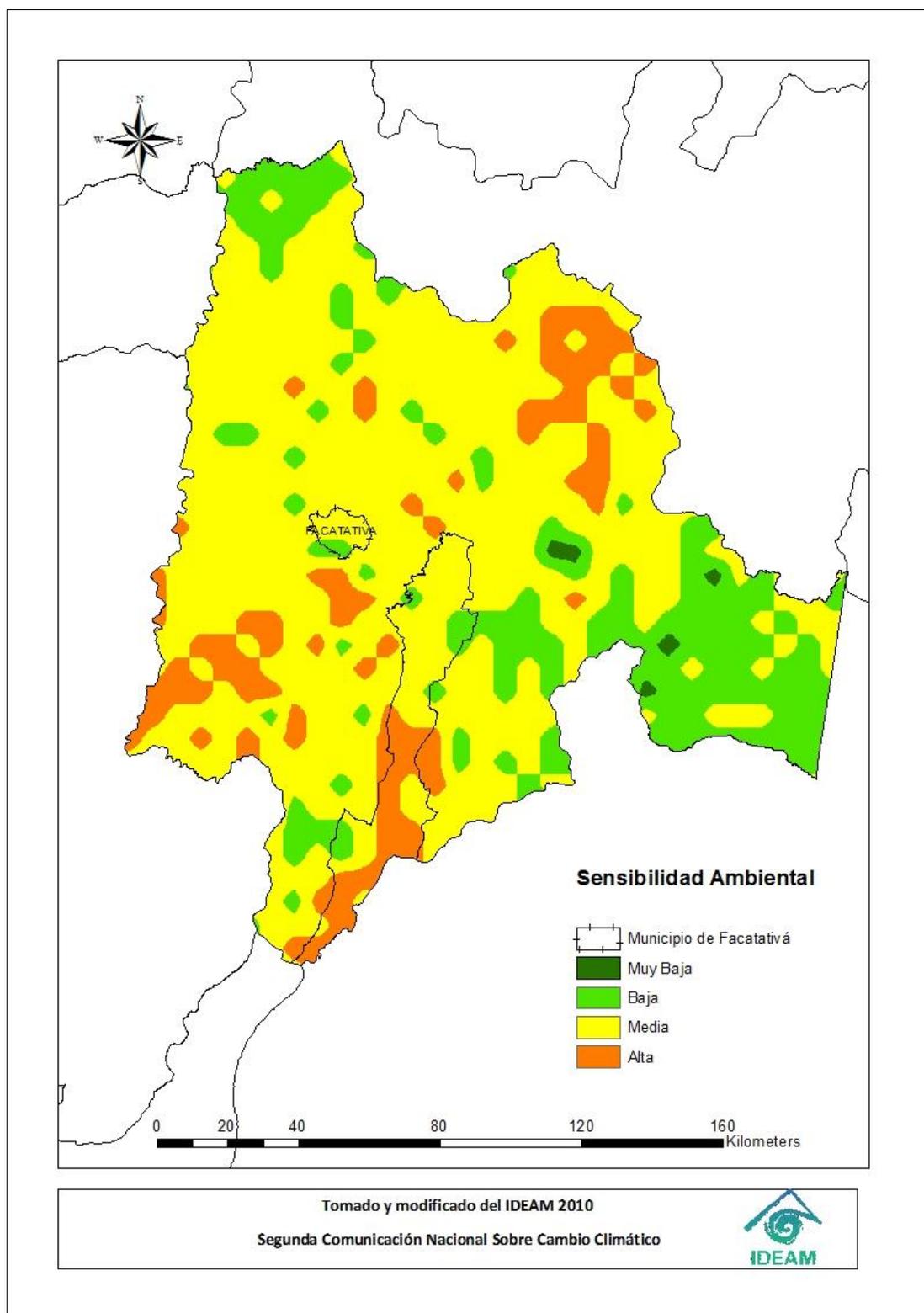
- Pérez, A. (2000). La Estructura Ecológica Principal de la Sabana de Bogotá. En CAR & Sociedad Geografica de Colombia (Ed.), (p. 37 p.). Bogotá, Cundinamarca.
- Quintero, M. (2010). *Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina*. Lima, Peru.
- Restrepo, T. J. (2014). Agronegocios e industria de alimentos. Recuperado a partir de <https://agronegocios.uniandes.edu.co>
- Ruíz, A. R., Duque, Echeverry M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arévalo, P. A., & Zuluaga, P. A. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Aspectos conceptuales y metodológicos*. (Alexander von Humboldt, Ed.). Bogotá D.C.
- Ruiz, J. A., Flores, H. E., Regalado, J. R., & Ramírez, G. (2012). *Estadísticas Climáticas Normales del Estado de Jalisco*. (E. C. A. de INIFAPCIRPAC-Campo Jalisco, Ed.). Tepatitlán de Morelos, Jalisco.
- Sampieri, R. H. (2012). *Metodología de la Investigación. Una ética para quantos?* (Vol. XXXIII). <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Sánchez, Á. M. R. (2014). The Payment for Hydrological Environmental Services. Examining the Experiences of Costa Rica, Mexico, Ecuador and Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 19.
- Sanchez, L., Amado, M., Criollo, P., Carvajal, T., Roa, J., Cuesta, A., ... Barreto, L. (2009). El aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el tropico alto colombiano. Colombia: CORPOICA.
- Sanchez, M. R., Troncos, J., Lizano, C., Parihuamán, O., Quevedo, D., Rojas, C., & Delgado, G. (2012). *La vegetación terrestre del bosque montano de Lanchurán (Piura, Perú)*. Perú.
- Secretaria de planeación de Cundinamarca. (2014). Estadísticas de Cundinamarca 2011-2013. Recuperado a partir de <http://www.cundinamarca.gov.co>
- Secretaría de Planeación de Cundinamarca. (s. f.). Estadísticas Básicas Provincia de Sabana de Occidente.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Montreal.

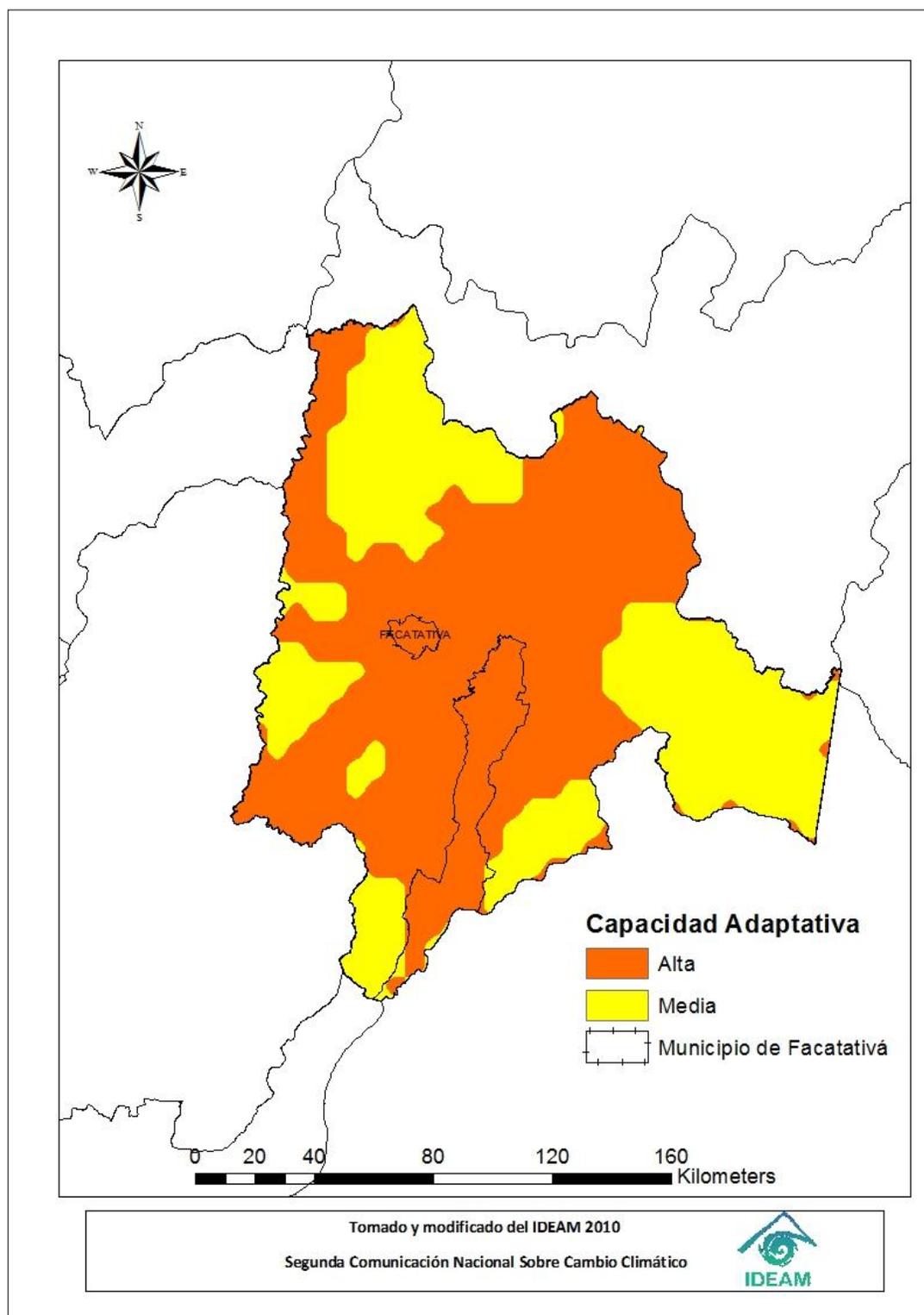
- SIAC. (2016). Sistema de Información Ambiental. Cifras y estadísticas ambientales. Recuperado a partir de [www.siac.gov.co](http://www.siac.gov.co)
- Solorza, J. (2012). Evaluación de la regeneración de *Acacia decurrens*, *Acacia melanoxylon* y *Ulex europaeus* en áreas en proceso de restauración ecológica. *Luna Azul*, 15 p.
- Tengö, M., & Belfrage, K. (2004). Local Management Practices for Dealing with Change and Uncertainty : A Cross-scale Comparison of Cases in Sweden and Tanzania, 9(3).
- Terra, R. (s. f.). Sensibilidad de sistemas ganaderos a la variabilidad climática. *Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y la Variabilidad Climática*, 5.
- Tobon, & Arroyave. (2007). «*Inputs by fog and horizontal precipitation to the páramo ecosystems and their contribution to the water balance*». *Proceedings of the fourth international conference of fog, fog collection and dew*. Chile.
- Tobon, C. (2009). *Los Bosques Andinos y el Agua. Programa Regional para la Gestión Social de Ecosistemas Forestales Andinos ECOBONA*. Quito, Ecuador.
- UNESCO. (s. f.). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Valoración económica de los recursos hídricos. Recuperado a partir de <http://www.unesco.org>
- UNESCO. (2010). *Servicios de los ecosistemas y bienestar humano. La contribución de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*. Bilbao, España.
- Unión Europea. (2012). Estudio Básico de adaptación al cambio climático. Sector Ganadero.
- UNISDR. (2012). *Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un manual para líderes de los gobiernos locales*. (Naciones U). Ginebra.
- Uribe, F., Zuluaga, A. F., Murgueitio, E., Valencia, L. M., Zapata, Á., Solarte, L. H., ... Soto, R. (2011). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. (T. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, Ed.). Bogotá, D.C.
- Vargas, G. (2012). *Análisis Estadístico Poblacional*. Facatativá, Cundinamarca.
- Vasquez, L., Alfonso, J., Matienzo, Y., Elizondo, A. I., González, D., González, R., ... Ríos, M.

- (2015). Vulnerabilidad a la sequía y prácticas adaptativas innovadas en territorios agrícolas de Cuba. *Agricultura Orgánica*, 9.
- Velasco, I., & Cortés, G. (2007). Índices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México, 4.
- Villanueva, C., Ibrahim, M., & Casasola, F. (2008). Valor económico y ecológico de las cercas vivas. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., Sepúlveda, N., & Ríos, C. (2009). Capítulo 6 Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas de América Central. En *Políticas y Sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas*. CATIE.
- Wilson, C. R. (2013). *Evaluación de servicios ecosistémicos en diferentes diseños de potreros en Belén, Rivas, Nicaragua*. CATIE.
- Wunder, S. (2007). The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. *Conservation Biology*, 21, 12.

## ANEXOS

## Anexo 1 Mapa de Sensibilidad Ambiental, departamento de Cundinamarca.



**Anexo 2 Mapa de Capacidad Adaptativa, departamento de Cundinamarca.**

## Anexo 3

## DISEÑO OPERACIONAL

IDENTIFICACIÓN DEL CONCEPTO	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VARIABLES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	FUENTES DE INFORMACIÓN
Vulnerabilidad	Grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos.	Agro-ecosistémica	Exposición y sensibilidad a eventos extremos.	Condiciones biofísicas del agroecosistema.	Análisis de mapas de sensibilidad y capacidad adaptativa a nivel nacional.	-IDEAM -SIAT
			Capacidad Adaptativa	Condiciones técnicas y socio-económicas.		
Ecosistema	Asociación de organismos vivos dependiendo de características climáticas, edáficas y topográficas de un lugar que a la vez condicionan a los seres vivos que allí habitan.	Clima	Índices Agroclimáticos	Temperatura precipitación Evapotranspiración Humedad	Software CLIC-MD	-IDEAM
		Hidrografía	Red hídrica	Fuentes Superficiales.	Software Arcgis	- USGS Earth Explorer - Secundaria
		Geomorfología	Desarrollo de actividades agropecuarias.	Estratigrafía, relieve, y tipo de suelos	-Literatura	-Secundaria
		Flora y fauna	Especies	Riqueza y abundancia	-Literatura	-Secundaria

Sistema ganadero	Fincas individuales con mano de obra, tenencia de la tierra y organización para producir leche, carne, pieles, entre otros; que se consumen directamente, son destinadas al mercado o a la industria alimentaria.	-Ambiental	Estrés térmico	Temperatura y humedad	Estadística descriptiva	-Primaria (Encuestas)
			Percepción del estado de los servicios hídricos.	Disponibilidad, cantidad y calidad.		-Secundaria (ICA)
		- Socio-económica	Características productivas	Cabezas de ganado, forrajes, reciclaje de estiércol, etc.		
			Impactos por fuertes sequías.	Pérdidas económicas		
Valoración ecosistémica	Herramienta que permite conocer el valor de los servicios ecosistémicos y como este valor se relaciona con la toma de decisiones en el uso y conservación del ecosistema.	Servicios Hidrológicos	Valor económico	Disposición a pagar	-Método de valor contingente.	-Primaria (Encuestas)

---

Adaptación basada en ecosistemas	Uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como estrategia de una comunidad para contrarrestar los efectos de la variabilidad y cambio climático, y de esta manera disminuir la vulnerabilidad.	Diseño de estrategias de adaptación.	Costo-beneficio	Sistemas Silvopastoriles	Software Scketchup	-Secundaria
				Pago por servicios ambientales.	Literatura	-Primaria (Encuesta) -Secundaria Normatividad Ambiental Vigente

---

## DISEÑO METODOLOGICO

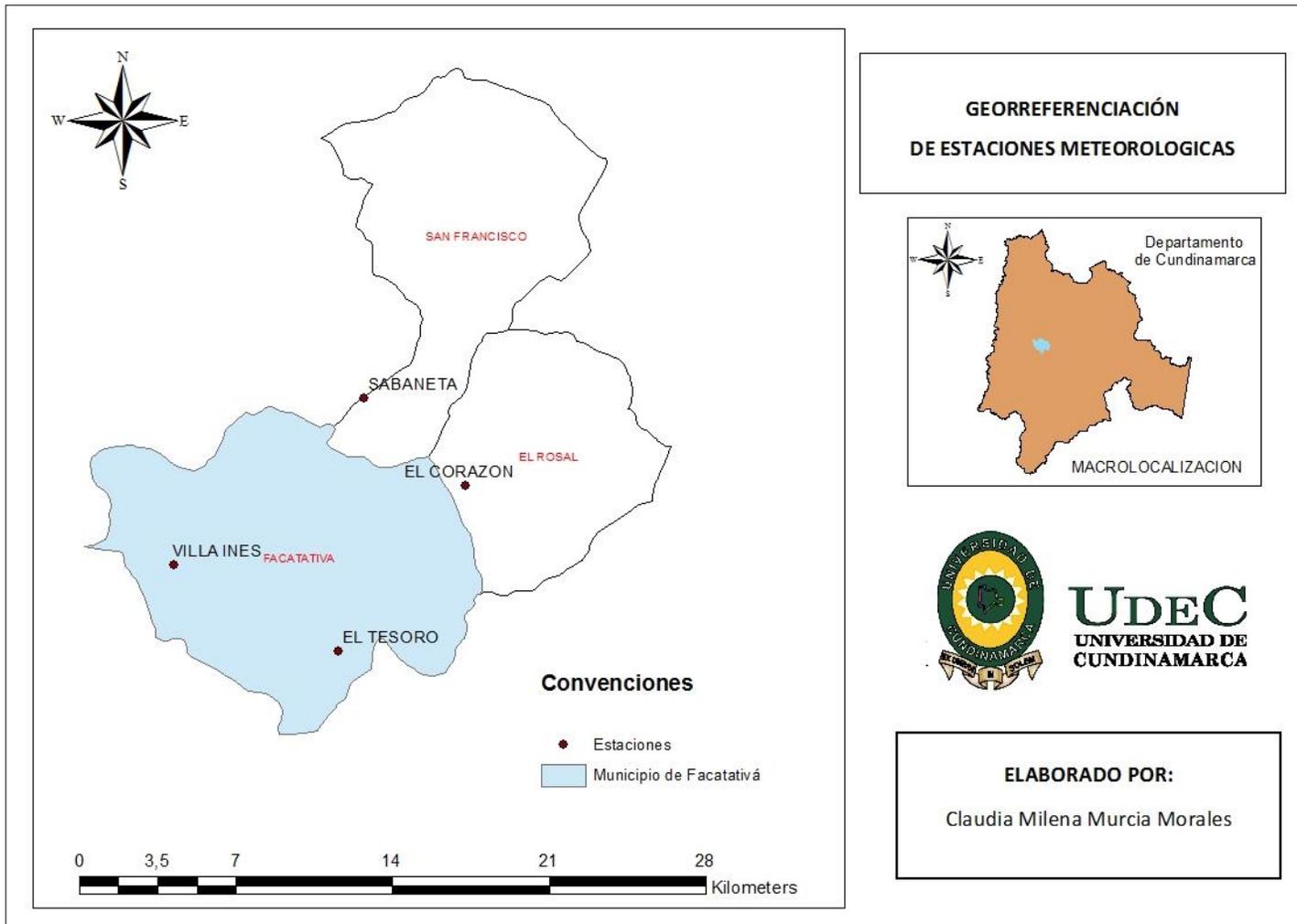
**OBJETIVO GENERAL** Evaluar la relación de los servicios ecosistémicos hidrológicos del bosque andino con los sistemas ganaderos de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá, para la adaptación a la variabilidad climática.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	TECNICAS	INSTRUMENTOS
Identificar las condiciones del Bosque Andino y de los sistemas ganaderos de la vereda Mancilla	Caracterización biofísica del ecosistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de índices agroclimáticos.</li> <li>- Identificación de redes hídricas.</li> <li>- Revisión y análisis de literatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Software CLIC-MD y Arcgis</li> <li>- Información secundaria</li> <li>- Imágenes satelitales</li> <li>- Mapas, tablas, gráficos</li> </ul>
	Caracterización del sistema ganadero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visitas y días de campo</li> <li>- Encuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formulario de encuesta</li> </ul>
Determinar y valorar la relación entre el ecosistema y el sistema productivo ganadero en el marco de un contexto de variabilidad climática.	Recolección de información sobre el valor económico de los servicios hidrológicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visitas y días de campo</li> <li>- Encuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formulario de encuesta</li> </ul>
	Análisis sobre el valor económico de los servicios hídricos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método de valor contingente</li> <li>- Modelos estadísticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estadística descriptiva</li> <li>- Computador</li> </ul>
Proponer estrategias con un enfoque ecosistémico como alternativa a la adaptación a la variabilidad climática	Propuesta de diseño de sistemas silvopastoriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión y análisis de literatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Software Sketchup</li> </ul>
	Propuesta de diseño de esquema de pago por servicios ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión y análisis de literatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Computador</li> </ul>

#### Anexo 4 Características de estaciones meteorológicas

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Altitud (m s.n.m)</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Municipio</b>	<b>Año de Activa</b>
2120069	El Tesoro	PM	2.610	W 74,3177	N 4,800033	Facatativá	1931
21205940	Villa Inés	CO	2.590	W 74,3839	N 4,83497	Facatativá	1977
23065100	Sabaneta	CO	2.475	W 74,3073	N 4,90175	San Francisco	1986
21201070	El corazón	PM	2.580	W 74,2666	N 4,866667	El Rosal	1974

**Anexo 5 Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas**



## Anexo 6 Formulario de encuesta

	<b>Universidad de Cundinamarca</b> <b>Facultad de Ciencias Agropecuarias</b> <b>Programa de Ingeniería Ambiental</b> <b>Trabajo de grado</b>
No. _____	<b>A.DATOS GENERALES</b>
Sexo: F__ M__	Edad: ____ años
Años de vivir en la vereda: _____	
Propietario de finca: SI__ No__	Área de la finca (Hectáreas): _____
¿Con qué servicios públicos cuenta en su finca?	
Energía__ Acueducto__ Alcantarillado__ Gas Natural__ Aseo__	
<b>B. SISTEMA GANADERO</b>	
1. ¿Con cuántas cabezas de ganado cuenta actualmente? _____	
2. ¿Qué tipo de pasto utiliza en la alimentación del ganado? Kikuyo__ Ray grass__ Avena Forrajera__ Otro__ ¿Cuál? _____	
3. ¿Utiliza algún fertilizante para el crecimiento del pasto o crece naturalmente? _____	
4. ¿Tiene algún sistema de riego para sus pastizales? Si__ No__	
5. ¿Qué tipo de producción ganadera maneja en su finca? Lechera__ Cárnica__ Doble Propósito__	
6. ¿Qué fuente de abastecimiento de agua utiliza en su finca? Acueducto__ Captación ríos y quebradas__ Captación de pozos__ Lluvia__	
7. ¿Cómo recicla el estiércol de su finca? Biodigestor__ Compostera__ Otro__ ¿Cuál? _____ No los recicla__	
9. ¿El fenómeno de El Niño (bajas lluvias) ha tenido efectos en su finca? Si__ ¿Cuáles? _____ No__	
10. ¿Qué medidas tomó para contrarrestar los efectos del fenómeno de El Niño? _____	
11. ¿Puede indicar una aproximación de gastos económicos que le generó este fenómeno climático? _____	
<b>C. DATOS ECONÓMICOS GENERALES</b>	
12. ¿Cuántas horas a la semana dedica a las actividades ganaderas? _____	
13. Después de un día de trabajo ¿Qué ganancia considera usted que es la mínima para un día rentable o satisfactorio? \$ _____	
14. ¿Qué cantidad de agua en m <sup>3</sup> considera usted que representa esta ganancia? _____	
15. ¿Respecto a sus vecinos su situación económica es? Mejor__ Peor__ Igual__	

### D. VALORACIÓN DE SERVICIOS HIDROLOGICOS

16. Para las siguientes afirmaciones responda un valor de 1 a 5 siendo: 1 Muy en desacuerdo, 2 Desacuerdo, 3 Indiferente, 4 De acuerdo, 5 Muy de acuerdo.

- 
- El agua que obtiene para su finca es de buena calidad.
- La cantidad de agua que obtiene es la suficiente para sus actividades ganaderas.
- Durante todo el año su finca cuenta con agua.
- Las fuentes de agua que utiliza son de fácil acceso.
- Los bosques son de gran importancia en el suministro de agua.
- Es importante la participación en actividades de conservación de los bosques.
- Si hay un problema en la vereda en relación al agua, la comunidad trabaja unida para resolverlo.

17. De los siguientes servicios hídrológicos proporcionados por los bosques ¿Cuáles considera que son los más importantes?

- 
- Rendimiento y abastecimiento de agua para el hogar
- Rendimiento y abastecimiento de agua para la agricultura y la ganadería
- Mantenimiento de la calidad del agua
- Regulación del ciclo hidrológico
- Recirculación de nutrientes

18. ¿Cuáles son los principales factores que pueden estar afectado los servicios hidrologicos?

---



---

**Teniendo en cuenta que los bosques contribuyen en la oferta de recursos hídricos, se llevará a cabo un proyecto de reforestación en la microcuenca de la quebrada Mancilla, con el fin de mejorar la calidad y el abastecimiento de agua en la vereda.**

19. ¿Cuánto estaría dispuesto a contribuir mensualmente con el fin de conservar y proteger los bosques, de tal manera que se asegure el suministro de agua?

\$ \_\_\_\_\_

20. ¿Por qué motivos no estaría dispuesto a pagar más?

---



---

21. ¿Qué entidad o persona considera que es el más apropiado para recibir el pago?

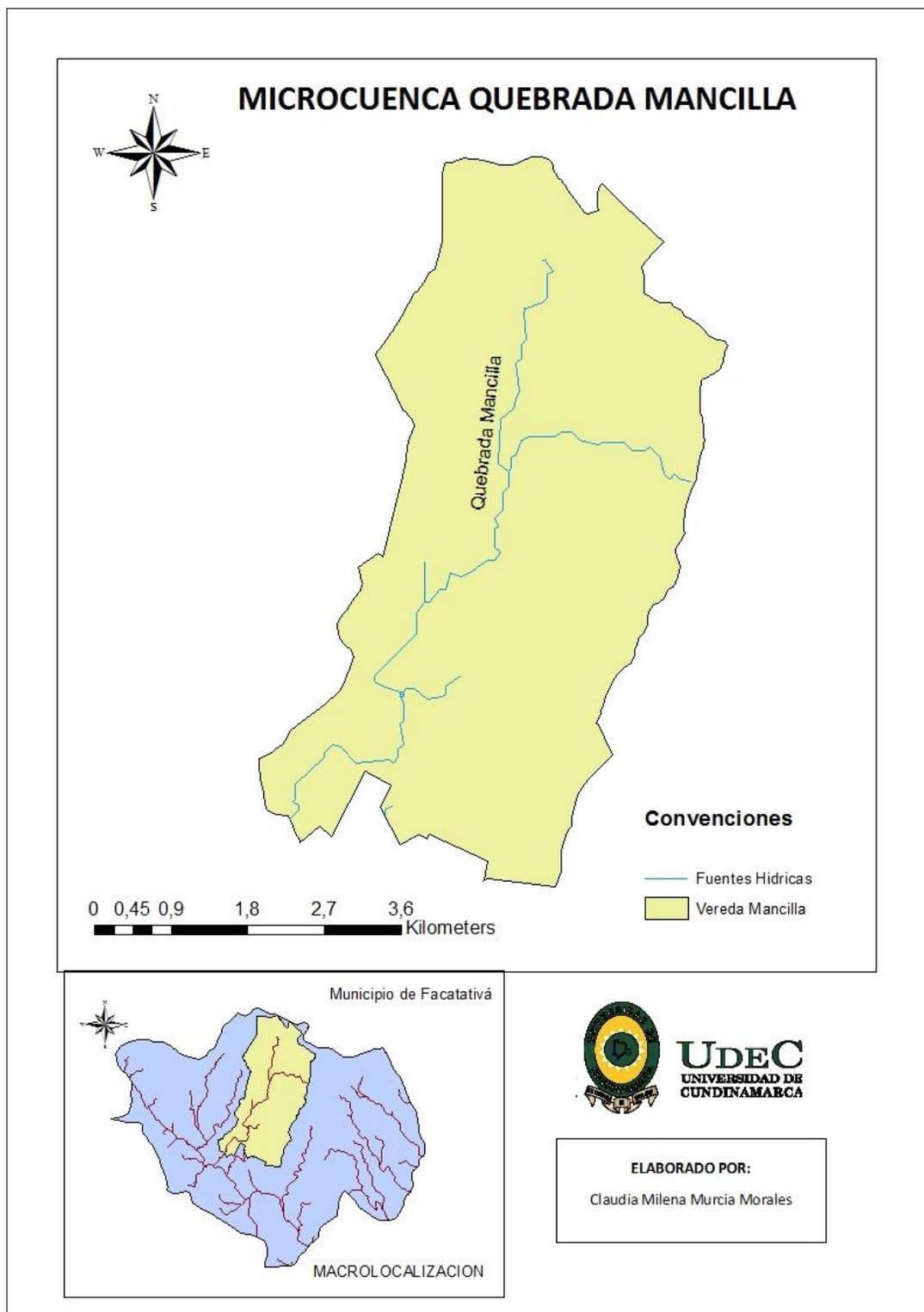
---

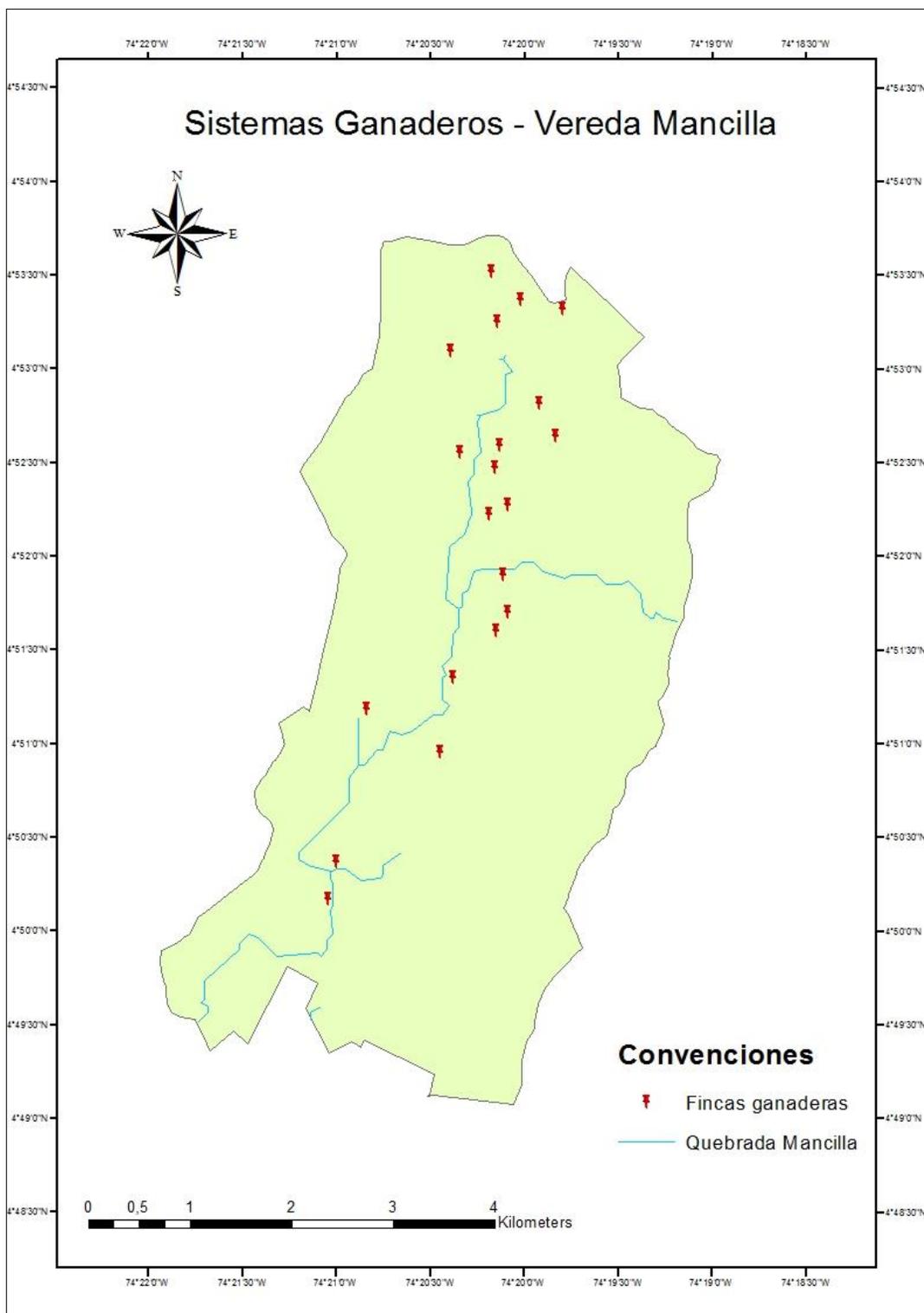


---

22. ¿Qué entidad o persona considera usted que es la responsable de velar por los bosques de la vereda y el municipio?

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN!**

**Anexo 7 Microcuenca quebrada Mancilla**

**Anexo 8 Ubicación geográfica de fincas ganaderas en la vereda Mancilla**

**Anexo 9 Coordenadas geográficas de las fincas ganaderas.**

<b>Finca</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
<b>1</b>	74° 21' 2,75''	4° 50' 10,20''
<b>2</b>	74° 21' 0,08''	4° 50' 22,1''
<b>3</b>	74° 20' 26,8''	4° 50' 57,3''
<b>4</b>	74° 20' 50,3''	4° 51' 11''03
<b>5</b>	74° 20' 22,7''	4° 51' 21,2''
<b>6</b>	74° 20' 5,24''	4° 51' 41,8''
<b>7</b>	74° 20' 8,9''	4° 51' 36,2''
<b>8</b>	74° 20' 6,7''	4° 51' 53,9''
<b>9</b>	74° 20' 11,2''	4° 52' 13,2''
<b>10</b>	74° 20' 5,4''	4° 52' 16,2''
<b>11</b>	74° 20' 9,2''	4° 52' 28,3''
<b>12</b>	74° 20' 20,4''	4° 52' 33,1''
<b>13</b>	74° 20' 8,0''	4° 52' 35,4''
<b>14</b>	74° 19' 50,2''	4° 52' 38,4''
<b>15</b>	74° 19' 55,4''	4° 52' 48,7''
<b>16</b>	74° 20' 23,5''	4° 53' 5,79''
<b>17</b>	74° 20' 8,8''	4° 53' 14,8''
<b>18</b>	74° 19' 47,9''	4° 53' 19,2''
<b>19</b>	74° 20' 1,4''	4° 53' 22,1''
<b>20</b>	74° 20' 10,4''	4° 53' 31,1''